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

"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"

матеріали
міжнародної науково-практичної конференції

5-10 липня 2021 року
Івано-Франківськ

"INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER MODELLING"
proceedings
of the International Scientific Conference
2021, July, 5th to 10th
Ivano-Frankivsk

Івано-Франківськ - 2021

УДК (004:004.2/004.9+007):33/37+51+621
ББК 22.17 32.81
І-74 Т

Науковий редактор: докт. техн. наук, проф. **Л.Б. Петришин** (ПНУ, AGH)

Матеріали статей опубліковані в авторській редакції

"Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання"; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 5-10 липня 2021 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2021. –с.

Збірка містить матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції з проблем інформаційних технологій в технічних системах, в соціумі, освіті, медицині, економіці та екології; теорії інформації, кодування та перетворення форми інформації; технологій цифрової обробки інформації; захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах; математичного та імітаційного моделювання систем.

УДК (004:004.2/004.9+007):33/37+51+621
ББК 22.17 32.81
І-74 Т

ISBN

© ПНУ ім. В. Стефаника та автори, 2021

СЕКЦІЯ 1.

Інформаційні технології в технічних, системах спеціального призначення, соціумі, освіті, медицині, економіці, управлінні, екології та юриспруденції

SECTION 1.

Information technologies in technical and special purpose systems, information technologies in society, education, medicine, economics, management, ecology and low

Intelligent Information System for Calculation of Substitution Limits in Solid Solutions

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

Eugeni Get'man, Yuliia Oleksii
Faculty of Chemistry, Biology and Biotechnology
Vasyl' Stus Donetsk National University
Vinnytsia, Ukraine
gtmn@i.ua

***Abstract*—This work is devoted to the design and development of an intelligent information system for predicting the phase stability of solid solutions. The main trends in the development of intelligent information system were analyzed, a model for predicting the phase stability of solid solutions was developed. A variant review and selection of software design and development methods is carried out in the work. The following programming environments were chosen as the software design environment: Oracle Application Express (programming languages javasript, html, pl/sql) and pl / sql developer (programming language pl / sql). The analysis of database design methods is carried out, algorithmic software is developed, including the main functions of the system are defined. Also, the descriptive algorithm of the program, design and structure of software modules are developed, tests of all functions of the software which confirm their correctness are carried out.**

Keywords— intelligent information system, phase stability, solid solutions, mathematical modeling, model.

I. INTRODUCTION

The problem of isomorphic substitutions of atoms in crystals attracts the interest of researchers due to the fact that most new inorganic materials for phosphors, lasers [1], scintillators, photocatalysts [2], LEDs [3], etc. is created on the basis of solid solutions, which allows you to purposefully influence their properties. "Mixed" solid solutions, which contain, in addition to the activator, several other cations [4-5]. However, it is not always taken into account that solid solutions synthesized at high temperatures are prone to decomposition on cooling and can uncontrollably change the phase composition and properties. Therefore, before the synthesis and study of their properties, it is desirable to evaluate the limits of displacement and thermodynamic stability of solid solutions.

For forecasting the limits of substitutions by calculation methods that do not require large expenditures of money and time was created a program for predicting the limits of substitutions by the crystal-chemical method in systems with isostructural components in the approximation of regular solutions. The main task of the method is to determine the mixing energy of the components Q, the knowledge of which allows Becker's equation, setting the decay temperature (stability) Tr to calculate the equilibrium composition of the solid solution "x", or for a given "x" to calculate Tr. However, when calculating the mixing energy by the method of V. Urusov, materials specialists, for whom the model was created, may have difficulty in choosing the initial parameters (eg, degree of ionicity, coordination number, interatomic distances, etc.), so all the initial parameters for each component are listed in the program database.

II. MATHEMATICAL METHODS OF MODELING

The main task in calculating the limits of substitutions and thermodynamic stability of solid solutions using the crystal energy method V.S. Urusov [6-8] is the definition of the mixing energy Q (interaction parameter). In the General case, the mixing energy according to VS Urusov consists of three contributions due to the difference in the size of the substituting structural units or interatomic distances in the components (Q_R), the difference in the degree of ionicity of the chemical bond ($Q\varepsilon$) and the difference in their crystal structures ($\Delta H_{II-I}/_{x1}$), where ΔH_{II-I} enthalpy of the polymorphic transition from the structure of the component that replaces in the structure of the one that it replaces:

$$Q = Q_R + Q_\varepsilon + \Delta H_{II-I}/x_1 \quad (1)$$

.

In this paper, the substitution of REEs in isostructural groups of systems is studied. Therefore, the third term in the above equation is zero. The second term of the equation according to [20] must be taken into account in cases where the dimensional factor is large enough, and the difference in the electronegativity of the substitute ions is greater than 0.4; or a difference in the degree of ionicity of the chemical bond in the components of the systems greater than 0.05. Taking into account the difference in the size of the structural units to be replaced and the differences in the degrees of ionicity of the chemical bond in the components, the mixing energy will be [6-8]:

$$Q = Q_R + Q_\varepsilon = Cmnz_m z_x(\Delta R/R_1)^2 + 1390mz_m z_x \alpha(\Delta\varepsilon)^2/(2R_1) \quad (2)$$

where C - is an empirical parameter calculated from the expression C = 20 (2Δχ + 1) [8] by the magnitude of the difference in electronegativity Δχ (EN) of cations and anion; m - the number of structural units in the compounds in the pseudobinary approximation of the components; n is the coordination number of the substituting structural unit in the pseudobinary approximation; z_m, z_x - charge modules of structural units (Ln^{3+} and YO_4^{3-}); R is the interatomic distance of the cation - the central atom of the oxoanion; R_1 is the smaller interatomic distance; α is the reduced Madelung constant calculated by the Templeton formula; Δε - differences in the degrees of ionicity of the chemical bond in the components, calculated by the difference in electronegativity (EN) of REE and anion cations taken from [9]. $\Delta R/R_1$ - the relative difference in the size of the structural units to be replaced (dimensional parameter).

The crystal chemical method of the quantitative theory of isomorphic substitutions was first developed and tested on the example of systems formed by binary compounds - alkali metal halides. This was due to the existing theoretical developments of previous generations of scientists, as well as a large number of experimental results on diagrams of states, substitution limits, structure, thermodynamics and other characteristics of these compounds. Formulated by VS Urus's rule of assistance allowed us to move to the characteristics of the size factor - from the relative difference in the size of structural units (tabular radii of ions), which are replaced by the difference in interatomic distances cation-anion. The latter were determined experimentally with greater accuracy and included not only the size of the structural units to be replaced, but also the total structural units. Later, the method was extended to systems formed by ternary compounds that contain complex anions isolated from each other, which can be considered as separate structural units, and the compounds themselves are called pseudobinary. In contrast to alkali metal halides, pseudobinary compounds have been studied to a much lesser extent, which in many cases complicates the determination of the dimensional parameter due to the limited amount of structural data [10-12].

III. SOFTWARE DESIGN

The intelligent information system for predicting the phase stability of solid solutions was proposed to build on base main principles supporting dialog processes [13]. Consider the choice of programming tools for developing intelligent information system software.

SQL (Structured query language) - a declarative programming language for user interaction with databases, used to generate queries, update and manage relational databases, create a database schema and its modification, database access control system [14].

SQL itself is neither a database management system nor a separate software product. Without being a programming language in the sense of C or Pascal, SQL can generate interactive queries or, being embedded in applications, act as instructions for data management. The SQL standard also contains functions for determining change, validation, and data protection.

Because SQL is not a programming language (that is, it does not provide the means to automate data operations), the extensions introduced by various vendors primarily concerned procedural extensions. These are saved procedures of procedural language - "add-ons". Almost every database uses its own procedural language.

Firebird (FirebirdSQL) is a free cross-platform relational database management system running on macOS, Linux, Microsoft Windows and some Unix platforms.

Created in 2001 in response to Interbase 6.0, the developer community is evolving without the explicit support of any major corporation.

Like Interbase, using MVCC, supports stored procedures in PSQL, triggers, transaction-independent 64-bit sequence generators. It is possible to work with basic data read-only (which allows you to use the database, for example, on CD-ROM and conveniently combined with the built-in version of the Firebird Embedded server). Implemented several levels of transaction isolation, backup without stopping the server. Implemented Unicode support.

DB2 is a family of relational database management systems manufactured by IBM. Most often, referring to DB2, we mean the relational database management system DB2 Universal Database (DB2 UDB) [15].

In the 2000s, DB2 was available in versions on the following platforms:

DB2 for Linux, UNIX and Windows v10 for AIX, HP-UX, Linux, Solaris, Windows and Mac OS X platforms

DB2 for z / OS v10 for z / OS and OS / 390 platforms

DB2 Server for VM v7.5 for z / VM and z / VSE platforms

DB2 for i for the IBM i platform (built into the system at the hardware-software level)

In the 1990s, DB2 server versions for OS / 2, UnixWare, PTX were also released.

DB2 DBMS clients, in addition to the listed platforms, are available or have been released in various versions for SINIX, IRIX, classic Mac OS and MS-DOS, as well as in the

mobile version of DB2 Everyplace for Windows CE, Palm OS, Symbian OS, Neutrino and virtual machine Java.

Since the 2000s, in addition to the family's commercial products, IBM has also distributed a free DB2 Express-C distribution.

Microsoft SQL Server is a relational database management system (RDBMS) developed by Microsoft. The main query language used is Transact-SQL, created jointly by Microsoft and Sybase. Transact-SQL is an implementation of the ANSI / ISO standard for Structured Query Language (SQL) with extensions. Used to work with databases ranging in size from personal to large enterprise-wide databases; competes with other DBMSs in this market segment.

MySQL (MFA: [maɪ ˌɛskjuːˈɛl]) is a free relational database management system [8]. MySQL is developed and supported by Oracle Corporation, which acquired the trademark rights along with the acquired Sun Microsystems, which previously acquired the Swedish company MySQL AB. The product is distributed both under the GNU General Public License and under its own commercial license. In addition, developers create functionality to order licensed users. It is thanks to this order that the replication mechanism appeared almost in the earliest versions.

PostgreSQL (pronounced "Post-Grass-Q-El" [16]) is a free object-relational database management system (DBMS).

It exists in implementations for many UNIX-like platforms, including AIX, various BSD systems, HP-UX, IRIX, Linux, macOS, Solaris / OpenSolaris, Tru64, QNX, and Microsoft Windows.

PL / SQL is a programming language used to access Oracle databases. The name itself means English. Procedural Language + SQL (structured query language).

The emergence of this language is a natural development of data processing tools for databases. As you know, the SQL language is a declarative programming language (4th generation programming language), ie the constructions of this language indicate what needs to be done, not how. PL / SQL supports all basic software constructs.

The syntax of this language is based on the syntax of the Pascal programming language. The program code is not case sensitive. The language is closely integrated with the SQL language.

Oracle Database (often simply Oracle) is an object-relational database management system from Oracle Corporation.

Oracle Application Express (abbreviated as Oracle Apex, APEX, formerly called Oracle HTMLDB) - a free environment for rapid development of application software based on Oracle Database, fully implemented as a web application. All elements that occur in the development cycle of the program in this environment are stored directly in the infrastructure of Oracle Database, thus ensuring the collaboration of developers and version control without the use of files and additional version control systems.

This work uses Oracle Database 11g and PL / SQL. The product extends the unique benefits of Oracle grid computing technology to improve customer service, reduce downtime and use information resources more efficiently, increasing productivity, scalability and security.

Oracle Application Express (Oracle APEX), is the low code web application development tool for the Oracle Database. Application Express enables you to design, develop and deploy beautiful, responsive, database-driven applications, either on-premises or in the cloud. Using only a web browser and limited programming experience, you can rapidly develop and deploy professional applications that are both fast and secure for any device, from desktop to mobile. Oracle Application Express combines the qualities of a low code tool, productivity, ease of use, and flexibility with the qualities of an enterprise development tool, security, integrity, scalability, availability and built for the web.

IV. CALCULATION RESULTS

For example, using an intelligent information system for predicting the phase stability of solid solutions, which based on the crystal-energy theory of isomorphous miscibility, were calculated the energies of mixing (interaction parameters) and critical decomposition temperatures of $Sc_{1-x}Ln_xVO_4$ solid solutions (where Ln is a rare-earth element (REE), Ln = Ce – Lu) with the zircon structure. According to the values of the decomposition temperatures (Td), their dependences on different substitution limits for solid solutions in the systems $Sc_{1-x}Ln_xVO_4$, where Ln represent rare-earth elements of Ce –Lu series are built (Fig.). Dependences for critical decomposition temperatures Tcr (for x = 0.50) is also shown there.

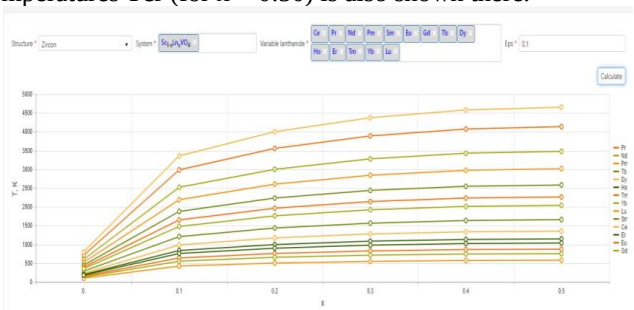


Fig. Diagram of thermodynamic stability of $Sc_{1-x}Ln_xVO_4$ solid solutions: Dependences of the calculated decomposition temperatures of $Sc_{1-x}Ln_xVO_4$ solid solutions from different substitution limits.

The results of the study can be used during the development of new luminescent materials based on ScVO4, which are modified with rare-earth elements, at defining rare-earth

elements in matrix and activator, at defining optimal proportions of REE in $Sc_{1-x}Ln_xVO_4$ matrixes.

V. CONCLUSIONS

As part of the work, the following tasks were performed:

- reliability of results;
- convenience and ease of use;
- the ability to work simultaneously with an unlimited number of users;
- lack of rigid binding to specific hardware and software;
- easy scalability of the system;
- hight security.

The following programming environments were chosen as the software design environment: Oracle Application Express (programming languages javasript, html, pl / sql) and pl / sql developer (programming language pl / sql).

The crystal chemical approach in the approximation of regular solutions was used to calculate the mixing energies (interaction parameters) of solid solutions. With an increase in the REE number, the calculated mixing energies and critical decomposition temperatures of solid solutions become smaller, which is caused by the decrease in the REE ionic radii.

The diagram of thermodynamic stability makes it possible to evaluate not only the stability of solid solutions in a wide range of compositions and temperatures, but also to predict for some solid solutions the substitution limits at a given decomposition temperature, or the decomposition temperature at a given substitution limit. The calculation results obtained do not contradict the experimental data.

REFERENCES

[1] A. A. Fotiev, B. V. Slobodin, M. Ya. Khodos, “Vanadata. Composition, synthesis, structure, properties”, M.: Nauka, 272 p., 1988.

[2] L. G. Chumilina, “Thermochemical properties of oxide compounds based on elements of group III of the periodic table DI Mendeleeva”, diss. Cand. chem. Science: 02.00.04. Krasnoyarsk, Inst. Of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 148 p., 2018.

[3] X. Wei, J. Wen, S. Li, “Red-shift of vanadate band-gap by cation substitution for application in phosphor-converted white light-emitting diodes”, et al. Appl. Phys. Lett. 2014, vol. 104, issue 18, doi: 10.1063 / 1.4875926, 2014.

[4] J. Chen, Y.–G. Liu, “Luminescence and Energy Transfer of a Color Tunable Phosphor: Tb3 + and Eu3 + Codoped ScPO4 / Mi R.”, et al. RSC Adv. 2016. vol. 6, issue 34, doi: 10.1039 / C6RA00108D., pp. 28887–28894, 2016

[5] A. I. Zagumennyi, S. A. Kutovoi, A. A. Sirotkin, “Spectroscopy and lasing of new mixed Nd-doped (Sc, Y) VO4 crystals”, et al. Appl. Phys. B. 2010, vol. 99, issue 1–2., doi: 10.1007 / s00340-009-3841-0, pp. 159–162, 2010

[6] V. S. Urusov, “Theory of isomorphic miscibility”, M.: Nauka, 250 p., 1988.

[7] V. S. Urusov, “Energetic theory of miscibility gaps in mineral solid solutions”, Fortschr. Mineral, vol. 52, pp. 141–150, 1975.

[8] V. S. Urusov, V. L. Towson, V. V. Akimov, “Solid state geochemistry” M.: GEOS, 500 p. 1997.

[9] L. Keyan, X. Dongfeng, “Estimation of Electronegativity Values of Elements in Different Valence States”, Chem, vol. 110, pp. 11332-11337, 2006.

[10] E. I. Hetman, S. V. Radio, L. I. Ardanova, “Prediction of phase stability of luminescent materials based on solid solutions of Sc1 – xLnxPO4 (Ln = Gd – Lu, Y) with zircon structure”, Inorganic materials, vol. 54, issue 6, pp. 628–632, 2018.

[11] B. E. Burakov, M. A. Yagovkina, V. M. Garbuzov, “Self-Irradiation of Monazite Ceramics: Contrasting Behavior of PuPO4 and (La, Pu) PO4 Doped with Pu-238”, et al. Symposium CC - Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXVIII. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 2004, vol. 824, CC4.1.1-CC4.1.6. doi: 10.1557 / PROC-824-CC4.1, 2014.

[12] R. Becker, “About the construction of binary bearings”, Z. Metallkunde, vol. 29. issue 8. pp. 245-249, 1937.

[13] O. V. Bisikalo, S. M. Dovgalets, P. Pijarski , A. I. Lisovenko, “Development of dialog system powered by textual educational content”, Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 100314E (September 28, 2016); doi:10.1117/12.2248863, 2016.

[14] V. M. Savinkov, V. A. Boykov, “Design of data information systems: monograph”, M .: Mir, ISBN 9-6685-6800-1, 352 p., 1997.

[15] V. M. Nosilova, V. V. Garshina, S. V. Sapegin , “Fundamentals of PL / SQL language: uch.-method. allowance. for universities”, M.: IPTSVGU, ISBN 9-7814-8421-9, 56 p., 2008.

[16] A. S. Vanetsev, E. V. Samsonova, O. M. Gaitko, K. Keevend, A. V. Popov, U. Maeorg, H. Mandar, I. Sildos, Yu. V. Orlovskii, “Phase Composition and Morphology of Nanoparticles of Yttrium Orthophosphates Synthesized by Microwave-Hydrothermal Treatment”, the Inf luence of Synthetic Conditions, vol. 639. pp. 415–421, 2015.

Достовірність оцінки знань методом закритого тестування

Володимир Бондарєв
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна

volodymyr.bondariev@nure.ua

Олексій Галуза
кафедра комп'ютерної математики і аналізу даних
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Харків, Україна
alexey.galuza@nure.ua

Reliability of knowledge assessment by multiple-choice tests

Volodymyr Bondariev
dept. of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.bondariev@nure.ua

Alexey Galuza
dept. of Computer Mathematics and Data Analysis
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
alexey.galuza@gmail.com

***Анотація*—Тести закритого типу розглядаються з ймовірнісної точки зору, що дозволяє оцінювати їх достовірність в термінах вибіркового середнього і довірчого інтервалу. Пропонується спосіб оцінки реальної компетентності випробуваного, який враховує можливість випадкового вибору вірних відповідей.**

Ключові слова—контроль знань; тест закритого типу; біноміальний розподіл; довірчий інтервал

***Abstract*—Multiple-choice tests are considered from a probabilistic point of view, which makes it possible to assess their reliability in terms of the sample mean and confidence interval. A method is proposed to assess the subject's real competence, which considers the possibility of randomly choosing the correct answers**

Keywords—knowledge assessment; multiple-choice test; binomial distribution; confidence interval

I. Вступ

Контроль знань за допомогою тестів завжди був затребуваним в сфері освіти. Особливо часто вдаються до тестів закритого типу [1], оскільки і проведення, і перевірка таких тестів може бути повністю автоматизована.

У зв'язку з цим хотілося б прояснити, що саме і з якою точністю вимірюють подібні тести [2]. Зрозуміло, завжди можна сказати, на яку частку питань випробовуваний дав правильну відповідь, але ж мета тесту – виміряти рівень знань, а не полічити кількість вірних відповідей. Інтуїтивно ясно, що точність вимірювання залежить від розміру тесту, але великі тести важко укладати і утомливо проходити. Тому хотілося б зрозуміти, який компроміс «ціна-якість» можливий при проведенні тестування. Слід зазначити, що всі подальші міркування і висновки засновані на аналізі тільки кількісного боку тестів.

II. Модель знань

Почати слід з визначення того, що таке «знання», які ми маємо намір вимірювати. Залишивши в стороні філософський аспект питання, уявімо модель цього поняття у вигляді безлічі питань, на які людина може або не може дати відповідь. Чим більше правильних відповідей здатна дати людина, тим вище рівень її знань. Таким чином, рівень знань – це відношення $P/(P+Q)$, де P – число питань, на які випробовуваний знає відповідь, Q – кількість питань, на які випробовуваний відповіді не знає. Виміряти рівень знань означає встановити величину цього відношення, вочевидь, його значення перебувають в інтервалі (0, 1).

Зробимо припущення, що, якщо випробовуваний знає відповідь на деяке питання, він вірно відповість на це питання в тесті, а якщо не знає, відповість невірно. Насправді це не зовсім так, але ми повернемося до цього пізніше.

III. Схема Бернуллі

З таким припущенням проблема оцінки знань зведеться до добре вивченою статистичної задачі. Є генеральна сукупність великого розміру, що складається, скажімо, з чорних і білих куль. Є випадкова вибірка з n куль, в якій

k білих і *n–k* чорних куль. Необхідно оцінити за допомогою цієї вибірки питому кількість білих куль в генеральній сукупності.

Про всяк випадок уточнимо, що білі кулі – це питання, на які випробовуваний знає відповідь, чорні кулі – питання, на які випробовуваний відповіді не знає. Вибірка це тест. Питома кількість білих куль в генеральної сукупності – це рівень знань випробуваного, який ми хочемо виміряти.

Коли укладач додає питання до тесту, йому не відомо, знає або не знає випробуваний відповідь на це питання, тобто колір кулі, що обирається, прихований від упорядника, і тому тест можна вважати випадковою вибіркою. Якщо так, то ймовірність появи будь-якої білої кулі в вибірці дорівнює *p*, будь-якої чорної – *q*.

$$p = P/(P+Q), \quad q = Q/(P+Q), \quad p+q = 1$$

Кількість білих куль у вибірці – це випадкова величина, що має біноміальний розподіл [3]. Згідно зі схемою Бернуллі, найбільш імовірним значенням *p* є частка *k/n*, але наскільки достовірною буде така оцінка? Відповідь можна дати у формі довірчого інтервалу, який визначається, виходячи з бажаного рівня значущості.

Імовірність того, що у вибірці розміру *n* буде рівно *k* білих куль, розраховується за формулою:

$$P_n(k) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k}$$

Біноміальний розподіл унімодальний, тому довірчий інтервал d можна визначити із співвідношення (1).

$$S(k,d) = \sum_{i=k-d1}^{i=k+d2} \binom{n}{i} p^i q^{n-i} \le P, \qquad (1)$$

де *d1* и *d2* – відхилення вліво і вправо від найбільш ймовірного значення *k/n*; *S(k, d)* – сума ймовірностей всіх вибірок з числом чорних куль від *k–d1* до *k+d2*; *P* – обраний рівень значущості.

На графіку функції біноміального розподілу площа *S(k, d)* зафарбована (рис.1).

При тих значеннях n, які характерні для тестування, визначити довірчий інтервал можна прямим підрахунком сум (1), прийнявши, для параметру p вибіркове значення k/n. Підрахунок можна виконати за допомогою комп'ютерної програми, як це і робиться в системі автоматичного тестування [4].

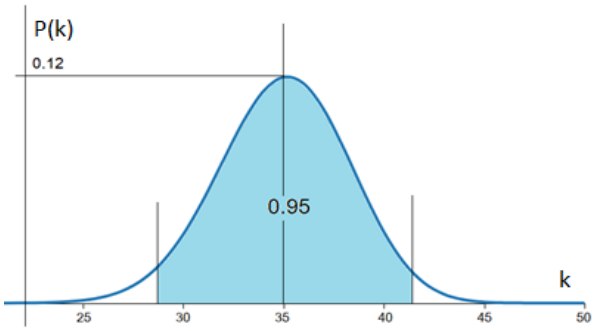


Рис. 1. Графік функції біноміального розподілу

З обчислень видно, що найменш надійні оцінки тих випробовуваних, які показують середній рівень знань; при тому ж рівні значущості їх довірчий інтервал найширший. Видно також, що тести з числом питань більш 50 не дають помітного виграшу в точності оцінок, а тести з числом питань менше 30 недостатньо надійні.

IV. Вгадування відповіді

На початку було зроблено припущення, що якщо випробуваний знає відповідь, він вірно відповідає на питання тесту, якщо не знає, відповідає невірно. Ми не обійдемося без припущень в наших міркуваннях, але нехай вони будуть природними, тобто справедливими по відношенню до більшості людей. В даному випадку, природно припустити, що коли випробуваний знає відповідь, він відповідає правильно, а коли не знає, то відповідає навмання або намагається вгадати правильну відповідь.

Таким чином, якщо випробовуваний правильно відповів на *k* питань, то це число складається з *k1* питань, на які він дійсно знав відповідь, і *k2* питань, на які він відповідь вгадав, *k = k1 + k2*.

Імовірність випадково дати правильну відповідь залежить від кількості варіантів відповіді на дане питання, а саме,

$p_i = 1/a_i$ - для одноразового вибору

$p_i = 2^{-a_i}$ - для множинного вибору

де a_i – число можливих варіантів відповіді на *i*-те питання тесту.

Припустимо, що випробуваний не знає нічого і на кожне запитання відповідає навмання. Уявімо, що тест він проходить багато разів (*N* разів). Тоді число вірних відповідей на і-те питання дорівнює $p_i N$, а середня кількість вірно вгаданих відповідей при одноразовому проходженні тесту дорівнює

$$\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{n} p_i N = \sum_{i=0}^{n} p_i$$

Така сума є важливою характеристикою тесту, але нам буде зручніше мати справу з її відносним вираженням – середньою ймовірністю вгадування.

$$z = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} p_i$$

Якщо випробовуваний відповідає навмання не на всі, а тільки на *t* питань тесту, то в середньому він вгадає правильні відповіді на z*t* питань.

Повернемося до того, що з *k* питань випробовуваний знав відповіді лише на *k1*, а решту *k2* вгадав. Отже, випробуваний не знав відповіді на *n – k1* питань тесту і відповідав на них випадково, тобто *k2 = z (n – k1).*

В той самий час *k2 = k – k1, i.* звідси знаходимо *k1*.

$$k1 = (k - zn)/(1 - z)$$

Або, розділивши на n ліву і праву частини

$$k1/n = (k/n - z)/(1 - z)$$

Але *k1/n = r* – це відношення числа питань, на які випробовуваний знає відповідь, до загальної кількості питань тесту, тобто це вибіркова оцінка реальних знань випробуваного.

Честка *k/n = v* – відношення числа вірних відповідей до числа питань тесту – оцінка спостережуваного рівня знань. Якщо нас цікавить реальний рівень знань, а не спостережуваний, то потрібен перерахунок за формулою (2).

$$r = (v - z)/(1 - z) \qquad (2)$$

Наприклад, в тесті на кожне питання пропонується 5 варіантів відповіді, тобто середня ймовірність вгадування, z = 1/5. І коли випробуваний дає 20% вірних відповідей (v = 0.2), ми можемо припустити, що його знання дорівнюють нулю, r = (0.2 - 0.2) / (1 - 0.2) = 0.

Якщо ж випробуваний дає 100% вірних відповідей, то можна сподіватися, що його компетентність максимальна і дорівнює *r = (1 - 0.2) / (1 - 0.2) = 1*.

На малюнку 2 показано співвідношення між спостережуваним (вісь *Ox*) та реальним (вісь *Oy*) рівнем знань.

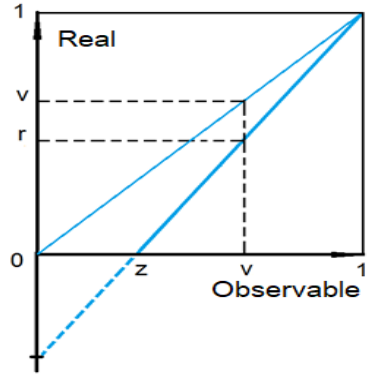


Рис. 2. Спостережуваний та реальний рівень знань

Межі довірчого інтервалу також повинні бути піддані перетворенню (2).

Зауважимо, що знайдуться такі випробовувані, чия реальна компетентність виявиться негативною. Це можливо, тому що, намагаючись вгадати, люди приймають правдоподібні відповіді за правильні. Навіть, якщо результат *r* невід'ємний, він буде занижений за рахунок невдалих вгадувань, оскільки укладачі тесту зазвичай роблять неправильні відповіді правдоподібними.

Виходить, що, якщо відповіді не знаєш, краще відповідати не замислюючись. А ще краще передбачити в системі тестування кнопку «не знаю», щоб виключити питання з такою відповіддю з перерахунку. Не втомлюючи читача викладками, наведемо формулу перерахунку в тому випадку, коли *t* питань тесту отримали відповідь «не знаю». Щоб виражатися у відносних величинах, позначимо *t / n* через *u*.

$$r = \frac{v - z(1-u)}{1 - z} \qquad (3)$$

При *u = 0*, вираз (3) вироджується в (2).

Якщо ж *u = 1 - v*, тобто випробуваний завжди чесно визнавав своє незнання, він нічого не втрачає при перерахунку і *r = v*.

V. Висновки

Оцінка знань за допомогою тестів закритого типу носить статистичний характер, тому повинна бути не точковою, а інтервальною. Щоб тест був і інформативним, і не дуже втомлював, він повинен містити від 30 до 50 питань.

Компетентність, яку демонструє випробуваний в тесті, відрізняється від реальної. Якщо нам цікава реальна компетентність, необхідний перерахунок за формулою (3). До того ж реальна шкала дозволяє порівнювати не тільки результати одного тесту у різних випробуваних, але і результати різних тестів у одного випробуваного, наприклад, при оцінці прогресу студента на певному відрізку часу.

У системах тестування бажано мати кнопку «Не знаю». Натискати її у відповідній ситуації – в інтересах самого випробуваного, але це треба йому пояснити.

Література References

[1] В.С.Аванесов, Композиция тестовых заданий, 3rd ed М.: Центр тестирования,. 2002, с 16-18.

[2] М.Ф.Бондаренко и др.”Оценивание тестовых заданий разных типов и определение их уровня сложности.” в журналі НАН України (Відділення інформатики) "Штучнийінтелект" 4’2009, сс.322-329.

[3] Е.В.Гмурман Теория вероятностей и математическая статистика, М.: Высшее образование. 2005, сс.117-123.

[4] A.J.Almghawish etc., "Software Support For Programming Language Tutorials," in World of Computer Science and Information Technology Journal, Vol. 3, No. 9, 2013, pp.144-149.

Визначення стану захищеності кіберпростору

Алла Гаврилова
кафедра кібербезпеки та інформаційних технологій
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
Харків, Україна
alla.gavrylova@hneu.net

Determination of cyber space security

Alla Havrylova
Department of Cyber Security and Information Technology
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics
Kharkiv, UKRAINE
alla.gavrylova@hneu.net

***Анотація*—проведено аналіз динаміки кіберзазгроз з точки зору виявлення підозрілих подій, кібератак та кіберінцидентів, запропановано модифікувати алгоритм гешування бази даних паролів та шифрування повідомлень електронної пошти**

***Abstract*—Analysis of the dynamics of cyber threats in terms of detection of suspicious events, cyberattacks and cyber incidents, proposed to modify the algorithm for password database hashing and encryption of e-mails**

Ключові слова—кіберзагрози, гешування, еліптичні криві, алгоритм UMAC, кіберінциденти

Keywords—cyber threats, hashing, elliptic curves, UMAC algorithm, cyber incidents

I. Вступ

Активне переведення співробітників на віддалену роботу і виведення внутрішніх сервісів компаній на мережевий периметр, обумовлені пандемією COVID-19, вплинули на ландшафт кіберзагроз у всьому світі. Лише деякі компанії, які і так практикували роботу у віддаленому режимі, були готові впоратися з усіма складнощами в забезпеченні безпеки, інші зіткнулися з нестачею часу на продумування і реалізацію всіх необхідних заходів захисту.

Зловмисники без зволікання приступили до пошуку вразливостей в сервісах на периметрах компаній, в тому числі в рішеннях, які використовуються для організації віддаленої роботи, перевіряючи їх на міцність. Так, активно експлуатувалися проломи в Pulse Secure VPN, Citrix ADC і Citrix Gateway, в міжмережевому екрані Cisco ASA. Оператори програм-вимагачів, зокрема Netwalker, Clop і REvil, користувалися уразливими сервісами для поширення свого шкідливого програмного забезпечення (ПЗ).

У зв'язку з цим актуальним є дослідження світових тенденцій кібербезпеки та визначення стану з цього питання в Україні.

II. Аналіз стану кібербезпеки в Україні

Система кіберзахисту державних інформаційних ресурсів та об’єктів критичної інфраструктури на об’єктах моніторингу за період з початку грудня 2020 р. до кінця травня 2021 р. зафіксувала 46 787 272 підозрілих подій [1]. Розподіл підозрілих подій за групами наведено на рис. 1.

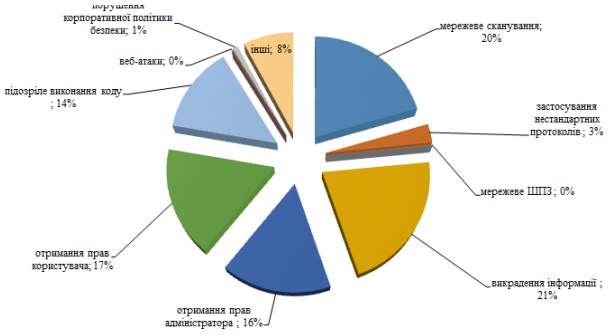


Рис. 1. Кількість підозрілих подій

Система захищеного доступу державних органів до мережі Інтернет за період з початку грудня 2020 р. до кінця травня 2021 р. заблокувала 1 125 783 атак різних видів [1]. Розподіл заблокованих кібератак за групами наведено на рис. 2.

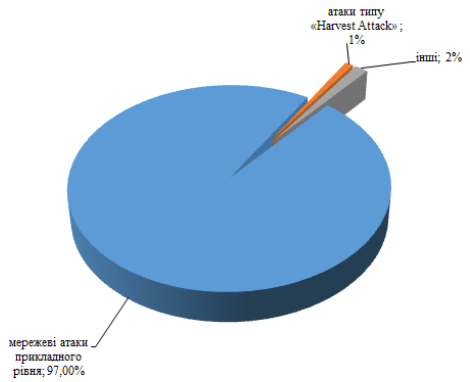


Рис. 2. Кількість кібератак

Також за цей період зафіксовано і заблоковано 287 DDoS-атак, зокрема на вебресурси Офісу Президента України та Держспецзв'язку.

За даними Держспецзв'язку з початку грудня 2020 р. до кінця травня 2021 р. урядовою командою реагування на комп'ютерні надзвичайні події України CERN-UA було виявлено 79 104 кіберінцидентів [1]. Розподіл всіх кіберінцидентів за групами наведено на рис. 3.

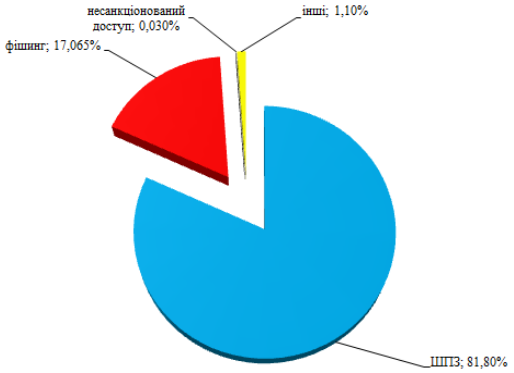


Рис.3. Кількість кіберінцидентів

Дані тенденції характерні й для кіберпростору по всьому світові. Так, в атаках на організації основними векторами доставки шкідливого програмного забезпечення (ПЗ) залишаються електронна пошта (71%) і компрометація комп'ютерів, серверів та мережевого обладнання (24%), а в атаках на приватних осіб хакери віддають перевагу електронній пошті і веб-сайтам (по 32%) [2].

Також можна зазначити, що основним джерелом виникнення кіберінцидентів є канали передачі інформації, в тому числі й електронна пошта.

При автентифікації користувачів в електронній пошті використовується гешування паролів, яке проводиться з використанням алгоритму криптографічного захисту MD5.

При роботі в постквантовому періоді даний алгоритм не володіє необхідною криптостійкістю до зломів, тому постає завдання створення нових алгоритмів або модифікації вже наявних.

При реєстрації користувача в електронній пошті, зазначений їм пароль проходить через геш-функцію і замість пароля в базу даних буде занесений отриманий геш. При кожній спробі авторизації вказаний пароль буде кожен раз проходити через геш-функцію, і отриманий геш-код буде порівнюватися з геш-кодом збереженим в базі даних, і якщо вони будуть ідентичні, то пароль користувачем було вказано вірний.

Алгоритм гешування, який вимагає досить великих ресурсів і великої кількості операцій для обчислення хешу в умовах постквантової криптографії зможе забезпечити належний рівень криптостійкості.

Модифікації, які приведуть до підвищення криптостійкості алгоритмів гешування можуть бути пов'язані з використанням крипто-кодових конструкцій (ККК) на еліптичних кодах Мак-Еліса на підставі алгоритму UMAC.

Також слід зазначити, що використання даного алгоритму може бути застосовано й для підготовки та передачі повідомлень телекомунікаційними каналами, що також повинно сприяти підвищенню рівня криптостійкості повідомлення, що передається.

III. ВИСНОВКИ

В результаті було проаналізовано тенденції щодо зростання різновидів та кількості кіберзагроз як у світові, так й в Україні за останнє півріччя. Згідно із майбутніми змінами в технічному оснащенні зловмисників та появою квантового комп'ютеру, запропоновано використання ККК на модифікованих еліптичних кривих Мак-Еліса за алгоритмом UMAC для проведення гешування при зберіганні паролів користувачів електронної пошти та шифруванні повідомлення, що передається від відправника до отримувача.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Сайт Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України (2021). "Оперативна інформація Держспецзв'язку щодо захисту державних інформаційних ресурсів" [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://cip.gov.ua/ua/news/fakhivci-derzhspeczv-yazku-z-26-travnya-po-1-chervnya-2021-roku-zablokuvali-44-9-tis-kiberatak-na-derzhavni-informaciini-resursi

[2] Угрозы кибербезопасности – 2020 (2021) Positive technologies, [Электронный ресурс]. Режим доступа:: www.ptsecurity.com/ww-en/analytics/cybersecurity-threatscape-2020.

Підхід до автоматизованого моніторингу стану сільськогосподарських рослин

Олександр Коваль
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України,
НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна
Київ, Україна
askoval@yandex.ua

Ольга Гаврилюк
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України.
Київ, Україна
jvpisarenko@ukr.net

Тетяна Чоботок
відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
tatiana110b@gmail.com

Сергій Іовов
лабораторія № 236 систем віртуального оточення для організації наукових досліджень
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
5264359@mail.ru

Approach to automated monitoring of agricultural plants

Oleksandr Koval
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine
askoval@yandex.ru

Olga Gavrylyuk
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
olga-gulchak@ukr.net

Tetyana Chobotok
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
tatiana110b@gmail.com

Sergij Iovov
lab. №236 of Virtual Environment Systems for Organization of Scientific Research
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
5264359@mail.ru

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

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

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

Keywords—expertise; plant varieties; data exchange; automation

I. Вступ

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

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

II. Постановка задачі та концепція її вирішення

Пропозиція авторів що до удосконалення наявної системи обміну даними реалізує докорінну зміну підходу до реалізації заданих методик кваліфікаційної експертизи на ВОС [2]: це використання в польових умовах зручного мобільного пристрою інформатики, програмне забезпечення якого включає мобільний додаток для платформи Android. Причому екрани (скріни) додатку відповідають формам введення даних згідно заданої Установою методики, є доступ до довідкових баз та онлайн комунікація з фахівцями Установи, є можливості оперативного внесення даних безпосередньо у базу автоматизованої інформаційної системи (АІС), додавання коментарів та ілюстрацій.

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

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

III. Які проблеми вирішує впровадження технології

Впровадження технології дозволяє вирішити наступні проблеми:

- проблему спрощення та оптимізації самого процесу збору необхідних даних прямо на полі, створення додатку ведення обліку, на якому було б зручніше вести облік, ніж на паперових носіях та на існуючих додатках;

- проблему оперативного збереження, сортування, відправки до бази, взагалі роботи з необхідними фото-відео матеріалами;

- проблему контролю за роботою фахівців-агрономів;

- підвищення оперативності передачі необхідних даних;

- проблему захисту бази даних Установи від внесення неперевірених даних;

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

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

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

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

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

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

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

Література References

[1] Український інститут експертизи сортів рослин. Офіційний сайт: https://sops.gov.ua
Ukrainian Institute for Plant Variety Examination [Online]. Available: https://sops.gov.ua

[2] В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, О.С. Коваль, "Про розвиток автоматизованої інформаційної системи забезпечення експертизи сортів рослин з урахуванням вимог ЄС", *Зб. наук. праць "Комп'ютерні засоби, мережі та системи"*, № 16, С. 132-138, 2017. URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131518
V. Pysarenko, J. Pysarenko, O. Koval, "Pro rozvitok avtomatizovanoji informatsIynoii sistemy zabezpechennya ekspertyzy sortiv roslyn z urahuvannyam vymog ES", *J. "Komp'yuterni zasoby, merezhi ta systemy"*, № 16, pp. 132-138, 2017 [Online]. Available: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131518

Використання інформаційних технологій для збереження історичної спадщини місцевого рівня

Олександр Макаренко
Відділ прикладного нелінійного аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
makalex51@gmail.com

Євген Самородов
Відділ прикладного нелінійного аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
esamor2@gmail.com

Ольга Морева
Відділ прикладного нелінійного аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
olga_moreva@ukr.net

Алла Патіоха
Відділ прикладного нелінійного аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
alla_patio@ukr.net

Use of information technology for the preservation of historical heritage at the local level

Alexander Makarenko
Department of Applied Nonlinear Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
makalex51@gmail.com

Eugene Samorodov
Department of Applied Nonlinear Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
esamor2@gmail.com

Olga Moreva
Department of Applied Nonlinear Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
olga_moreva@ukr.net

Alla Patiocha
Department of Applied Nonlinear Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
alla_patio@ukr.net

***Анотація*— У роботі розглядається можливість використання інформаційних технологій для збереження історичної та культурної спадщини місцевого рівня. Описано приклад використання геоінформаційних технологій для створення єдиного державного ресурсу, який дозволяє поповнювати інформацію на місцевому рівні, а використовувати її всіма користувачами мережі.**

***Abstract*— The paper deals with the use of information technology for the preservation of historical and cultural heritage at the local level. Describes an example of the use of geographic information technologies to create a single public resource that allows you to update information locally and use it with all users on the network.**

Ключові геоінформаційні технології, ввод даних, зберігання даних, візуалізація даних.

Keywords— geoinformation technologies, data entry, data storage, data visualization.

I. Вступ

Міністерство культури та інформаційної політики ((МКІП)) розпочало створення електронного реєстру нерухомих об'єктів культурної спадщини України. У 2020 році Інститут географії НАНУ закінчив розробку Атласу населення України та його природної і культурної спадщини (Руденко Л., та ін., 2020). У 2021 році МКІП буде розвивати електронний реєстр, реалізуючи першочергову мету поставити на електронний облік приблизно 130 тис.

об’єктів нерухомої культурної спадщини. При роботі з інформацією зручно представляти її у вигляді інтерактивних тематичних карт, які є потужним засобом аналізу просторових систем нерухомої спадщини таких як електронний реєстр. Однак реєстр не включає об'єкти місцевого значення. У зв'язку з цим на місцеві об'єкти не виділяється фінансування і вони з часом можуть зникнути назавжди, як і згадка про них. В рамках цього напрямку було виконано пілотний проект, який показав шляхи реєстрації місцевих культурних об'єктів, щоб вони не були забуті. В якості базового шаблону використовувалася ГІС GiscuitRegion. Основною перевагою пілотного проекту є єдиний інформаційний простір для всіх територій України і можливість фотофіксації об'єктів. Також присутня можливість спостерігати динаміку зміни стану об'єкта при отриманні нових даних (описів, фотографій, ...)

II. Загальні питання використання ГІС

Основною проблемою при використанні ГІС є наявність або відсутність просторових і атрібутних даних. На ранніх етапах розвитку велику проблему становила відсутність просторової (картографічної) основи. Однак з розвитком космічної та аерофотозйомки і розвитком інструментів дешифрування і векторизації ця проблема поступово вирішується. З'являються векторні і растрові топооснови з все більш дрібним масштабом.

Але при використанні все більш дрібних масштабів виникають нові проблеми такі, як стрімке зростання обсягу інформації, вимірюване вже терабайтами. Гостро стоять задачі оновлення даних в зв'язку з інтенсивним зростанням і інтеграцією між суміжними ГІС системами.

Удосконалення просторової основи вимагає більш детальних атрібутних даних і механізмів геокодування. Деталізація даних для дрібних масштабів веде до зростання кількості зібраних параметрів, що породжує проблеми класифікації, уніфікації та систематизації. Стає важким відстеження навіть переліку даних, що збираються. Для обробки інформації для її подальшого використання виникає необхідність відбору даних для вирішення конкретних завдань і при спілкуванні аналітиків з ГІС фахівцями основним питанням є питання: «Які дані є для того чи іншого регіону та за який період?». Ця проблема вирішується створенням сервера метаінформації, який підключається до ГІС. Одним з таких рішень є GeoNetWork. Для атрібутних даних також як і для просторових гостро постає питання обсягу інформації та доступу до неї, так як для досліджень необхідна динаміка зміни інформації в часі. Це породжує створення все більш ефективних методів відбору і пошуку певних даних. Особливо виділяється проблема збору та введення даних в ГІС.

Виходячи з вищевикладеного для накопичення, зберігання та використання інформації необхідно комплексно вирішувати завдання оновлення даних, класифікації інформації, зберігання в зручному для аналізу і інтеграції вигляді і мати засоби для візуалізації наявних даних і результатів обробки інформації. Крім завдань накопичення, зберігання і використання інформації, які є базисом, найважливішим завданням залишається завдання використання зібраних даних, які разом з методами обробки є базою знань. Для розуміння використання знань необхідно виділити основні групи користувачів і цілі, які переслідує або повинна переслідувати кожна група.

У нашому випадку основними користувачами і постачальниками інформації є звичайні небайдужі до своєї історії люди.

Однією з кращих інформаційно-аналітичних систем для реєстрації та відображення інформації, на наш погляд, є GiscuitRegion побудована на базі Giscuit (giscuit.com) [1].

III. Стислий опис GiscuitRegion

При використанні ГІС основним фактором є зручність використання інструменту. Якщо програмою не зручно користуватися, то і ефект буде відповідний. Таким чином, при розробці інтерфейсу для звичайного користувача основні зусилля повинні бути спрямовані на простоту і зручність.

Наш досвід створення інформаційних ресурсів дозволяє стверджувати, що найбільш зручним інтерфейсом є "атласний" інтерфейс, який складається з дерева (по якому виконується вибір) і інформаційна частина, в якій відображається результат вибору. Цим вимогам відповідає один з 4 робочих інтерфейсів системи представлений на рис. 1.

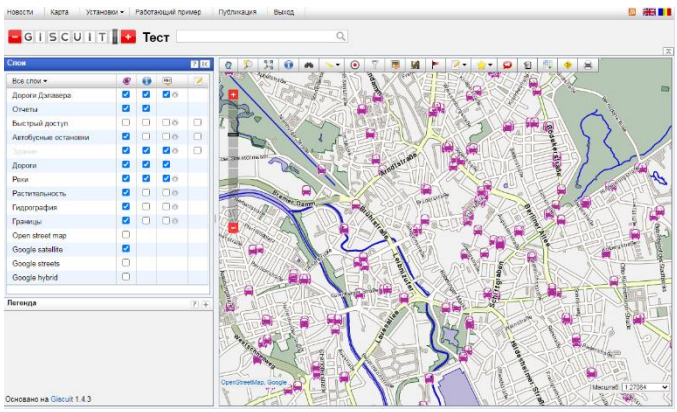


Рис. 2. Основний комп'ютерний інтерфейс

Також існує "адаптивний", мобільний і інтерфейс адміністратора.

Відразу варто відзначити, що GiscuitRegion є серверним рішенням, яке працює на персональних комп'ютерах і мобільних пристроях без обмеження кількості користувачів. Систему можна використовувати, як єдину точку входу для різних систем. Вона дозволяє в залежності від прав користувача виконувати перегляд і on-line редагування даних, а також працювати в режимі off-line з подальшою синхронізацією даних після підключення до мережі. Система розрахована на необмежену кількість користувачів.

Для побудови моделей, аналізу та візуалізації даних використовуються методи реляційної картографії, докладно

представленої в монографії В.С Чабанюка «Реляційна картографія: Теорія та практика» [2].

IV. Приклад використання

Приклад використання GiscuitRegion для різних рівнів інформації, починаючи з міждержавного до муніципального з можливістю інтеграції різних даних з єдиної точки входу.

На рис. 2. Показаний об'єкт державного значення в адаптивному інтерфейсі.

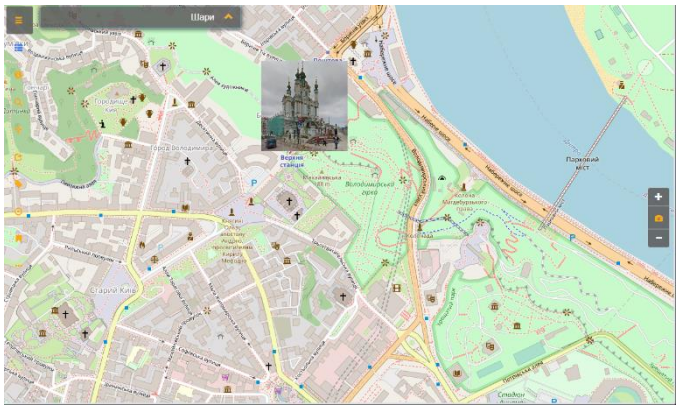


Рис. 3. Андріївська церква

Спеціально для цього проекту було використано додаток з використанням вкладених таблиць. Воно дозволяє реєструвати інформацію при ексгумації братських могил. У цьому випадку на карті є 1 об'єкт - братська могила. При знаходженні жетонів похованих солдатів можна інколи визначити прізвище. У цьому випадку з'являється підпорядкована таблиця з переліком прізвищ рис. 3.

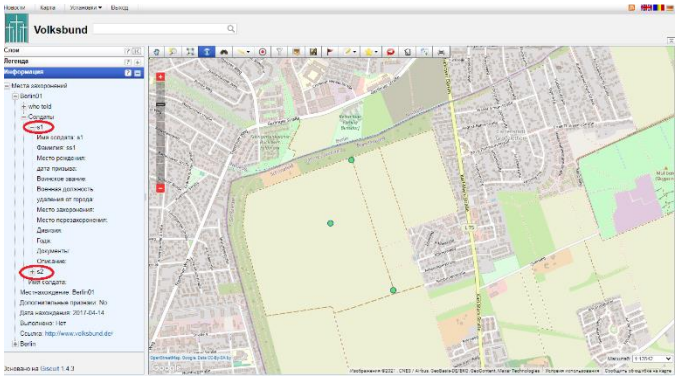


Рис. 4. Підпорядкована таблиця.

Література References

[1] A. Makarenko, Z. Klestova, E. Samorodov “Geoinformation systems (GIS) application for social systems and impact on the society,” INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES –IV Kiev June 4-6 Kiev Ukraine.

[2] В.С Чабанюк, “Реляційна картографія: Теорія та практика,” Київ: Інститут географії НАН України, 2018.- 525 с.

Structure and Functioning of Information Systems of Background Monitoring of Landscape Elements of Gorgany Nature Reserve

Yaroslav Nykolaychuk, Ihor Pitukh
Department of Specialized Computer Systems
West Ukrainian National University
Ternopil, Ukraine
pirom75@ukr.net

Yaroslav Petrachuk
Gorgany Nature Reserve
Nadvirna, Ukraine
yarukecoalp2015@gmail.com

Taras Grynchychyn, Lubov Nykolaychuk
Department of Programming and Informatics
Nadvirna Vocational College by NTU
Nadvirna, Ukraine
gtarasm79@ukr.net, lmnykolaychuk@gmail.com

Volodymyr Hryha
Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
v.dr_2000@ukr.net

Структура та Функції Інформаційних Систем Фонового Моніторингу Ландшафтних Об'єктів Природного Заповідника Горгани

Ярослав Николайчук, Ігор Пітух
кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Західноукраїнський національний університет
Тернопіль, Україна
pirom75@ukr.net

Ярослав Петращук
Природний заповідник Горгани,
Надвірна, Україна
yarukecoalp2015@gmail.com

Тарас Гринчишин, Любов Николайчук
циклова комісія програмування та інформатики,
ВСП "Надвірнянський фаховий коледж НТУ"
Надвірна, Україна
gtarasm79@ukr.net, lmnykolaychuk@gmail.com

Володимир Грига
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
ДВНЗ "Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника",
Івано-Франківськ, Україна
v.dr_2000@ukr.net

Abstract— **This paper discusses the structural organization of the background monitoring system (BMS) of the transboundary UNESCO World Heritage Site "Beech forests of the Carpathians and ancient beech forests of Germany" using actual data and information from Gorgany Nature Reserve in Ivano-Frankivsk, Ukraine. The features of the structure and functions of background monitoring of the protected natural resources, forests and wildlife of Gorgany Nature Reserve is based on modern methods of collecting and processing of digital data, implementation of the principles of Internet of Things and cloud technologies, combined with GPS-systems, sensor networks with the use of optical and fiber-optic telecommunication channels. It is proposed to expand the functionality and increase the reliability of the ring-star system for background monitoring of nature reserves based on binary-manipulated optical signals. A sensor system for measuring the height of snow cover along the monitoring route is developed using a relay sensor network and quadcopters.**

***Анотація*— Сформульована концепція структурної організації системи фонового моніторингу (СФМ) транскордонного об'єкту всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат та давні букові ліси Німеччини», яка включена до списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО об'єкта «Букові праліси і давні ліси Карпат та інших регіонів**

Європи». Розроблена структура СФМ на території заповідника «Горгани», на основі сучасних методів збору, цифрового опрацювання даних, реалізації принципів інтернет речей, хмарних технологій, GPS-систем, сенсорних мереж із застосуванням відкритих оптичних та волоконно-оптичних телекомунікаційних каналів зв'язку. Запропоновано розширення функціональних можливостей та підвищення надійності кільцево-зіркової системи фонового моніторингу природоохоронних територій на основі бінарно-маніпульованих оптичних сигналів. Розроблена сенсорна система вимірювання висоти снігового покриву по трасі моніторингу шляхом сумісного застосування естафетної сенсорної мережі та квадрокоптерів.

Keywords — background monitoring; nature reserves; open optical and fiber-optic channels; sensors.

Ключові слова— фоновий моніторинг; заповідники; відкриті оптичні і волоконно-оптичні канали; сеснори.

I. INTRODUCTION

Nowadays there is a successful development of information technologies. Significant achievements are obtained in the field of synthesis and mass replication of microprocessor and microelectronic components of cyber-physical systems [1,2]. The successes and achievements of IT create the corresponding positive results of the modern development of theories, methods and materials for collection, transformation, mathematical processing, restoration and use of monitoring data in the environment of cyber-physical systems. The relevance and widespread distribution and practical use of information monitoring systems (IMS) adapted to the relevant and nature conservation objects of Ukraine in the Carpathians are growing.

A promising direction for successful implementation of IMS for nature conservation objects is the application of methods of information source theory [1-3] and the theory of interactive information systems [4] by measuring the informative parameters of objects and generating data of a characteristic function on the basis of family models of states of monitoring facilities. The basic theoretical foundations are statistical, correlation, spectral, cluster, logic-statistical and entropy models [1]. The results of the functioning of the IMS are based and formed on the basis of the theory of pattern recognition, Euclidean distance estimation in the Hamming distance.

As implementation of telecommunications systems in Gorgany Nature Reserve appropriate use of optic-electronic means through open channels of optical and fiber-optic lines. Optical communication channels are characterized by the absence of generation of electromagnetic radiation and are insensitive to powerful atmospheric and electromagnetic influences in the landscape area of the high mountain area of the reserve.

According to Article 3 of the Law of Ukraine "On the Nature Reserve Fund of Ukraine", landscape objects of this category include: nature reserves, biosphere reserves, national nature parks, regional landscape parks, reserves, nature monuments and nature tracts. Such objects are characterized by large amounts of information that is logged in real time and processed by sophisticated algorithms. A particularly important example of monitoring sites is the UNESCO World Heritage sites to which in Ukraine belongs Gorgany Nature Reserve [3,4].

Therefore, the implementation of an effective system of background monitoring of nature conservation objects of this reserve is an urgent problem, which covers the solution of conceptual problems and a set of theoretical and applied problems in the field of information technologies.

II. CHARACTERISTICS OF THE STATUS OF THE GORGANY NATURE RESERVE AND BASIC NATURE PTOTECTION OBJECT OF ITS TERRITORY

There is an analytical method of raising a binary number to a square [4]. The method is based on decomposing a binary number according to the formula:

Gorgany Nature Reserve is one of the clusters the Ukrainian part of the natural object of the UNESCO World Heritage "Beech forests and ancient forests of the Carpathians and other regions of Europe" [3,4].

The Protected areas in Germany have the following status: National park Jasmund, Southeast Rügen Biosphere Reserve, Schorfheide-Chorin Biosphere Reserve.

Gorgany Nature Reserve belongs to the strict nature reserves. It is the one of the PA (protected area) which is untouched by human interventions in the central region of the Ukrainian Carpathians. The German University of Sustainable Development (Eberswalde) is a partner in the creation of the Gorgany Nature Reserve monitoring system.

Fig. 1 shows the boundaries of the 56 quadrants of the territory heights of Gorgany Nature Reserve [3].

Fig.1. Map of the territory heights of Gorgany Nature Reserve.

Gorgany Nature Reserve has the status of a la Strict Nature Reserve. It provides real preservation and further development of beech and cedar primeval forests. Research and monitoring of phyto-diversity in UNESCO World Heritage Sites is an important prerequisite for the preservation of unique natural values of the Reserve.

Gorgany Nature Reserve covers an area of 5344,2 hectares in the geographical basin of Bystrytsya Nadvirnianska within the lands of the village Bystrica and the village Zelena of Nadvirna district.

The territory of the reserve is characterized by the presence of significant heights of 710-1754 m asl. with the dominant high mountain range Dovbushansky and the Dovbushanka mountain height 1754,6 m asl.

The extreme climatic conditions on the territory of Gorgany Reserve require solving the problem of adequate reliable information, algorithmic and technical support of the computerized monitoring system.

The main requirements for high reliability of a high-altitude computerized monitoring system are:

1. Wide temperature range ($-30\,^{o}C \div +40\,^{o}C$);

2. Insensitivity to powerful electromagnetic radiation and lightning;

3. Absence of external electromagnetic radiation;

4. Autonomy of renewable energy supply of microelectronic modules and telecommunication facilities.

The monitoring on the territory of each group (56 quadrants of nature protection objects) is proposed to carry out by permanent observation points (POPs). POPs are located in separate locations. In this case, the subscriber information collection point of information should be equipped with 15 microcontrollers, each of which should serve a sensor network of data collection in the quadrant.

III. Priority Developments in Distributed CPS for Monitoring Reserve Landscapes

Figure 2 shows ring-star architecture of the computerized system for background monitoring of the ecosystem of "Gorgany" nature reserve proposed by us [1].

The presented architecture organized on the basis of fiber-optic and open atmospheric communication lines includes: ST – workstation of fixed observation post (FOP); MC– microcontroller; S – sensor; V – fiber-optic communication line MASAM (multiport associative shared access memory); SS– system server; OAR – optical active repeaters; – solar power panel.

The presented architecture organized on the basis of fiber-optic and open atmospheric lines includes: ST – workstation of fixed observation post (FOP); MC – microcontroller; S – sensor; V – fiber-optic communication line MASAM (multiport associative shared access memory); SS – system server; OAR – optical active repeaters; - solar power panel.

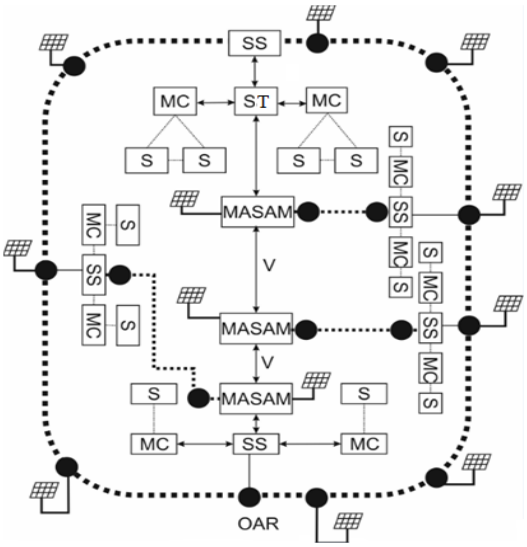


Fig.2. Architecture of ring-star computerized ecosystem for background monitoring of nature reserve.

The system server (SS) activates and synchronizes workstation operations (ST) for monitoring the relay sensor systems. To ensure high reliability of open optical atmospheric communication lines, the use of binary-manipulated optical signals [1] (Fig. 3) based on two-laser emitters and photodetectors is proposed.

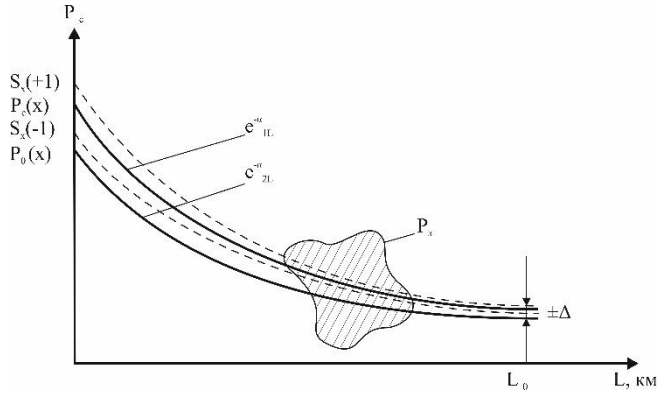


Fig.3. The principle of binary-manipulated optical signals transmission.

$P_c(x)$ – information optical manipulated code signal; $P_0(x)$ – reference unmanipulated laser signal; P_z – power of multiplicative interferences; $S_x(+1)$, $S_x(-1)$ – the boundaries of the binary-manipulated optical signal; e^{-a} – attenuation gradients of optical signals in the atmosphere; $\pm\Delta$ - differential optical signal at L_o distance from the laser emitters.

Such optical channels are protected from the effects of multiplicative atmospheric interference in conditions of fog, rain, snow and dust.

In the process of designing microelectronic and optoelectronic equipment of CPS (Fig. 6) the functional and hardware redundancy of the architecture of monitoring system components was detected. This is due to the low speed of change in the characteristics of monitoring reserve facilities, which form the chronicle archives of flora and fauna states.

In order to increase the reliability and reduce the hardware complexity of the designed monitoring system components as well as the negative environmental impact on reference areas of nature reserves, new system architecture is proposed. Hardware complex MASAM [1] and fiber-optic communication lines, which are legally prohibited to be installed in the protected reference areas, were removed from its structure.

Figure 4 shows the developed priority architecture of a ring-star monitoring system, which includes: 1 – system server (SS); 2 – communication relay stations (ST); 3 – workstations of fixed observation posts (FOPs); 4 – monitored facilities; 5– atmospheric optical communication lines.

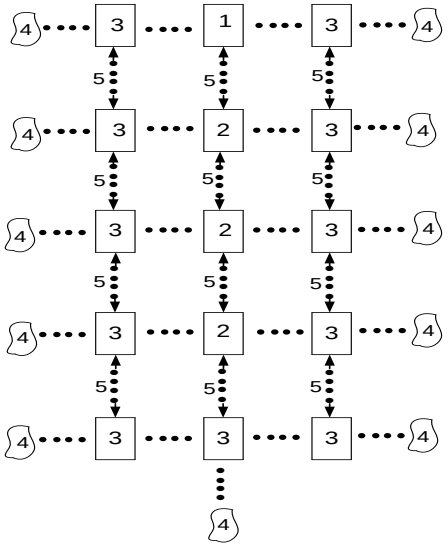


Fig.4. Architecture of a star-ring optical sensor system.

Each ST is equipped with recovering power supply, which is not shown in Fig. 4. The system server (1) activates and synchronizes the operations of communication stations (2) and workstations (3) with signals of the standard protocol ZigBee, Bluetoth, Wi-Fi main.

Workstations (3) provide data collection and interactive management of monitored facilities (4). The proposed architecture of the terrestrial monitoring system, in comparison with other bus and ring network architectures, is characterized by the highest level of emergency and disparallelization of information exchange. This ensures a high level of system reliability and survivability under the influence of intensive interference and component failures during the operations in the field and even extreme conditions.

An important parameter of background monitoring, for example, of beech and cedar virgin forests, is measuring the height of snow cover along the monitoring route. The implementation of terrestrial background monitoring in reserve areas is performed in accordance with the European standard [3,4] with the use of the following devices:

- GPS radio navigation device (displays the location by three coordinates (latitude, longitude, altitude));

- field geographic information system Field-Map provides registering attributes and cartographic information about forest objects, automatization of the process of measuring forest assessment and other data by the field computer and provides control over the length and reliability of information;

- field computer Hammerhead (Workboat's);

- laser rangefinder-protractor ForestPro (LasserTerk);

- electronic complex with electronic protractor (Mapstar);

- measurement tree fork (Hadlof);

- GPS receiver (SXBlue);

- quadcopter (DJA Phanton 4 Pro);

- photo trap (GSM Ultra-2G);

- observation devices: compass, dip compass, altimeter or barometer, aneroid, Bitterlich rotary gauge.

When measuring snow cover, the following devices are recommended:

- snow gauge rail: M-103; M-103M; Pcc-1.2; PSS-1,83 PSS with a division scale of 1 cm and rounding to the nearest whole; portable snow gauge rail: M-104; M-104M with a division scale of 1 cm; weighting snow gauge VS-43; portable metal rail M-46.

IV. Developing Architecture and Components of Sensor System for Measuring Snow Cover

Known devices for measuring the height of snow cover such as metrology calibration rails with height marking according to the European standard [4], provide measuring snow cover height by a human operator. Photos of snow cover are taken once every 10 days on the field route and once every 5 days on the forest route.

Photos of snow cover are taken on 1-3 routes within a radius of 5 km from the post and not closer than 0.5 km from the post. The length of the route is 500 marked every 10 m.

Such snow photography on monitored routes of environmental facilities is characterized by the following limitations according to the European standard:

1. There are no registration sensors with GPS coordinates.

2. There is no open optical line for information transmission to computerized ST workstation of FOP.

3. In the published sources there is almost no architecture development of monitoring system of this class.

A close analogue is presented by the metrological data collection system RWS200 [1,3] (Fig. 5).

Such system includes a workstation (Ac) and an optical snow cover height sensor Luft 8365.10.

The disadvantage of optical sensor is its limited functionality due to the fact that the sensor transmits the received data only by the standard protocol RS-232 and it has a wired power supply system connected to the power lines.

Fig.5. Optical snow cover height sensor Luft 8365.10.

Fig. 6 shows the architecture of the advanced sensor system for measuring the height of snow cover developed by our research group that contains a work station, each node of which is equipped with calibration rail and optical sensor. Data exchange is carried out by binary-manipulated optical signals based on the relay sensor structure.

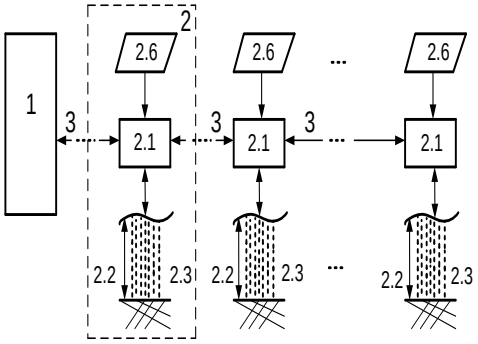


Fig.6. Architecture of sensor system for measuring the height of snow cover.

Each sensor of the system node (2) additionally contains a GPS tracker, a solar power panel (2.6) and optical transceivers of the atmospheric data transmission channel. The solution to this problem is due to the fact that in nature reserves it is almost forbidden to install overhead and cable communication lines, as well as electromagnetic emitters that can affect the landscape, flora and fauna of the protected area.

This system includes: 1 – workstation, 2 – snow height sensor, 3 –atmospheric optical communication lines.

Fig. 7 shows the structure of the snow height sensor (2), which includes the following components: 2.1 – module for collecting, processing and transmitting data; 2.2 – calibration rail of snow cover height; 2.3 – optical measuring device of snow cover height; 2.4 – GPS tracker; 2.5 – optical transceiver; 2.6 – solar power panel of the sensor.

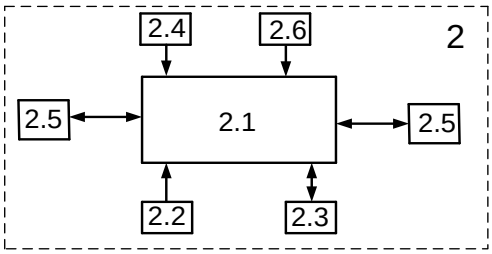


Fig.7. The structure of snow height sensor.

The proposed system performs remote measurement of snow cover on a certain monitoring route with GPS identification of the geographical coordinates of the sensor system nodes and autonomous power supply of each of the sensors from the renewable energy source.

Expansion of system functionality in comparison with the known prototype is provided by implementation of relay sensor architecture without human operator, in which sequential scanning and retransmission of snow height measurement results is carried out in sensor network nodes through telecommunication channels based on bi-signal manipulation of optical channels.

Each sensor of the developed monitoring system can be equipped with vertical laser emitter. A quadcopter reads data on the snow cover height [5,6]. This will significantly increase the reliability and survivability of this class of CPS.

The implementation of the developed sensor system for measuring of the height snow cover and its components is planned in the near future on the territory of the Gorgany Nature Reserve.

V. CONCLUSION

The advantages and functional limitations of the existing cyber physical interactive and dialogue DCS, replicated by many companies, are analyzed in the paper. Examples of using terrestrial and above-ground monitoring systems in environmental reserves are given. New architectures of star-ring and bus-sensor-systems for background monitoring of reference area objects are developed. Such systems are characterized by advanced functionality, increased reliability, deep disparallelization of data exchange processes, as well as the efficient use of binary-manipulated optical signals. A new solution to the problem of remote measurement of snow cover height along the monitoring route is proposed. The prospect of the combined use of terrestrial and flying tools for monitoring protected areas of beech and cedar virgin forests in the Ukrainian Carpathians, Germany and other European countries is substantiated.

REFERENCES

[1] Y. Nykolaychuk, Y. Petrashchuk, O. Slobodian, I. Pitukh, T. Grynchychyn, L. Nykolaychuk, V. Hryha. Structure and Functioning of Information Systems of Background Monitoring of Landscape Elements of Gorgany Nature Reserve // Advanced Computer Information Technologies. International Conference. ACIT 2020. – Deggendorf, Germany, September 2020. – P. 317-322.

[2] Petrashchuk Y.V. “Climax ecosystems of Gorgany Nature Reserve”, Proceedings of the international scientific and practical conference of consent of the 30-year NPP “Synevir”. - Synevir Polyna September, 2019. pp. 72-75.

[3] Prykhodko M. Background monitoring of environment. Monograph / Edited by M. M. Prykhodko – Ivano-Frankivsk. Foliant, 2010.–324 p.

[4] M. Chernyavsky, M. Shpilchak, O. Slobodian Virgin in Gorgany (Ukrainian Carpathians) / International Conference. Primeval Beech Forests. Poster. Abstracts. Lviv: WSL. 2013. – 95 p.

[5] Milan Novak, Milos Prokysek, Petr Dolezal, Martin Hais, Stanislav Gril, Marketa Davidkova, Jakub Geyer, Peter Hofmann, Rajan Paudyal Multisensor UAV System for the Forest Monitoring // Advanced Computer Information Technologies. International Conference. ACIT 2020. – Deggendorf, Germany, September 2020. – P. 293-296.

[6] Roth, L., Hund, A & Aasen, H PhenoFly Planning Tool: flight planning for high-resolution optical remote sensing with unmanned areal systems. Plant Methods 14, 116 (2018).

Комп'ютерно-приладова підтримка діагностики та лікування пацієнтів з залежностями

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

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

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

Микола Фесенко
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
oollyy55@ukr.net

Computer-instrument support for diagnostics and treatment of patients with dependencies

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

Valeriy Pysarenko
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
olga-gulchak@ukr.net

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

Mykola Fesenko
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
oollyy55@ukr.net

***Анотація*—Розглянуто застосування комп’ютерної системи обробки показників самопочуття залежних пацієнтів для їх діагностики та лікування. За рахунок використання методик виявлення і зіставлення ознак близькості станів залежних пацієнтів стає можливим підвищити достовірність та швидкість діагностики та ефективність лікування залежностей.**

***Abstract*— Considered the use of a computer system for processing the indicators of addictive patients self-attitude in the process of their diagnosis and treatment. Due to the use of methods for detecting and comparing the features of the proximity of addictive patients conditions, it becomes possible to increase the reliability and rate of diagnosis and effectiveness of addictivity treatment.**

Ключові слова—залежність, діагностика адиктивностей, програмно-комп’ютерний комплекс, приладо-комп’ютерна підтримка, біологічний зворотній зв'язок.

Keywords— Diagnosis of addictivity, software and computer complex, computer-instrument support, biological feedback.

I. Вступ

В зв'язку з пандемією COVID-19 і її наслідками (самоізоляція, вимушене безробіття) [1] особливо загострюються проблеми лікування пацієнтів з залежностями, оскільки вони мають дещо нестійку психіку, а часто психічні розлади різного походження. Експерти у медицині також помічають збільшення кількості залежних людей в період з початку пандемії. Різноманітність видів залежностей викликає потребу у різних спеціальних підходах до діагностики та лікування пацієнтів. Зокрема, психологічне та психосоматичне лікування (задіяння позитивного впливу спорту, практик йоги та цигун, фізичних вправ на природі) вже є обов'язковим компонентом в методиках лікування всіх без винятку залежностей [2]. З розгляду сайтів лікувальних закладів (ЛЗ), де дається інформація про методи лікування у даному конкретному ЛЗ, можна сказати, що традиційним є поєднання перевірених методик медикаментозного лікування, психіатричної та психологічної допомоги, рекомендації по зміну стилю життя з наголосом на трудотерапію [3,4]. Частіше за все ЛЗ більше займаються діагностикою та лікуванням дозрілої адиктивності, ніж її профілактикою та веденням пацієнта у постлікувальний період. На цей час ЛЗ здебільшого використовують у практиці ведення залежних пацієнтів «професійну модель», яка деякий час була основою систем забезпечення якості в медицині та заснована на задіянні професіоналізму лікаря, його досвіду та інтуїції.

II. Постановка задачі

Авторами ставилися наступні завдання:

1) стратегічне завдання – повернення конкретної людини до повноцінного життя, для чого передбачити розробку індивідуально для конкретного пацієнта всього ланцюжка заходів: профілактика, діагностування, лікування та соціалізація;

2) концептуальне завдання – з метою підвищення достовірності та оперативності діагностування пацієнтів, оперативності призначення найбільш ефективної методики їх лікування та реабілітації застосувати нові інноваційні принципи розробки індивідуальних методик профілактики, діагностування та лікування окремих залежностей;

3) технічне завдання – забезпечити апаратурно-програмно реалізацію розроблених методик.

III. Прийнятий підхід у реалізації приладо-комп'ютерної підтримки

Авторами в технології, що пропонується, реалізований так званий «кібернетичний підхід» [5], який поєднує високий професіоналізм лікаря з приладо-комп'ютерною підтримкою процесів обробки первинних та поточних даних ведення пацієнта на усіх стадіях: діагностика, лікування, реабілітація, соціалізація. Це знаменує відхід від суб'єктивізму в процедурі лікування, фахівці все більше не на власний досвід, а на показники життєдіяльності в їх числовому виразі та на результати когнітивних, а також психологічних тестів. Обробка такого масиву інформації повинна проводитися з застосуванням комп'ютерної техніки та з можливістю збереження даних в досить об'ємних сховищах даних.

IV. Реалізація лікувальної методики з використанням приладо-комп'ютерної підтримки

Приладо-комп'ютерна підтримка передбачає:

- створення єдиної для конкретного профільного ЛЗ бази даних «Залежність», де фіксується увесь досвід лікування пацієнтів (у конкретній клініці та по домовленостями між ЛЗ досвід інших ЛЗ такого ж профілю);

- реалізацію розробки і використання методик виявлення і зіставлення ознак близькості станів залежних пацієнтів. Тобто, встановлюється ступінь близькості діагностичних показників нового пацієнта, що надійшов на лікування, з показниками пацієнтів з поширеної бази даних, які належать до тієї ж групи за певними ознаками (ті особи, які вже пройшли лікування). На основі комп'ютерних методів кореляційного аналізу проводиться групування схожих типів діагнозів пацієнтів, які фіксуються у базі даних (банк даних «Залежність»), нового пацієнта відносять до відповідної групи хворих;

- вибір методики лікування залежності у нового пацієнта з тих методик, що виявилися найбільш ефективними у пацієнтів типової групи, до якої належить і новий пацієнт;

- в ході лікування за затвердженою методикою проводиться моніторинг глибини наявної залежності пацієнта з використанням математичних методів з виявлення кореляції між поточними в процесі лікування даними показників пацієнта. Це дає можливість бачити динаміку процесу;

- після виписки проводиться консультативний дистанційний супровід пацієнта з документуванням в базі даних «Залежність» процесу його реабілітації та соціалізації.

- інформація за результатами лікування кожного нового пацієнта (динаміка зміни поточних станів, показники життєдіяльності, висновки щодо успішності лікувальних процедур, тощо) заповнює БД «Залежність».

Підвищення достовірності і швидкості встановлення діагнозу досягається саме за рахунок оптимальної організації комп'ютерно-приладової підтримки, а саме тому, що є можливість використання інформації, що накопичена, оброблена та структурована в банку даних «Залежність» стосовно пацієнтів, що вже пройшли лікування. В БД також закладена можливість аналізу сеансів запису фізіологічних сигналів протягом корекції адиктивної поведінки пацієнта з метою виявлення ефективних сценаріїв лікування (формування сценаріїв зовнішньої стимуляції психологічного стану).

Програмно-комп'ютерний комплекс сполучається з БД «Залежність» та також має усі необхідні процедури тренінгів з використанням технології «biofeedback» таким чином, що пацієнт стає співучасником свого лікувального

процесу. Комп'ютерна обробка даних показників адиктивних пацієнтів надає можливість проведення теоретичних досліджень:

- аналізу інформативності кожного з параметрів життєвого стану пацієнта, маються на увазі аналізи, фМРТ, ЕЕГ, ЕКГ, психологічні тести на перевірку наявності та стану психічних розладів, в тому числі тести на когнітивні здібності, інші випробування стосовно застосування їх в діагностиці залежностей;

- розробка методик, заснованих на поєднанні медикаментозних та немедикаментозних методів лікування (методи «biofeedback», медитації, технології комп'ютерного биоуправління, гіпноз, окремі практики йоги та цигун);

- розробка процедур типізації масиву хворих за ступенем близькості всередині групи за рахунок структурування ступеню нарко-, алко-, препаратозалежності та ін.;

- виявлення кореляції даних відстежування стану пацієнта на всіх стадіях лікування, встановлення ступеню близькості діагностичних показників нового пацієнта, що надійшов на лікування, з показниками тих пацієнтів, які вже пройшли лікування, та належать до тієї ж групи за https://itcm.comp-sc.if.ua/application/лікування з використанням відповідної інформаційно-аналітичної системи.

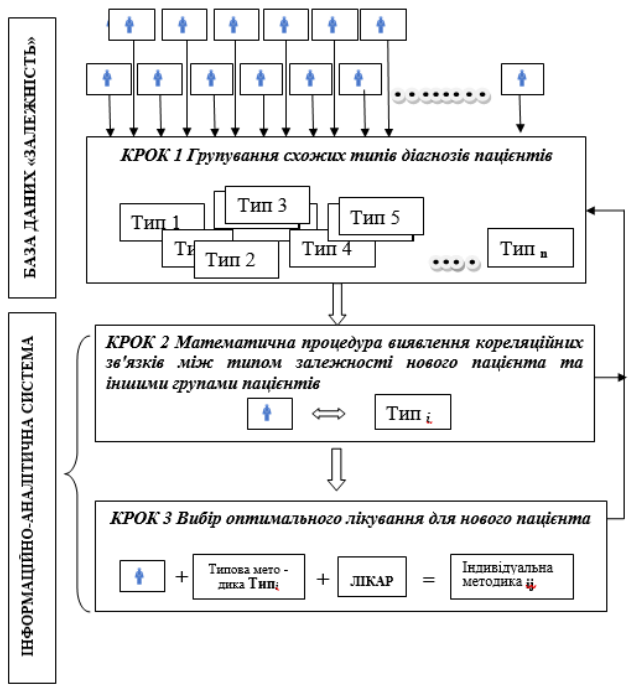


Рис.1.Вибір оптимальної процедури лікування

Дослідження, які проводяться зараз, ґрунтуються на багаторічному досвіді наукового співробітництва Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України з Клінікою лікування залежних пацієнтів «АТОС». За результатами досліджень пройшла державну реєстрацію «Технологія приладо-комп'ютерної підтримки лікування адиктивних пацієнтів». Номер держреєстрації - 0621U000003 [7].

Як розвиток описаної концепції проводяться дослідження для застосування «віртуального медичного кабінету» в методиці реабілітації залежних пацієнтів, а саме впровадження дистанційного нагляду за станом пацієнта, що дає можливість вже на стадії постлікувального періоду не втрачати контроль за пацієнтом, слідкувати за динамікою його соціалізації. При цьому особлива увага буде приділятися можливим ознакам повернення до залежності.

V. Висновки

Застосування приладо-компютерної підтримки реалізації лікувальної методики надає наступні можливості та переваги:

- підвищується достовірність та швидкість встановлення діагнозу;

- досягається більш ефективний супровід лікування нових залежних пацієнтів з використанням інформації, накопиченої у бази даних «Залежність»;

- стає можливим проведення експериментів по вивченню функціонування нейромережі головного мозку;

- досягнуто умови для подальшого вивчення можливостей механізму біологічного зворотного зв'язку організму для задіяння методики під час лікування залежностей.

Література References

[1] Психічне здоров'я та психологічна витривалість під час пандемії COVID-19 Всесвітня організація охорони здоровя ВОЗ, офіційний сайт, https://www.euro.who.int/ru/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/3/mental-health-and-psychological-resilience-during-the-covid-19-pandemic.

[2] Ю.В.Пакін «Лікування наркоманії: фактори успеху», Київ, 2016р. 92 ст. Клініка активної терапії особливих станів (АТОС), Центр терапії залежностей «АТОС».

[3] МедікоМенте, офіційний сайт https://medicomente.com/uk/

[4] Medlux, official site https://medlux.net.ua/lechenie-alkogolizma.html.

[5] V. Pisarenko, Y. Pakin. Models and methods of construction of "cybernetic" quality management systems for diagnosis and treatment of cns diseases of patients in accordance with the european standards iso 9000. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління», №1 (36), 2020р., ст. 80-92

[6] Писаренко В.Г.,Варава І.А., Писаренко Ю.В, Фесенко А.Б. Про комп'ютерні методи діагностики, ведення і підтримки повторного лікування залежних (адиктивних) пацієнтів. Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» (м. Івано-Франківськ, 18-23 травня 2020 року), с. 20-22

[7] «Технологія приладо-комп'ютерної підтримки лікування адиктивних пацієнтів» . Номер держреєстрації - 0621U000003

Візуалізація данних інформаційного сховища за допомогою чат-ботів

Юлія Писаренко
Відділ математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ
Київ, Україна
pisarenkojv@gmail.com

Володимир Малачинський
Відділ математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ
Київ, Україна
vjmalachinskii@gmail.com

Visualization of information storage data using chat- bots

Julia Pysarenko
dept. of Mathematical problems of applied informatics
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NASU
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Volodymyr Malachynskiy
dept. of Mathematical problems of applied informatics
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NASU
Kyiv, Ukraine
vjmalachinskii@gmail.com

Розглянуто питання візуалізації даних сховища інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ_ТЕП». Приділено увагу вибору інструментів, розробці та імплементації рішення. Розроблено мобільний додаток Android чат-боту.

The issue of data visualization of the intelligent system management "CONTROL_TEA" was considered. Attention is paid to the choice of tools, development and implementation of the solution. The Android chatbot mobile application has been developed.

Ключові слова—чат-бот, API, інформаційне сховище, інтелектуальна система, техно-екологічна подія (ТЕП), нейтралізація, моніторинг

Keywords—chatbot, API, information staorage, intelligent system, techno-ecological accident (TEA), neutralization, monitoring

I. Вступ

Інтелектуальна система «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» [1-4] вирішує питання зменшення ступені участі людини в проведенні робіт в небезпечних техногенних зонах шляхом роботизації.

Використання мобільних пристроїв в системі «УПРАВЛІННЯ_ТЕП». Візуалізація отримання даних для дальшого аналізу і використання є важливою частиною інформаційного сховища інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» (рис.1). Для отримання і відображення інформації мобільними пристроями пропонується наступні рішення:

-Telegram Bot додатки Telegram;

- спеціальний додаток на платформі Android.

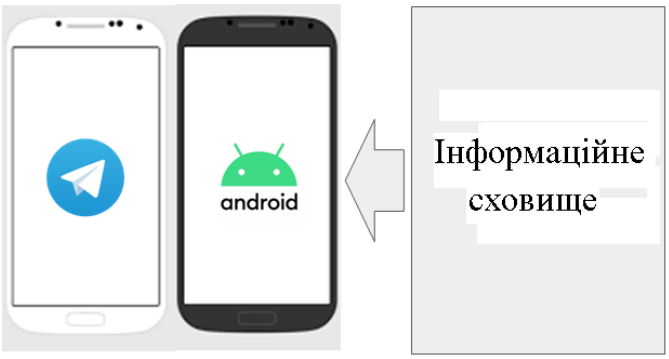


Рис. 1. Використання мобільних пристроїв в системі «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» за допомогою чат-боту.

Результати досліджень показали, що в 2019 Telegram потрапив в трійку найбільш часто використовуваних месенджерів і показує найбільше зростання популярності. А у вересні 2019 року 40% користувачів Android щодня використовували цю програму. У той же час Telegram Analytic відзначають збільшення використання ботів в додатку, і прогнозують ще більший приріст майбутньому. **Телеграм боти.** Боти – спеціальні акаунти в Telegram, створені для автоматичної обробки повідомлень. Користувачі можуть взаємодіяти з ботами за допомогою повідомлень, що відправляються через звичайні або

групові чати. Логіка боту контролюється за допомогою HTTPS запитів до API для пошукових роботів.

Переваги Telegram Bot:

- робота одного боту з багатьма користувачами;

- інтеграція із зовнішніми сервізами;

- абсолютно безкоштовний;

- зручний інтерфейс взаємодії з ботами на основі HTTP (BotApi);

- кастомізовані клавіатури;

- режими приватності;

- легка здатність до навчання боту.

Стек технологій для написання боту:

- мова програмування: PHP;

- фреймворк:YII2;

- пакетний менеджер: Composer;

- юніт тестування: Codeception;

- система моніторингу: Zabbix.

Стек технологій додатку:

- мова програмування: Java/Kotlin;

- система автоматичної збірки: Gradle;

- юніт тестування: JUnit;

- система моніторингу: Zabbix.

Чат-бот є частиною цієї системи і відповідає за візуалізацію даних інформаційного сховища через технічні засоби користувачів поряд з веб-ресурсом. Головною задачею розробки являлося здійснити швидкий і зручний доступ до даних з мобільних пристроїв для подальшого аналізу і використання. Сама структура інформаційного сховища інтелектуальної системи зображена на рис. 2.

У підсумку вибір припав на реалізації чат-бота в менеджері Telegram, так як дана реалізація має багато переваг у порівнянні з варіантом створення програмного забезпечення для мобільних пристроїв на платформах IOS та Android. У прийнятті рішення ключовими стали наступні фактори:

- Telegram має зручний інтерфейс взаємодії (BotApi) і дозволяє легко виконати інтеграцію з зовнішніми сервізами;
- добре задокументований і простий у підтримці;
- інтерфейс взаємодії з додатками має бути стандартизований і мати підтримку версій, що ускладнює їх розробку підтримку;
- менша вартість внесення змін для чат-бота, в порівнянні з мобільними додатками;
- все більше зростання користувачів Telegram у світі.

II. Підключення бота

Для підключення бота необхідно через інтерфейс додатку в пошуку знайти бота @BotFather і почати з ним чат:

- виконати команду /newbot;
- задати ім’я боту;
- задати унікальне ім’я, по якому буде здійснюватися пошук у додатку;
- встановити опис і аватар.

Опісля реєстрації бот одержить ідентифікатор (токен), який необхідно застосовувати при запитах в телеграм API.

III. Обробка запитів

Для Telegram боту існує два методи обробки запитів:

- Long polling, що передбачає постійні запити оновлень з певним інтервалом;
- Webhook. У разі, якщо є оновлення, Telegram Api Server самостійно відправляє їх боту.

Незважаючи на ряд переваг отримання оновлень через вебхук, для простоти реалізації було обрано і реалізовано спосіб отримання оновлень за допомогою Long polling.

При застосуванні в якості обробки запитів варіанта Long polling, телеграм API має метод GetUpdates, який повертає масив всіх подій. Також для отримання тільки нових подій (оновлень) використовується параметр offset, який дорівнює інкременту ідентифікатора останнього раніш отриманого оновлення. Для відправки повідомлень ботом в чат використовується метод sendMessage з параметрами chat_id і text, котрі позначають ідентифікатор чату з користувачем і текст повідомлення відповідно. Повну схему взаємодії клієнту з системою «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» через чат-бот зображено на рис. 2. Скріни відображення логіки роботи чат-боту з інформаційним сховищем: виведення згідно запиту набору параметрів БПЛА та зовнішнього середовища заданої на карті локації показано на рисунку 3.

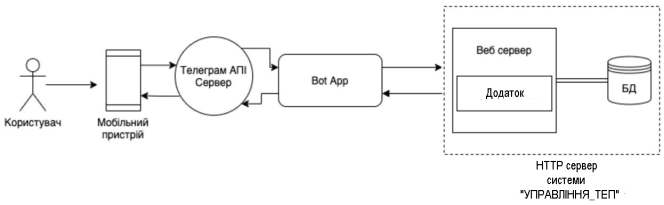


Рис. 2. Схема взаємодії користувача з системою «УПРАВЛІННЯ_ТЕП».

При кожному надсиланні користувачем повідомлення за допомогою додатку через Telegram API сервер чат-бот отримує разом з оновленнями ідентифікатор чату кожного користувача. Далі бот обробляє запит і через інтерфейс взаємодії з системою «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» отримує необхідні данні, які через Telegram API сервер відправляє назад в чат додатку.

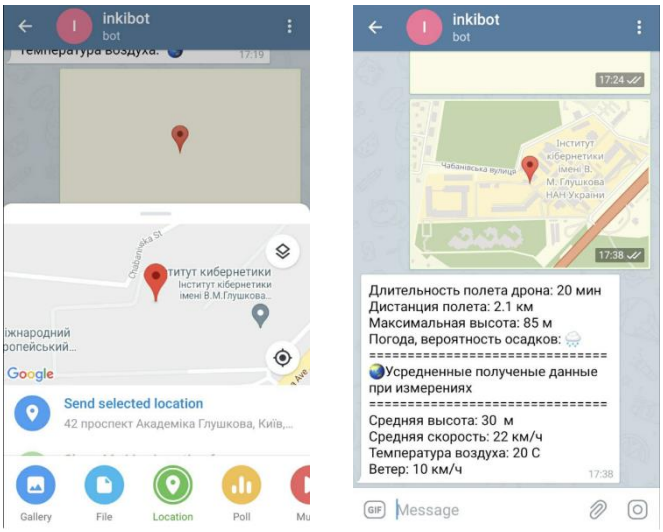


Рис. 3. На скриншотах зафиксирована отправка данных боту (в данном случае локации), и обратное получение от бота данных

IV. Інтелектуальна система «УПРАВЛІННЯ_ТЕП»

Через збільшення складності виробництва із застосуванням енергоємних технологій ймовірність виникнення техно-екологічних подій (ТЕП) істотно збільшилася. Зменшити ступінь участі людини при проведенні робіт в небезпечних умовах можна, використовуючи інтелектуалізовані робото-технічні системи. В Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України сумісно зі співробітниками Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [1-4] розробляється концепція інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» та її основні компоненти.

Для проведення більш ефективного моделювання необхідно розглядати об’єкт «зовнішнє середовище + зона впливу ТЕП + мобільний робот-розвідник + ситуаційний центр» як складну систему в сенсі системного аналізу. Для цього слід формувати відповідну багаторівневу блочно-ієрархічну систему математичних моделей різного рівня деталізації. Процес віртуального та фізичного моделювання руху мобільного роботу є багато ітераційним та потребує подальшого розвитку. Результати обчислень зберігаються у інформаційному сховищі, структуру якого показано на рис 4.

V. Висновки

Вказано високу актуальність розробки інтелектуальної системи (ІС) «УПРАВЛІННЯ_ТЕП». Розглянуто окремі питання створення компонентів інформаційного, математичного, алгоритмічного, програмного, організаційного і технічного забезпечення ІС «УПРАВЛЕНІЕ_ТЕП».

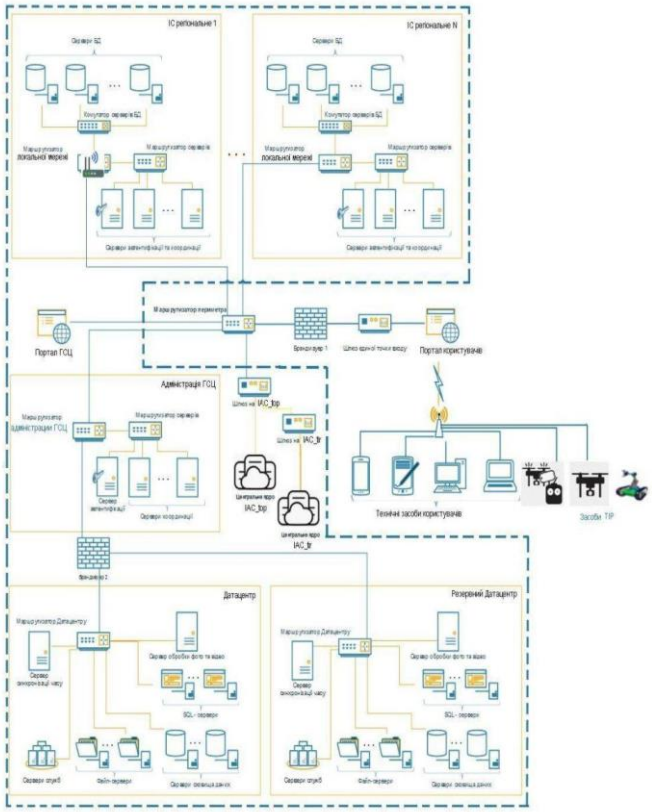


Рис. 4. Структура інформаційного сховища інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ_ТЕП»

Наведено структуру інформаційного сховища ІС «УПРАВЛІННЯ_ТЕП».

Показано логіку функціонування та створено першу чергу чат-боту виводу даних на екран мобільного телефону для відлагодження послідовності процесу взаємодії інформаційного сховища, ситуаційного центру, мобільного роботу, оперативної бригади і об'єкту моніторингу.

References

[1] *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Часть 1 // УСиМ. – Киев. – 2005. – №4. – С. 8-18.

[2] J. Pisarenko, E. Melkumyan *The structure of «Control TEP» datastorage* //Computer tools, networks and systems 2019 №18

[3] *Стенин А.А., Писаренко Ю.В., Мелкумян Е.Ю.* Экстремальная робототехника в автоматизированном мониторинге техно-экологических происшествий. – Киев: НТУУ «КПИ» ИПИ ИПК «ПОЛИТЕХНИКА». – 2014. – 125 с.

[4] *Писаренко В.Г., Горин Ф.Н., Писаренко Ю.В., Крячок А.С., Варава И.А., Коваль А.С.* Информационные технологии искусственного интеллекта для шахтной безопасности. - Киев: НТУУ "КПИ" ИПИ ИПК "Политехника". - 2014. –116 с.

Лабораторний стенд на базі Arduino для професійного навчання

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

Надія Чумакова
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ
Київ, Україна
bronata@ukr.net

Arduino-based laboratory stand for professional training

Julia Pysarenko
lab. № 236 - virtual environment systems for research
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NASU
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Nadiya Chumakova
dept. № 265 - mathematical problems of applied informatics
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NASU
Kyiv, Ukraine
bronata@ukr.net

На сьогодні задача створення інтерактивних макетних систем навчання у реальному фізичному просторі є однією з основних в оновленні підходу до професійного навчання. Описано склад базового лабораторного стенду Arduino, його комплектацію і систему управління мобільним модульним автономним роботом, що сприяє опануванню базових функцій

Today, the task of creating interactive mock-up systems of training in real physical space is one of the main in updating the approach to professional training. The composition of the basic laboratory stand Arduino, its complete set and control system of the mobile modular autonomous robot promoting mastering of basic functions is described

Ключові слова—професійне навчання, Arduino, компоненти, автономний робот, мобільний носій сенсорів

Keywords—professional training, Arduino, components, autonomous robot, mobile sensors carriers

I. Вступ

Предметна область питання, що розглядається, є надзвичайно актуальною, зважаючи на глобальні тренди сьогодення. Нині в усьому світі набирають оберти проекти, покликані полегшити життя людства за рахунок використання нової робочої сили – робототехнічних систем [1].

На сьогодні, не дивлячись на популяризацію технологій, дуже важко знайти в професійній літературі чи Інтернеті вичерпний матеріал, який би максимального повно описував як проблематику, так і процес створення та програмування лабораторного стенду з мобільним автономним роботом на базі Arduino для опануванню базових функцій навігації та управління. Тому в роботі описано підхід до створення лабораторного простору та модульне рішення мобільного роботу на базі Arduino, яке можна було б з легкістю перекваліфікувати на будь-яке спеціалізоване завдання. Отже, створено базову платформу, яка покриває універсальний мінімум функцій, та на яку можна додавати нові компоненти, надаючи роботу конкретну спеціалізацію.

Розроблено методику створення автономного робота, за допомогою якої будь-який користувач, включаючи того, що не має глибоких знань з фізики чи робототехніки, зміг би зібрати подібного робота самостійно.

II. Питання дослідження

В освіті більшого розповсюдження набули системи з елементами інтерактивності [2]. Інтерактивність передбачає як можливість нелінійного вивчення матеріалу (за власним сценарієм учня дистанційно), так і використання стандартних сценаріїв, які закладено до методики розробниками та пов’язано з використанням реальних макетних пристроїв у фізичному просторі та створенням їх саме власноруч для придбання навичок та необхідної моторики рук.

Саме інтерактивність є основною задачею для розробників подібних комплексів [3], оскільки заздалегідь підготувати і передбачити всі потрібні ракурси, напрямки рухів, ландшафти і пейзажі розглянутих ситуацій використання мобільних пристроїв у реальних ситуацій після навчання практично неможливо.

Особливість створюваного в рамках розробки лабораторного стенду на базі Arduino автономного роботу у його модульності. Це означає, що зібрана користувачем конфігурація не є фінальною та може бути легко змінена у майбутньому шляхом заміни чи додавання будь-яких сумісних з Arduino модулів з відповідним перепрограмуванням.

III. Призначення, специфіка та компонети мобільного лабораторного роботу для професійного навчання

Для представлення обстежуваного мобільним роботом середовища з використанням 3D-об'єктів у системах професійного навчання необхідно визначитись з призначенням та складом носія-розвідника.

Призначення лабораторного стенду. Сценаріїв використання такого роботу може бути безліч, наприклад:

- розвідування місцевості на предмет вмісту в повітрі шкідливих речовин;
- використання в якості робота-прибиральника;
- обстеження небезпечних ділянок шахт чи кар'єрів;
- проектування карти локації;
- застосування в якості основи систем автопілоту для транспорту.

Специфіка лабораторного стенду. Розроблюване рішення має відповідати ряду критеріїв:

1) надійність – система має працювати безвідмовно при відповідності критеріям експлуатації;

2) автономність – робот має працювати повністю самостійно без втручання людини;

3) робот має забезпечувати тривалий час роботи від акумулятора;

4) система має приймати ефективні рішення, базуючись на аналізі навколишнього середовища;

5) модульність – система складатися із незалежних компонентів (модулів), які, за потребою, може бути замінено іншими з метою зміни області використання роботу.

Компоненти мобільного роботу. В таблиці 1 наведено перелік та характеристики компонентів, що було використано при створенні автономного роботу.

Користувач може використовувати цей модуль, щоб управляти двома двигунами постійного струму або чотирьохпровідним двофазним кроковим двигуном.

TABLE I. Список компонентів

Мітка	Тип	Властивості
M1	Серводвигун	
M2	Серводвигун	
M3	Серводвигун	
M4	Серводвигун	
S1	Драйвер двигуна	Switching circuit SPST; варіант variant 1; default state Normally Open (H-Bridge with L298N)
VCC1	Батарея типу "крона" 9V	Напруга 9V
VCC2	4 x AAA баратеї	Напруга 4.8V
AU	Arduino Uno (Rev3)	
RF	Ультразвуковий далекомір	
RF	Ультразвуковий далекомір	

Плата також може бути використана в якості платформи драйверу постійного струму. Вимикач S1 служить для перемикання живлення логічної частини мікросхеми. Тобто при ввімкненому S1 живлення логічної частини береться від внутрішнього перетворювача модулю. При вимкненому S1 живлення береться від зовнішнього джерела.

Характеристики:

- мікросхема драйвера: L298N;
- живлення для моторів Vs: +5 В ~ +35 В, струм до 2А;
- живлення логіки Vss: 5В ~ 7В, сила струму 0 ~ 36 мА;
- рівні сигналів: логічний нуль -0.3 ≤ Vin ≤ 1.5В, логічна одиниця: 2.3В ≤ Vin ≤ Vss;
- максимальне споживання енергії 20 Вт (при температурі 75 ^{0}C);
- температура зберігання: -25 ^{0}C ~ +130 ^{0}C;
- розміри: 5.4 см x 4.3 см x 2.7 см.

Arduino Uno – мікроконтролер на основі ATmega328P [4]. Він має 14 цифрових пін входів/виходів (6 з яких може бути використано як виходи PWN), 6 аналогових входів, кварцовий кристал 16 МГц, USB-порт, роз'єм живлення та кнопку скидання. Він містить все необхідне для підтримки мікроконтролеру; слід підключити його до комп'ютеру за допомогою кабелю USB або увімкнути його з адаптером живлення.

Далекомір HC-SRO4 генерує звукові імпульси на частоті 40 кГц і слухає відлуння. За часом поширення звукової хвилі туди і назад можна однозначно визначити відстань до об'єкта. Характеристики:

- напруга живлення: 5 В;
- споживання в режимі тиші: 2 мА;
- споживання при роботі: 15 мА;
- діапазон відстаней: 2-400 см;
- ефективний кут спостереження: 15°;
- робочий кут спостереження: 30°.

IV. Схема збірки та алгоритми функціонування

До контрольної плати під'єднано два далекоміри, у кожного по два піна для вводу та виводу даних. Також з моторної плати «L298N H-Bridge» з пінів «enA», «in1», «in2», «in3», «in4», «enB» у піни контрольної плати «Arduino Uno» «D5»,«D6»,«D7»,«D8»,«D9», «D10» – для передачі сигналу до двигунів.

Моторну плату живить набір з чотирьох батарейок типу «ААА» з напругою в 1.5V, а контрольну та макетну плати – батарея «крона» у 9V. Монтажну схему показано на рис. 1., на рис. 2. – блок-схема алгоритму функції loop() з перекладом на українську та поясненнями.

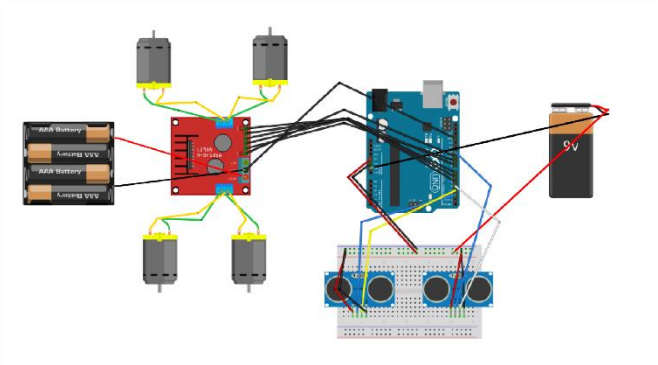


Рис. 1. Монтажна схема.

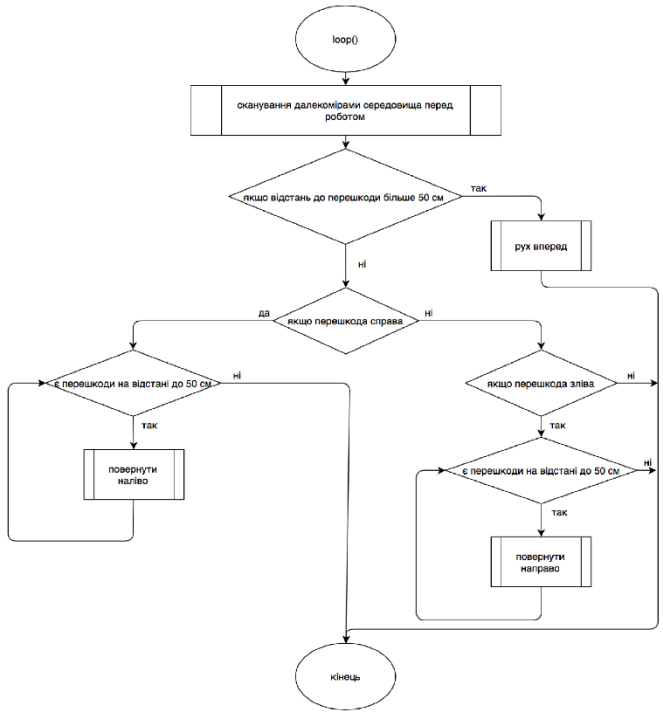


Рис. 2. Блок-схема алгоритму функції loop().

Для уявлення усього організаційного процесу (наприклад, розвідки та нейтралізації техно-екологічної події) при розробці алгоритмів функціонування макетів лабораторного стенду корисно вивчати процес дослідження роботом заданої локації за допомогою UML-діаграм послідовностей. Об'єктами такої діаграми послідовностей можуть бути, наприклад: штат робітників, що нейтралізують техно-екологічну подію, приймально-передавальна апаратура бази збору отриманих мобільним носієм даних, інформаційно-аналітична система, контрольна плата мобільного носія, два далекоміри та моторна плата.

V. Висновки

Основними вимогами до простору лабораторного стенду є:

1) достатня кількість компонентів електроніка та мікросхемотехніки для створення макетів мобільних носіїв-розвідників для дослідження наземного, повітряного та підводного середовища;

2) функціонування в реальному режимі часу з передачею отриманої моніторингової інформації з мобільного носія сенсорів на базу (ноутбук, стаціонарні відеокамери, приймальна апаратура, антени і т.д.);

3) створення достатньо точних (та спрощених для вивчення загальних підходів розробки) математичних моделей функціонування мобільного роботу та обробки отриманої ним інформації, алгоритмів та UML-послідовностей, схем збірки, методик з описом та розшифровкою технічної документації програмно-апаратних засобів, ходу лабораторних робіт;

3) вивчення області застосування та часткова імітація зовнішніх умов досліджуваного мобільним носієм процесу або об'єкту;

4) макети приладів і спеціальних засобів спостереження, а також реальних умов роботи, що включають перешкоди, засвічення, відблиски від оптичних приладів і т.і.

Створенню подібних навчальних комплексів передує розробка моделей і методів вирішення завдань 4D-обстеження локації мобільним роботом і синтезу інформації, які в максимально можливій мірі наближають навчальні комплекси до реальних установок, забезпечують об'єднання різнорідної аудіовізуальної інформації, дозволяють користувачам систем придбати правильні і стійкі навички.

Література References

[1] Писаренко Ю. В. Виртуальное проектирование интеллектуализированных роботов для разведки и нейтрализации опасных экологических происшествий [Текст]: автореферат дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Писаренко Юлия Валериевна; НАН Украины, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. - Киев. - 2006.

[2] Гриншкун А.В. Компьютерные игры в обучении школьников. // Вестник МГПУ. Серия информатика и информатизация образования. / М.: МГПУ, - 2008, №4 (14). С. 46-47.

[3] Остапенко В.О. Про засоби 3D-навчання «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» / Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Остапенко В.О., Чумаков В.Г., Коваль О.С. // Компьютерная математика. – 2019. – №1. – С. 49-55.

[4] https://arduino.ua

Розробка Комбінованого Діагностичного Вирішального Правила в Медичних Системах Підтримки Прийняття Рішень

Анатолій Поворознюк
кафедра обчислювальної техніки та програмування
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Харків, Україна
ai.povoroznjuk@gmail.com

Оксана Поворознюк
кафедра обчислювальної техніки та програмування
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Харків, Україна
povoks@i.ua

Development of a Combined Diagnostic Decision Rule in Medical Decision Support System

Anatoliy Povoroznyuk
Department of Computer Science and Programming
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
ai.povoroznjuk@gmail.com

Oksana Povoroznyuk
Department of Computer Science and Programming
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
povoks@i.ua

Анотація— В роботі розроблена математична модель комбінованого діагностичного вирішального правила і обґрунтовано вибір його складових. В якості об'єктивної складової вибрано метод порівняння з прототипом, в якому діагностуємі стани представляються їхніми прототипами в просторі ознак. Формалізована експертна інформація про структуру симптомокомплексів шляхом представлення симптомокомплексів захворювань числовими інтервалами лінгвістичних змінних. Розглянуті варіанти врахування експертних оцінок щодо структури симптомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів..

Abstract— It was developed a mathematical model of the combined diagnostic decision rule and was substantiated the choice of its components in the work. The method of comparison with the prototype, in which the diagnosed states are represented by their prototypes in the feature space, was chosen as an objective component. The expert information on the structure of symptom complexes is formalized by presenting the symptom complex of diseases with numerical intervals of linguistic variables. Variants of accounting of expert assessments on the structure of symptom complexes when calculating the coordinates of class prototypes are considered.

Ключові слова— медична діагностика, вирішальне правило, метод порівняння з прототипом, симптомокомплекс, експертна інформація, система підтримки прийняття рішень.

Keywords— medical diagnostics, decision rule, method of comparison with the prototype, symptom complex, expert information, decision support system.

I. Вступ

На теперішній час є широкий спектр комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень в різних предметних областях медицини [1], в яких постановка комп'ютерного діагнозу в формалізованому виді представляється задачею класифікації, тобто реалізується вирішальне правило (ВП) визначення стану D_i діагностуємого об’єкта (пацієнта) ω при аналізі векторам вхідних ознак [2]. ВП визначається на етапі навчання при аналізі навчальної вибірки, елементами якої виступають пацієнти з підтвердженим діагнозом (об’єктивна складова).

Традиційна діагностика заснована на систематичному огляді пацієнта, аналізі анамнезу, скарг та об’єктивних ознак захворювання, що були виявлені при фізичному дослідженні – огляді, перкусії та ін. а також за допомогою лабораторно-інструментальних досліджень. Виявленні ознаки (симптоми) захворювання лікар об’єднує в синдроми (сукупність симптомів, що мають спільний патогенез), на основі яких робиться висновок про можливе захворювання. При цьому важливу роль відіграє кваліфікація та досвід лікаря (суб’єктивна складова).

Метою роботи є розробка комбінованого вирішального правила, яке б дозволило врахувати як об'єктивну, так і суб'єктивну складову процесу постановки діагнозу.

II. Розробка моделі комбінованого вирішального правила

В якості об'єктивної складової ВП роботі використовується метод порівняння з прототипом, який найчастіше використовується при аналізі числових ознак, в випадку, коли класи Ω_m ($m=\overline{1,M}$) утворюють компактні множини об'єктів, що мають сферичну форму в просторі ознак. При цьому кожний із класів Ω_m описується прототипом $\omega^{m\text{э}}$, у якості якого вибирається геометричний центр угруповання класу. При реалізації методу розрізняють етап навчання, та етап класифікації.

На етапі навчання обчислюються координати прототипу кожного класу по формулі

$$x_i^{m\text{э}} = \frac{1}{n_m}\sum_{j=1}^{n_m} x_i^j \ , \ (i=\overline{1,p}), (m=\overline{1,M}) \ ,$$

де $x_i^{m\text{э}}$ – i-та координата еталонного об'єкта класу Ω_m;

n_m – кількість об'єктів класу Ω_m в навчальній вибірці;

x_i^j – i-та координата j-го об'єкта класу Ω_m в навчальній вибірці;

p – розмір координатного простору (кількість діагностичних ознак);

M – кількість класів, на які виконується класифікація невідомого об'єкта (кількість діагностуємих станів в даній предметній області медицини);

На етапі класифікації (постановка діагнозу) обчислюються відстані $R(\omega,\omega^{m\text{э}})$ від точки класифікуємого об'єкта ω в просторі ознак до кожного прототипу $\omega^{m\text{э}}$ класу m по формулі

$$R(\omega,\omega^{m\text{э}}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{p}(x_i^{\omega} - x_i^{\omega^{m\text{э}}})^2} \ , \ (m=\overline{1,M}) \ ,$$

Невідомий об'єкт ω належить до класу ω^t, відстань до прототипу якого $R(\omega,\omega^{t\text{э}})$ буде мінімальною:

$$R(\omega,\omega^{t\text{э}}) = \min_{m=1,M} R(\omega,\omega^{m\text{э}}) \ ,$$

Врахування експертної інформації щодо структури симптомокомплексу. Інформацію про симптоми захворювань у неформалізованому виді можна знайти в різних медичних довідниках [3], яку можна вважати експертною оцінкою захворювання, виробленою багатьма поколіннями лікарів.

Розглянемо врахування експертних оцінок щодо структури симптомокомплексу при обчисленні координат еталонів класів.

Лікарі-фахівці частіше за все оперують поняттями норми того чи іншого показника, що виражається у розбитті динамічного діапазону ознаки на три інтервали: "нижче норми", "норма", "вище норми".

Якщо відомі значення динамічних діапазонів всіх ознак, а також граничні значення «норми», то центри цих діапазонів і є числовим вираженням прототипу класу ωml, який одержано не по навчальній вибірці, а по експертній оцінці симптомокомплексу.

Будучи отриманими з різних передумов (статистика й думка експерта), вони описують загальну проблему з різних позицій. Природним є припущення, що їхнє спільне використання перспективно, тому можуть бути запропоновані наступні варіанти їхнього спільного використання:

1) Колектив ВП. Симптомокомплекс X аналізується за допомогою кожного із ВП, яким заданий ступінь довіри w_i. Блок логічного виводу формулює остаточний діагноз D_k на підставі зважених результатів роботи кожного з ВП. Варіанти реалізації блоку логічного виводу:

$$min(R(\omega,\omega^{m\text{э}}),(R(\omega,\omega^{ml})) \to D_k \ ,$$

$$min(w_1 R(\omega,\omega^{m\text{э}}) + w_2 (R(\omega,\omega^{ml})) \to D_k \ .$$

2) Підсумовування оцінок. Остаточний варіант комбінованого ВП, що пропонується в даній роботі полягає у використанні суми оцінок складових кожної координати еталона у методі порівняння з прототипом. При цьому координати прототипа на етапі навчання обчислюються за формулою $x_i^m = k_1 x_i^{m\text{э}} + k_2 x_i^{ml}$.

Вагові коефіцієнти k_i визначаються на етапі навчання системи і відповідають ступеню довіри до кожної складової. Кінцевий користувач-експерт повинен мати можливість корегувати ці значення на власний розсуд під особисту відповідальність. В подальшому класифікація нових об'єктів виконується за стандартним алгоритмом методу порівняння з прототипом.

III. Висновки

У роботі розроблена математична модель вирішального правила на основі модифікації методу порівняння з прототипом шляхом внесення експертної інформації щодо структури симптомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів.

Література References

[1] Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики: монографія / О.Г. Аврунін, Є.В. Бодянський, М.В. Калашник, В.В. Семенець, В.О. Філатов. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 236 с.

[2] Поворознюк А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / А. И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с.

[3] Бородулин В.И. Тополянский А.В. Справочник практического врача в 2-х книгах. Книга 1 М.: Оникс; Мир и Образование, 2007. — 752 с.

Праксеологія безекіпажних засобів водного транспорту, ризики автономних систем

Наталія Пунченко
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
iioonn24@rambler.ru

Praxeology of unmanned water transport, risks of autonomous systems

Nataliia Punchenko
dept of Information Technologies
Odessa State Environmental University
Odesa, Ukrain
iioonn24@rambler.ru

***Анотація*— Розглянуто що при вирішуванні комплексу проблем щодо підвищення безпеки плавання в сучасних умовах судноплавства важливою ланкою використання новітніх технологій , а саме розробка автономних пасивних і активних навігаційних систем, до яких відносяться безекіпажне судноводіння. Винесений на розгляд ряд небезпек, який повинні уникати і не створювати безекіпажні засоби водного транспорту. Розглядаються моделі систем, де акцентовано увагу на категорії обов'язків, як: безпека, можливість розпізнавання відхилення екологічних умов від значень в атласі, визначення надзвичайних ситуацій, доброякісність судна й інше.**

***Abstract*— It is considered that when solving a set of problems to improve the safety of navigation in modern navigation conditions, an important link to using the latest technologies is the development of autonomous passive and active navigation systems, which include unmanned navigation. A number of dangers that must be avoided and not created by unmanned water transport are brought up for consideration. Models of systems are considered, where attention is focused on the categories of duties, such as: safety, the ability to recognize the deviation of environmental conditions from the values in the atlas, the definition of emergency situations, the soundness of the court, etc. (*Abstract*)**

Ключові слова— безекіпажне судноводіння; безекіпажні засоби водного транспорту; модель систем; мониторинг

Keywords—unmanned navigation; unmanned water transport means; system model; monitoring

I. Вступ

Для програми розвитку перспективних шляхів підвищення загальної безпеки мореплавання, в умовах зростання інтенсивності морського судноплавства спостерігаються тенденції збільшення кількості смертельних випадків від морських аварій. Статистика свідчить, що переважна більшість аварійних ситуацій на морі тою чи іншою мірою пов'язана з негативним впливом людського фактору. Традиційні методи вирішення не завжди досягають необхідну точність, оскільки не враховують багато параметрів руху судна. –[1]. Вже є альтернатива класичним судноводінню – безекіпажне судноводіння.

Незважаючи на економічно вигідні показники при використанні водного транспорту всередині будь-якої країни, у нас частка перевезень внутрішніми водами незначна. Для таких перевезень, загальновизнано, що необхідно вирішувати комплекс великих науково-технічних проблем щодо підвищення безпеки плавання в сучасних умовах судноплавства. У загальному комплексі проблем важливою ланкою є розробка автономних пасивних і активних навігаційних систем [2]. багато країн, почали і розпочинають використовувати один з перспективних напрямків застосування навігаційних систем на водному транспорті - безекіпажне судноводіння. При аналізі робіт В. В. Каретникова, С. В. Козика, А. А. Буцанца, А. С. Пінського, А. Е. Сазонова, С. В. Смоленцева, С. В. Рудих, И. Г. Малигіна, В. И. Комашинського, Д. А. Скороходова, Ч. Лиу, М. Хойхтя, Р. Полвара, А.А. Сикарева можна побачити, що автори представили теоретичний і практичний базис, який може підвищити ефективність розвитку водного транспорту, а саме в сфері систем забезпечення судноплавства, але підходи для структури системи дистанційного керування яка зможе забезпечити

ефективне управління безекіпажними судами на водних шляхах повністю ніхто не представив.

II. Вимоги до моделі безекіпажних засобів водного транспорту

Інтеграцію систем можна представити у вигляді процесу оволодіння інформацією, перетворюючи її в головний ресурс управління, за посередництвом інформаційно-технічних засобів, що підвищують ефективність позиціонування в рамках різних форм і порядків практики [3]. З цього слідує, що до систем для функціонування безекіпажних засобів водного транспорту пред'являються вимоги, щоб до безекіпажних засобів водного транспорту можна пред'являти ідентичні вимоги, як і до звичайних. Безекіпажні засоби водного транспорту одного флоту повинні мати однакову конструкцію. Безекіпажні засоби водного транспорту не повинні створювати загрозу для навколишнього середовища, інших об'єктів і себе.

Система повинна підтримувати такі підсистеми у безекіпажних засобів водного транспорту, які відповідають за такі функції як: проходження по плану рейсу з урахуванням поновлення його в режимі реального часу, здійснювати рух з заздалегідь визначеним маршрутом, уникати можливі ускладнення, маневреність на необхідному рівні, вистоювати при несанкціонованому вторгненні різного характеру. Безекіпажні засоби водного транспорту не повинні заважати зв'язку між іншими судами, але повинні відповідати на будь-який запит від інших судів за допомогою радіозв'язку.

III. Цільовий підхід до розробок моделі систем в системі безекіпажного судноводіння

В інтегрованих навігаційних системах судноводіння, застосовуваних е-навігацією, закладена адаптація до цифрової навігації. Цифрова навігація передбачає прийняття даних з бортового обладнання, з систем моніторингу, а також берегових. Відображення і перетворення відбувається ергономічним способом. Згідно з цим твердженням, модель систем судна повинні бути спроектовані так, щоб вони були стійкими до відмов і мали збільшені інтервали технічного обслуговування. Найвища надійність повинна бути досягнута шляхом введення ефективних діагностичних і прогностичних алгоритмів для управління ризиком відмов і попереднього планування операцій технічного обслуговування, які повинні виконуватися в порту. Для того, щоб запобігти збоїм слід використовувати інтенсивний дистанційний моніторинг і контроль стану обладнання. Часткове або повне резервування є певними рішеннями для поліпшення доступності критично важливих систем, таких як інфраструктура зв'язку. Для встановлення мінімального рівня функціональності кожної автономної системи використовується цільовий підхід, відповідно яким виділяються системи, пов'язані з основними службами, які беруть участь в експлуатації автономних судів, а саме: навігаційною системою, бортовими мережами і системами зв'язку, машинним обладнанням, системою управління вантажем, системою управління пасажирами [4].

При розробках моделей систем судна, в обов'язковому порядку, розглядаються активні і пасивні системи. У моделі систем управління виділяються активні системи, що працюють в режимі реального часу - система засобів зв'язку, система засобів моніторингу, система засобів комплектування особового складу. Модель системи моніторингу повинна враховувати всі аспекти ергономіки для ефекторних процесів тривалого проміжку часу дистанційного керування або, коли управління декількома судами здійснює один оператор. Гідрологічний і метеорологічний моніторинг веде оператор порту. Неможливо обійти стороною модель систем акваторії, де вже передбачені оцифровка акваторії, а берегова платформа нерозривно пов'язана програмно і апаратно з рухом безекіпажних судів. Оцінка ризику технології розглядається відповідно до спеціальних вимог, вказівок і поділу відповідних частин програмного забезпечення і визначення інтерфейсів цих частин, до спільної індикації, збереженню даних і передачі їх через системи зв'язку, до сумісності операційних систем і апаратури, відповідності випускаються засобів вимірювань затвердженому типу, а також до змісту в справності і зміни конфігурації. І залежить від: ступеня достовірності використовуваної технології, рівня автономності технології.

IV. Висновки

Оцінка ризику для систем безекіпажного судноводіння залежить від вибору достовірності використовуваної технології, а також її рівня автономності. Ступінь достовірності технології обумовлює ймовірність збою, наслідки цього збою. Умови експлуатації та рівень досконалості технології дають можливість для оцінки збільшення або зменшення можливості ризику технології. А людський фактор визначає рівень автономності .

Подяка

Дякую В. Кичаку, проф., Г. Бортнику, проф. та І. Троцишину, проф. за їх коментарі до попередніх проектів.

Також хотіла б подякувати Вінницькому національному технічному університету за застосування теоретичних та практичних досліджень.

Література References

[1] Н.О.Пунченко, “На шляху до индустрии 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація” монографія / За загальною редакцією С. В. Котлика.– Одеса: «Астропринт», 2021. – С. 222 – 231. ISBN:978–966–927–702–2.

[2] N. Punchenko, O. Tsyra, “Intellectual Systems and Information Technologies” monograph / Edited by Prof. Yurii Gunchenko.– Vienna: Premier Publishing s.r.o. 2021.– P. 22 – 39. ISBN: 978-3-903197-27-5.

[3] Н.О.Пунченко, О.В. Цира “Кібербезпека та інформаційні технології” монографія / Кол. авторів.– Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. – С. 165 – 179. ISBN: 978-617-7927-01-2.

[4] В.В.Каретников К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории / В. В. Каретников, С. В. Козик, А. А. Буцанец // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 987–1002.

Використання згорткових нейронних мереж та трансферного навчання для визначення COVID-19 на КТ зображеннях

Віктор Синєглазов
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

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

Володимир Хоцянівський
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна
sttt912@yahoo.com

Use of convolutional neural networks and transfer training to determine COVID-19 on CT images

Victor Sineglazov
Department of Aviation Computer-Integrated Complexes,
National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Chumachenko Olena
Technical Cybernetic Department,
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
chumachenko@tk.kpi.ua

Vladimir Hotsyanivskyy
Department of Aviation Computer-Integrated Complexes,
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
sttt912@yahoo.com

***Анотація*—В даній роботі проаналізовано ефективний підхід до виявлення аномалій, які можуть бути показниками пневмонії або Covid-19 за КТ зображеннями. Для цього, було вивчено існуючі методи глибокого машинного навчання та їх застосування до медичних завдань та проаналізовано рішення про комбінації різних методів глибокого навчання, що дають більш ефективну модель ідентифікації Covid-19. Проведено оцінювання продуктивності класифікаторів машинного навчання для кращої ідентифікації Covid-19. Надано пропозиції найкращого набору класифікаторів машинного навчання для більш ефективного Covid-19.**

***Abstract*—This paper analyzes the most effective approach to detecting abnormalities that may be indicators of pneumonia or Covid-19 on chest CT. To do this, the existing methods of deep machine learning and their application to medical tasks were studied and the decision on combinations of different methods of deep learning that give a more effective model of Covid-19 identification was analyzed. The performance of machine learning classifiers was evaluated for better identification of Covid-19. Suggestions for the best set of machine learning classifiers for a more efficient Covid-19 are provided.**

Ключові слова—коронавірус; машинне навчання; комп'ютерна томографія грудної клітки; легенева інфекція; комп'ютерний томограф

Keywords—coronavirus; machine learning; lung infection; computed tomography

I. Вступ

Ситуація, викликана новим коронавірусом, змінила поводження кожної людини стосовно всього. Всі змушені перебувати на карантині будинку, виконувати роботу й навчатися з дому, ходити на вулиці в масках і завжди носити із собою дезінфікуючі засоби, кожна людина тепер змушена адаптуватися до так називаної серії карантинних заходів. Складність виявлення інфекції Covid-19 на початковій стадії пов'язана з великою подібністю її симптомів до інфекції, викликаної пневмонією. У зв'язку із цим вірус досить швидко поширився усім світом. Із цієї причини діагностика легеневих захворювань стала самим актуальним завданням не тільки для працівників медичної галузі, але й для усього населення нашої планети.

II. COVID-19

Коронавірус (CoV) належить до великого сімейства вірусів, що викликають захворювання, які варіюються від звичайного грипу до більш важких проявів, таких як близькосхідний респіраторний синдром (MERS-CoV) і важкий гострий респіраторний синдром (SARS-CoV). Новий коронавірус (nCoV) або COVID-19 – це новий штам із назвою SARS-CoV2, раніше не виявлений у людей. Хоча цей спалах почався як епідемія в Ухані, Китай, сьогодні вона вже серйозно торкнулася всіх країн світу як пандемія. У цей час не існує ефективних ліків від цього вірусу, і існує гостра необхідність у розширенні глобальних знань про його механізми інфікування, розподілу ушкоджень легенів не тільки для виявлення хвороб або діагностики, але й для підтримки протоколу лікувальної терапії.

Це сімейство вірусів зветься коронавірус через наявність на поверхні клітини шиповидної корони.

Комп'ютерна томографія органів грудної клітини на сьогоднішній день є найбільш інформативним із променевих досліджень при підозрі на вірусне ураження легень, дозволяє виявить ранні прояви. Ступінь виразності ознак ураження легень на мультиспіральній або мультизрізовій комп'ютерній томографії (МСКТ) корелює з тяжкістю захворювання, у цьому зв'язку комп'ютерна томографія (КТ) застосовується як для діагностики ураження, так і для оцінювання динаміки процесу. Діагноз «позалікарняна пневмонія приблизно коронавірусною етіологією» в умовах пандемії COVID-19 установлюється за наявності у хворого підтвердженої інфільтрації легеневої тканини на КТ, змін загальклінічного аналізу крові (лейкопенія, лімфопенія, збільшення показника С-реактивного білка (СРБ)), лихоманки. Цього діагнозу досить для прийняття клінічних рішень до проведення лабораторного тесту на наявність коронавірусної інфекції. В умовах епідемії тестування на COVID-19 КТ показана всім пацієнтам, у яких випадково виявлені дані, що вказують на ураження легенів вірусною етіологією.

«Матові стекла» – це ділянки ущільнення легеневої тканини, які гірше пропускають X-Ray промені. По-іншому їх називають осередками ущільнення тканини легенів (див.рис1). На томограммах такі області нагадують світлі плями або мутнуватий наліт. Осередки за типом «матового скла» свідчать про те, що альвеоли легенів заповнені рідиною (транссудатом, кров'ю), а не повітрям. Також вони можуть свідчити про зниження пневматизації легенів через фіброзні зміни. Альвеоли беруть участь у газообміні, постачають клітини киснем і виводять вуглекислий газ, тому заповнення їхньої порожнини рідкою речовиною або клітинами сполучної тканини неприпустимо.

Якщо загальна площа «матових стекол» збільшується, це свідчить про прогресуюче інфекційно-запальне захворювання. Пацієнта починає турбувати недостача повітря, задишка, кашель.

Для пневмонії, викликаної коронавірусом Covid-19, характерно периферичне розташування осередків ураження під плеврою. Найбільш уразливі білатеральні нижні частки й задні відділи легенів. Відзначається тенденція до консолідації «матових стекол» і потовщення перегородок альвеол, іноді – ознаки фіброзу легенів.

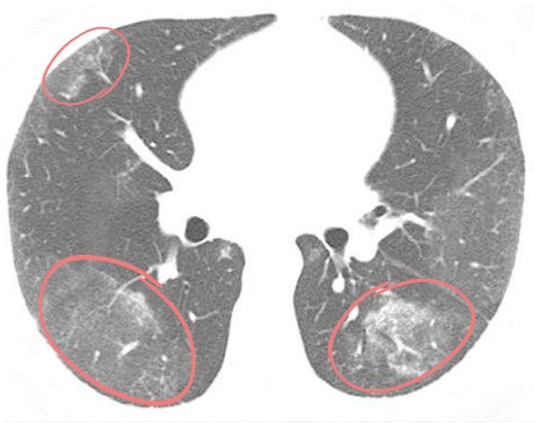


Рис. 1. Ущільнення тканини легенів або матові стекла.

Важким формам коронавірусної пневмонії супроводжує гострий респіраторний дистрес-синдром (ГРДС). Гострий респіраторний дистрес-синдром – це велике двостороннє запалення, при якому спостерігається безліч інфільтратів і набряк легенів. На томограмах фрагментарні ділянки «матового скла» кортикальної форми присутні із двох боків і мають вигляд «клаптевої ковдри».

III. Постановка завдання

Основна мета даної роботи – виявити найефективніший підхід до виявлення аномалій, які можуть бути показниками пневмонії або Covid-19 за рентгенівськими знімками грудної клітини. Для цього, необхідно вирішити наступні завдання:

- вивчення існуючих методів глибокого машинного навчання й застосування їх до медичних завдань;
- можливість ідентифікувати інфекцію Covid-19 за знімками комп'ютерної томографії грудної клітини, з огляду на високу подібність знімків із знімками пацієнтів, що мають пневмонію;
- проаналізувати рішення про комбінації різних методів глибокого навчання, що дають більш ефективну модель ідентифікації Covid-19;

- оцінювання продуктивності класифікаторів машинного навчання для кращої ідентифікації Covid-19;
- пропозиція найкращого набору класифікаторів машинного навчання для більш ефективного Covid-19.

Глибоке згорткове подання ознак використовується для вилучення високо-репрезентативних ознак з використанням сучасних глибоких дескрипторів ЗНМ. Використовуваний підхід в змозі відрізнити Covid-19 і бактеріальну пневмонію від здорових людей за допомогою рентгенівського знімка грудної клітини або зображення комп'ютерної томографії й, отже, забезпечують більш високу точність і високу швидкість у порівнянні з ручними способами.

На сьогоднішній день в інтелектуальних системах медичної діагностики існує проблема створення навчальної вибірки. Для вирішення цієї проблеми було використано підхід трансферного навчання.

В цьому підході попередньо навчені моделі використовуються в якості відправної точки в задачах комп'ютерного зору і обробки природної мови, з огляду на величезні обчислювальні і тимчасові ресурси, необхідні для розробки моделей нейронних мереж для вирішення цих проблем і великих стрибків в навичках. що вони надають по зв'язаних проблем.

Також цей підхід дозволяє:

- вирішити проблему перенавчання в глибокому навчанні через обмежену кількість ітерацій;
- підвищити здатність до узагальнення, а також зменшити упередженість моделі до набору даних не застосовуються ніякі додаткові дані або обширні методи попередньої обробки;
- скоротити час виявлення при досягненні задовільної точності, що є чудовою перевагою для розробки в реальному або близькому до реального часу роблячи висновки по клінічним застосуванням.

IV. Структурно-параметричний синтез ансамблю ЗНМ. Ансамблева сегментація

Ансамблем нейронних мереж називається група топологій, об'єднаних в єдину структуру, які можуть відрізнятись архітектурою, алгоритмом навчання, критеріями навчання і типами утворюючих нейронів [1–3]. В іншому варіанті під терміном ансамбль розуміється «об'єднана модель», виходом якої є функціональна комбінація виходів окремих моделей [4].

Глибоке навчання набуло популярності в дослідженнях медичної візуалізації, включаючи магнітно-резонансну томографію мозку [5], грудей. ультразвукове виявлення раку [6]. Останнім часом U-Net – це популярний підхід до глибокого навчання в дослідженнях біомедичної візуалізації, запропонований у роботі [7]. U-Net дозволяє використовувати збільшення даних, у тому числі використання нежорстких деформацій, щоб у повній мірі використовувати доступні анотовані зразки зображень для навчання моделі. Ці аспекти припускають, що U-Net потенційно може забезпечити задовільні результати при обмеженому розмірі доступних в даний час наборів біомедичних даних.

Дослідники зробили значний внесок, пропонуючи різні структури глибокого навчання для виявлення і сегментації ушкоджень. У роботі [8] запропонували дуже глибоко залишкові мережі з більш ніж 50 шарів для двоетапної сегментації каркаса уражень з подальшою класифікацією. Стверджувалось, що більш глибокі мережі виділяють більш багаті і найхарактерніші ознаки для розпізнавання. Робота показала багатообіцяючі результати, але двоетапна структура і дуже глибокі мережі були дорогими в обчислювальному відношенні.

У роботі [9] було запропоновано згорткові мережі для сегментації ушкоджень. Реалізовано підхід паралельної інтеграції, щоб забезпечити об'єднання результатів, які поліпшили виявлення. У роботі [10] запропоновано наскрізний повністю автоматичний метод сегментації ушкоджень з використанням 19-шарової DCNN. Було введено функцію втрат з використанням відстані Жаккара як вимірювання. Для точного налаштування гіперпараметрів, було використано 5-кратну перехресну перевірку з навчанням ISBI набору даних для визначення кращого виконавця. У роботі [11] було запропоновано повністю згорткові методи для мультикласової сегментації у наборі даних ISBI за 2017 рік. У роботах [12], [13] запропоновано двоетапний метод сегментації, який використовував Faster-RCNN на першому етапі, а потім модифіковану версію U-Net і методу глибоких екстремумів відповідно в якості другого етапу для досягнення результатів сегментації. В роботі [14] було використано дві моделі класифікації глибокого навчання, щоб рекомендувати найбільш підходящий метод сегментації набору даних ISIC-2017. В роботі [15] було запропоновано згорткову мережу (FrCN), щоб вивчити особливості повної роздільної здатності кожного пікселя зображень ураження для сегментації.

У результаті роботи КТ отримуємо набір КТ зображень, які відповідають певним зрізам. Кожен зріз обробляється окремою складовою ансамблю сегментації.

Агрегація результатів відбувається одним із трьох методів:

1) Ensemble-ADD (показано на рис. 2): об'єднує результати Mask R-CNN, DeepLabV3 і Deep Pyramid Attention Module для створення остаточної маски сегментації;

2) Ensemble-Comparison-Large: вибирає велику сегментовану область, порівнюючи кількість пікселів у вихідних даних всіх сегментатор.

3) Ensemble-Comparison-Small: навпаки, вибирає меншу сегментовану область на виході всіх сегментатор.

В роботі [16] для побудови ансамблю використано метод Ensemble-ADD.

Ensemble-ADD (США) об'єднує результати як Mask R-

CNNADD (США), DeeplabV3+ADD (США), Deep Pyramid-Attention Module ADD (США) щоб створити остаточну маску сегментації.

Запропонований підхід для створення системи ансамблевої сегментації було використано при обробці КТ досліджень (за зрізами томографа з наявністю підозрілих на хворобу областей) при визначенні у хворих Covid-19.

V. Висновки

Ситуація, викликана новим коронавірусом, змінила поводження кожної людини стосовно всього. Тому в даній роботі було вивчено існуючі методи глибокого машинного навчання та їх застосування до медичних завдань та проаналізовано рішення про комбінації різних методів глибокого навчання, що дають більш ефективну модель ідентифікації Covid-19.

Розроблено алгоритм формування ансамблю гібридних згорткових нейронних мереж для розв'язання задачі сегментації на основі використання методу Ensemble-ADD. В якості складових Ensemble-ADD було використано результати таких сегментаторів як Mask R-CNNADD, DeeplabV3+ADD, Deep PyramidAttention Module ADD. Це дозволило оптимізувати склад ансамблю, скоротити обчислювальні витрати і підняти точність розв’язання задачі класифікації. Запропонований підхід для створення системи ансамблевої сегментації було використано при обробці КТ досліджень (за зрізами томографа з наявністю підозрілих на хворобу областей) при визначенні у хворих Covid-19.

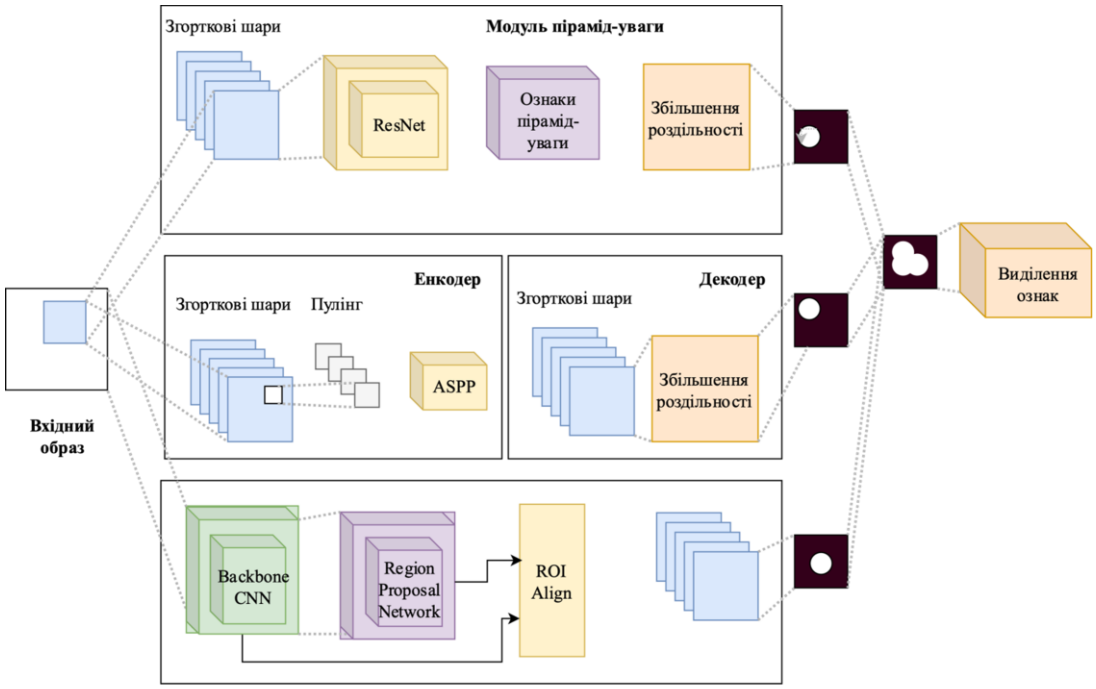


Рис. 2. Архітектура ансамблю сегментації.

Література References

[1] Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко // Харьков: Телетех, 2004. – 369с.

[2] Головко В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение /В. А. Головко. – М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с. – (Серия«Нейрокомпьютеры и их применение». Кн. 4).

[3] http://mnemstudio.org/neural-networks-kohonen-self-organizing-maps.htm

[4] Gonzalo Martınez-Muñoz, Daniel Hernandez-Lobato, and Alberto Suárez, “An Analysis of Ensemble Pruning Techniques Based on Ordered Aggregation,”IEEE Transactions on Pattern Analysis and MachineIntelligence, vol. 31, no. 2, February 2009, pp. 245–259.

[5] Zhang, W., Li, R., Deng, H., Wang, L., Lin, W., Ji, S., Shen, D. (2015). Deep convolutional neural networks for multimodality isointense infant brain image segmentation. NeuroImage, 108, 214–224. doi: https://doi.org/10.1016/ j.neuroimage.2014.12.061

[6] Yap, M. H., Pons, G., Marti, J., Ganau, S., Sentis, M., Zwiggelaar, R. et. al. (2018). Automated Breast Ultrasound Lesions Detection Using Convolutional Neural Networks. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 22 (4), 1218 – 1226. doi: https://doi.org/10.1109/jbhi.2017.2731873

[7] Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, 234–241. doi: https://doi.org/10.1007/ 978-3319-24574-4_28

[8] Yu, L., Chen, H., Dou, Q., Qin, J., Heng, P.-A. (2017). Automated Melanoma Recognition in Dermoscopy Images via Very DeepResidual Networks. IEEE Transactions on Medical Imaging, 36 (4), 994–1004. doi: https://doi.org/10.1109/tmi.2016.2642839

[9] Bi, L., Kim, J., Ahn, E., Kumar, A., Fulham, M., Feng, D. (2017). Dermoscopic Image Segmentation via Multistage Fully Convolutional Networks. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 64 (9), 2065–2074. doi: https://doi.org/10.1109/tbme.2017.2712771

[10] Yuan, Y., Chao, M., Lo, Y.-C. (2017). Automatic Skin Lesion Segmentation Using Deep Fully Convolutional Networks With Jaccard Distance. IEEE Transactions on Medical Imaging, 36 (9), 1876–1886. doi: https://doi.org/10.1109/tmi.2017.2695227

[11] Goyal, M., Yap, M., Hassanpour, S. (2020). Multiclass Semantic Segmentation of Skin Lesions via Fully Convolutional Networks. Proceedings of the 13th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies. doi: https://doi.org/10.5220/0009380302900295

[12] Vesal, S., Malakarjun Patil, S., Ravikumar, N., Maier, A. K. (2018). A Multitask Framework for Skin Lesion Detection and Segmentation. OR 2.0 ContextAware Operating Theaters, Computer Assisted Robotic Endoscopy, Clinical Image-Based Procedures, and Skin Image Analysis, 285–293. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01201-4_31

[13] Yap, M. H., Goyal, M., Ng, J., Oakley, A. (2019). Skin lesion boundary segmentation with fully automated deep extreme cut methods. Medical Imaging 2019: Biomedical Applications in Molecular, Structural, and Functional Imaging. doi: https://doi.org/10.1117/12.2513015

[14] Soudani, A., Barhoumi, W. (2019). An image-based segmentation recommender using crowdsourcing and transfer learning for skin lesion extraction. Expert Systems with Applications, 118, 400–410. doi: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.10.029

[15] De Brebisson, A., Montana, G. (2015). Deep neural networks for anatomical brain segmentation. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). doi:https://doi.org/10.1109/cvprw.2015.7301312

[16] В. М. Синєглазов, А. Т. Кот, Розробка гібридних нейронних мереж ансамблевої структури. doi: 10.15587/1729-4061.2021.225301

Зменшення шуму медичних зображень на основі використання гібридних нейронних мереж

Віктор Синєглазов
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Андрій Рябоконєв
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна
ryabokonev.andrey@gmail.com

Medical Images Noise Reduction Based on Hybrid Neural Networks Use

Victor Sineglazov
Computer-Integrated Complexes Department,
National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Andriy Rjabokonev
Computer-Integrated Complexes Department,
National Aviation University,
Kyiv, Ukraine
ryabokonev.andrey@gmail.com

***Анотація*—В даній роботі розглянуто проблему обробки медичних відео зображень, таких як УЗД, КТ, МРТ. Показано, що шумозаглушення зображень є однією з фундаментальних проблем в області обробки зображень, оскільки є обов'язковим етапом у багатьох додатках комп'ютерного зору, таких як медична візуалізація. Наприклад, медичні зображення мають тенденцію до ще більшого спотворення при зниженні рівня випромінювання. Ці відео зображення схильні до впливу різних шумів, що призводить до їх неякісної обробки і, в кінцевому підсумку, до можливої неправильної постановки діагнозу. Виконано огляд підходів до розв'язання задач шумозаглушення зображень. Обґрунтовано для вирішення поставленої задачі використання гібридних нейронних мереж, які мають переваги перед мережами однієї топології. В якості прикладу розглянуто задачу зменшення шуму КТ відео зображень при визначенні ступеня активності туберкульозу у хворих.**

***Abstract*—This paper considers the problem of medical video images processing, such as ultrasound, CT, MRI. It is shown that image noise reduction is one of the fundamental problems in the field of image processing, as it is a mandatory step in many computer vision applications, such as medical imaging. For example, medical images tend to be even more distorted when radiation levels are reduced. These video images are exposed to various noises, which leads to poor processing and, ultimately, to possible misdiagnosis. An overview of approaches to solving image noise reduction problems. To solve this problem, it is justified to use hybrid neural networks, which have advantages over networks of the same topology. As an example, the problem of reducing the noise of CT video images in determining the degree of tuberculosis activity in patients is considered.**

Ключові слова—штучний інтелект; гібридні нейронні мережі; шумозаглушення, медичні відеозображення.

Keywords—artificial intelligence; hybrid neural networks; noise reduction, medical video images.

I. Вступ

В даний час активно розвиваються системи інформаційного забезпечення охорони здоров'я. Одним з перспективних напрямків сучасного етапу інформатизації охорони здоров'я є розробка інтелектуальних медичних діагностичних систем, які забезпечують підтримку прийняття рішень лікарем. Це в першу чергу пов'язано з відсутністю у лікарів достатнього досвіду, швидким розвитком медицини і браком часових ресурсів на підвищення кваліфікації. В наслідок цього, пацієнти проходять дублюючі та даремно проведені дорогі і непотрібні лікування.

Рентгенівська комп'ютерна томографія (КТ) є важливим медичним інструментом візуалізації в сучасних лікарнях та клініках. Чутливість комп'ютерної томографії високої роздільної здатності при визначенні захворювань легенів становить близько 94,0%, при цьому рентгеноморфологічні прояви запальних процесів у легенях вдається виявити на більш ранніх стадіях

захворювання. Комп'ютерна томографія дає можливість значно скоротити час дослідження, знизити опромінення хворого та виявляти у легенях дрібні вузлові утворення і патологічні фокуси, які не завжди визначаються при звичайній КТ.

Однак потенційний радіаційний ризик створює проблему щодо використання рентгенівської КТ [1], [2].

Зниження дози опромінення, як правило, значно збільшує шум та артефакти (проявляються у вигляді тіней, не пов'язаних з особливостями досліджуваного об'єкта) на реконструйованих зображеннях, що може порушити діагностичну інформацію. Щоб зменшити шум і придушити артефакти на КТ зображеннях з низькими дозами, використовуються пост-обробки зображень [3] – [5].

Шумозаглушення зображень – одна з фундаментальних проблем в області обробки зображень, оскільки це потрібно для багатьох додатків комп'ютерного зору.

Методи шумозаглушення важливі для зміни балансу в бік зменшення радіаційного опромінення пацієнтів за рахунок зниження рівня радіації і якості зображення без шкоди для якості зображення.

Мета шумозаглушення зображення – отримати чисте зображення x з пошкодженої версії y, яке можна змоделювати як $y = x + n$, де n – шум певного типу. Більшість методів у літературі [6] – [10] зосереджені на конкретному типі для n, а саме на адитивному білому гауссовскому шумі (АБГШ), оскільки передбачається, що природні зображення мають адитивний випадковий шум, який може бути змодельований з АБГШ.

Протягом багатьох років в шумозаглушенні зображень використовувалися різні підходи – від просторової фільтрації до підходів, заснованих на моделях. В останні роки все більшу популярність придбали дискримінативні методи на основі нейронних мереж, перевершивши всі традиційні методи.

На даний час запропоновано безліч методів шумозаглушення зображень. Традиційну модель, засновано на методах, які використовують апріорні зображення і нелокальну самоподібність зображень. Вони можуть забезпечити високу продуктивність шумозаглушення, особливо популярні сучасні методи, такі як блок-узгодження і 3D фільтрація (БУ3D) [6] і зважена мінімізація норми ядра [10]. Однак у них є кілька загальних недоліків. По-перше, ці методи працюють на розв'язання завдання оптимізації, що робить процес виведення ресурсоємним. По-друге, ці моделі вимагають вручну обраних апріорних зображень (навчальна вибірка), які вимагають глибоких знань в предметній області і можуть не охарактеризувати складні структури зображення. По-третє ці методи зазвичай не можуть використовуватися для видалення просторово розподіленого шуму.

Основним напрямком робіт в шумозаглушенні зображень є нейромережі [7] – [9], [12] – [14].

В роботі [11] показано, що можна досягти сучасних результатів за допомогою простого багатошарового персептрона. Більшість існуючих методів на основі нейронних мереж базуються на використанні згорткової нейронної мережі (ЗНМ). Перше використання ЗНМ для шумозаглушення зображення наведено в роботі [15], але першим методом на основі ЗНМ, за яким можна досягти високих результатів, є шумозаглушуючі згорткові нейронні мережі (ШЗЗНМ) – метод згладжування зображень на основі ЗНМ [7], де використовувалися останні досягнення в методах навчання згорткової мережі, такі як залишкове навчання [16] і пакетна нормалізація [17]. Після розробки ШЗЗНМ [7] запропоновано кілька підходів до подальшого вдосконалення шумозаглушення на основі ЗНМ. Завдяки високої швидкодії та точності дискримінативні методи навчання широко використовувались у теорії шумозаглушення зображень. Однак ці методи здебільшого вивчають конкретну модель для кожного рівня шуму і вимагають декількох моделей для шумозаглушення зображень з різним рівнем шуму. Вони також не мають гнучкості в боротьбі з просторово варіативним шумом, обмежуючи їх застосування в практичному шумозаглушенні. Щоб вирішити ці проблеми, представляємо швидку та гнучку згорткову нейронну мережу з шумозаглушенням, а саме швидка та гнучка шумозаглушуюча згорткова нейронна мережа (ШГШЗЗНМ), з картою на вході, що налаштовується на рівень шуму [5]. Запропонована ШГШЗЗНМ працює на зменшених вибірках суб-зображень, досягаючи хорошого компромісу між швидкістю висновків та продуктивністю шумозаглушення. На відміну від існуючих дискримінативних шумозаглушувачів, ШГШЗЗНМ має кілька бажаних властивостей, включаючи: здатність ефективно обробляти широкий діапазон рівнів шуму з однією мережею; здатність видаляти шум, який просторово змінюється шляхом вказівки карти неоднорідного рівня шуму; більш високу швидкість, ніж еталонний БУ3D, навіть на центральному процесорі без шкоди продуктивності шумозаглушення. Однак більшості цих методів все ще важко домогтися гнучкості по відношенню до різних рівнів і типів шуму.

Однак надмірне згладжування залишається проблемою на знімках, де часто втрачаються важливі фактурні підказки.

Першопричиною проблеми є використане вимірювання помилки реконструкції зображення у всіх методах навчання. Як виявилося в роботах [18], [19], використання середньоквадратичної помилки (СКП) на піксель визначення будь-якої величини між відновленим та справжнім зображеннями, як втрата реконструкції для визначення цільової функції призводить до надмірної гладкості та відсутності деталей. Оскільки алгоритм намагається мінімізувати СКП на піксель, він не враховує будь-які особливості зображення, критичні для сприйняття людиною. В роботі [20] запропоновано метод для шумозаглушення КТ зображення шляхом розробки перцептивної глибокої ЗНМ, яка покладається на втрату сприйняття як на цільову функцію. В ході дослідження було показано, що мінімізація СКП між шумозаглушеним КТ зображенням і контрольним призводить до втрати важливих деталей, хоча оціночні показники на основі пікового відношення сигнал / шум (ПВСШ) чудові. Це

витікає з того, що ПВСШ еквівалентно попіксельній евклідовій різниці інтенсивності. Отже, модель, що максимізує ПВСШ після успішного тренування завжди досягає дуже високого ПВСШ значення. Однак перцептивна оцінка шумозаглушеного зображення, створеного за допомогою такої моделі, не обов'язково краще ніж вихідні зашумлені зображення з точки зору експертів.

II. Постановка задачі

Визначаємо функцію цільових втрат ШЗЗНМ, на вхід якої поступає зашумлене КТ зображення за допомогою дескрипторів ознак. Нехай $\{\phi_i(I)|i=1,...,N\}$ позначають N різних карт ознак зображення I. Кожна карта має розмір $h \times w \times d$, де h, w та d позначають висоту, ширину та глибину відповідно. Тоді втрату реконструкції об'єкта можна визначити як

$$L_{\phi_i}\left(\hat{I}, I_{gt}\right) = \frac{1}{hwd}\left\|\phi_i(\hat{I}) - \phi_i(I_{gt})\right\|^2, \qquad (1)$$

де $\hat{I}$ та I_{gt} – очищене від шуму зображення і відповідне незашумлене зображення. В якості шуму розглянуто АБГШ, який визначається як:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(a-\mu)^2}{2a^2}}, \qquad (2)$$

де μ – середне, а σ^2 – дисперсія.

Ставиться задача структурно-параметричного синтезу гібридної ЗНМ на основі мінімізації критерію (1).

III. Структурно-параметричний синтез гібридних згорткових нейронних мереж

Щоб навчити шумозаглушенню зображень, що містять різні структури та інтенсивності, і не пропустити важливі деталі, потрібна досить глибока мережа. Запропоновано мережу, яка складається з двох частин, ШЗЗНМ та гібридної нейронної мережі [20], [21].

Вихідне зображення $\hat{I}$ із першої частини і основне зображення істини I_{gt} подаються в попередньо навчену ГНМ для вилучення ознак. Потім об'єктивна втрата обчислюється з використанням витягнутих ознак із заданого шару відповідно до рівняння (1). Потім помилка реконструкції розповсюджується лише для оновлення ваг мережі ЗНМ, зберігаючи параметри ГНМ незмінними.

IV. Результати

Запропонований підхід було використано для шумозаглушення зображення КТ в інтелектуальній медичній системі діагностики ступеню активності туберкульозу у Державній установі «Національний інститут фтизіатрії і пульмонології ім. Ф. Г. Яновського Національної академії медичних наук України».

Результати розв'язання задачі зниження шумів наведено на КТ зображенні (рис. 1). Як можна побачити шумозаглушення підвищує ефективність роботи діагностичної системи.

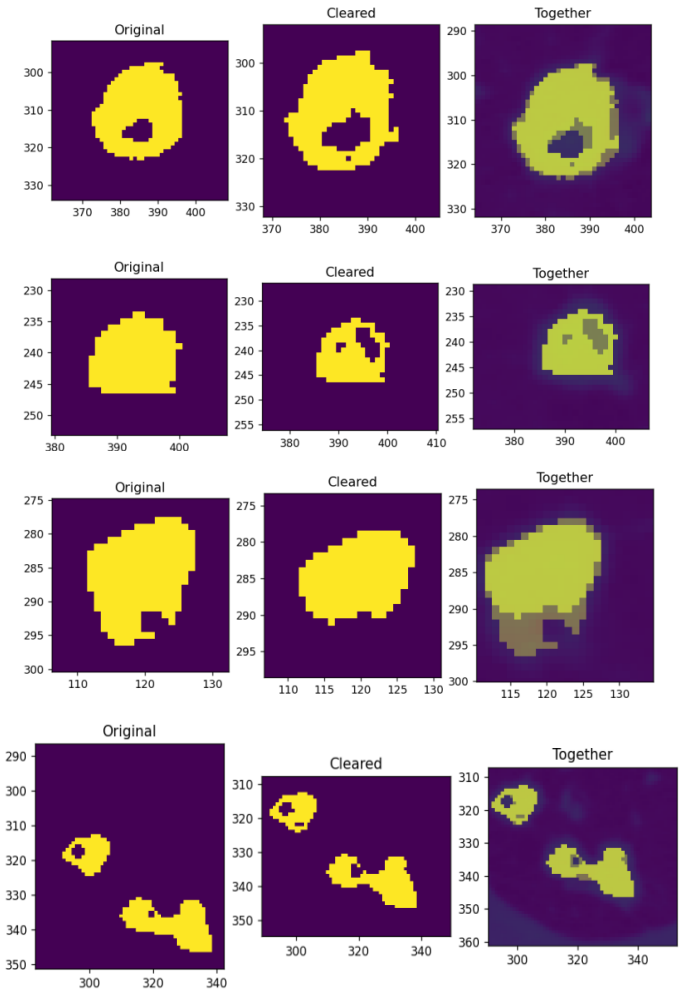


Рис. 1. Результати шумозаглушення КТ зображень легень ступеня виявлення туберкулезу

V. Висновки

1) Багатозрізова комп'ютерна томографія на сьогодні є найбільш інформативним методом дослідження органів грудної клітини, що володіє найбільшою чутливістю і інформативністю. Однак, шуми, що виникають під час зняття томограми, істотно впливають на якість обробки КТ зображень, зокрема при визначенні ступеня активності туберкульозу у хворих.

2) Доведено необхідність вибору цільової функції для розв'язання задачі шумозаглушення на основі порівняння зображення, в якому шум заглушено, з відповідним незашумленим зображенням у багатовимірному просторі ознак, що забезпечує зберігання важливих деталей у зображенні після усунення шумів.

Література References

[1] D. J. Brenner and E. J. Hall, "Computed tomography - an increasing

source of radiation exposure," New England Journal of Medicine, vol. 357, no. 22, pp. 2277–2284, 2007. https://doi.org/10.1056/NEJMra072149

[2] A. B. De Gonzalez and S. Darby, "Risk of cancer from diagnostic x-rays: estimates for the uk and 14 other countries," The lancet, vol. 363, no. 9406, pp. 345–351, 2004. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15433-0

[3] J. Ma, J. Huang, Q. Feng, H. Zhang, H. Lu, Z. Liang, and W. Chen, "Low-dose computed tomography image restoration using previous normal-dose scan," Medical physics, vol. 38, no. 10, pp. 5713–5731, 2011. https://doi.org/10.1118/1.3638125

[4] Y. Chen, X. Yin, L. Shi, H. Shu, L. Luo, J.-L. Coatrieux, and C. Toumoulin, "Improving abdomen tumor low-dose CT images using a fast dictionary learning based processing," Physics in medicine and biology, vol. 58, no. 16, p. 5803, 2013. https://doi.org/10.1088/0031-9155/58/16/5803

[5] P. F. Feruglio, C. Vinegoni, J. Gros, A. Sbarbati, and R. Weissleder, "Block matching 3d random noise filtering for absorption optical projection tomography," Physics in medicine and biology, vol. 55, no. 18, p. 5401, 2010. https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/18/009

[6] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Image denoising by sparse3-D transform-domain collaborative filtering," IEEE Transactions on Image Processing, 2007. https://doi.org/10.1117/12.766355

[7] K. Zhang, W. Zuo, Y. Chen, D. Meng, and L. Zhang, "Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 26, pp. 3142–3155, July 2017. https://doi.org/10.1109/TIP.2017.2662206

[8] K. Zhang, W. Zuo, and L. Zhang, "FFDNet: Toward a Fast and Flexible Solution for CNN-Based Image Denoising," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 27, no. 9, pp. 4608–4622, 2018. https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2839891

[9] T. Wang, M. Sun, and K. Hu, "Dilated deep residual network for image denoising," in Proceedings - International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI, 2018. https://doi.org/10.1109/ICTAI.2017.00192

[10] S. Gu, L. Zhang, W. Zuo, and X. Feng, "Weighted nuclear norm minimization with application to image denoising," in Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014. https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.366

[11] H. C. Burger, C. J. Schuler, and S. Harmeling, "Image denoising: Can plain neural networks compete with BM3D?," in Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2012. https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6247952

[12] L. Gondara, "Medical Image Denoising Using Convolutional Denoising Autoencoders," IEEE International Conference on Data Mining Workshops, ICDMW, pp. 241–246, 2017. https://doi.org/10.1109/ICDMW.2016.0041

[13] F. Agostinelli, M. R. Anderson, and H. Lee, "Adaptive Multi-Column Deep Neural Networks with Application to Robust Image Denoising," Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 1–9, 2013.

[14] P. Vincent, H. Larocheli, I. Lajoie, Y. Bengio, and P.-A. Manzagol, "Stacked Denoising Autoencoders: Learning Useful Representations in a Deep Network with a Local Denoising Criterion," Journal of Machine Learning Research, vol. 11, pp. 3371–3408, 2010.

[15] V. Jain and H. S. Seung, "Natural Image Denoising with Convolutional Networks," Advances in Neural Information Processing Systems, 2009.

[16] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., vol. 2016-December, pp. 770–778, 2016. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

[17] S. Ioffe and C. Szegedy, "Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift," in International Conference on Machine Learning, pp. 448–456, 2015.

[18] J. Johnson, A. Alahi, and L. Fei-Fei, "Perceptual losses for real- time style transfer and super-resolution," 2016. [Online]. Available:arXiv:1603.08155https://doi.org/10.1007/978-3-319-46475-6_43

[19] C. Ledig, L. Theis, F. Huszar, J. Caballero, A. Cunningham, A. Acosta, A. Aitken, A. Tejani, J. Totz, Z. Wang, and W. Shi, "Photo-realisticsingle image super-resolution using a generative adversarial network," 2016. [Online]. Available: arXiv:1609.04802 https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.19

[20] Qingsong Yang, and Ge Wang Pingkun Yan* Mannudeep K. Kalra CT Image Denoising with Perceptive Deep Neural Networks The 14th International Meeting on Fully Three-Dimensional Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine 858 June 2017, Xi'an

[21] Victor Sineglazov and Anatoly Kot, "Design of hybrid neural networks of the ensemble structure," Mathematics and Cybernetics – applied aspects, vol. 1 no. 4(109), 2021. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225301.

Застосування принципу адаптивного накопичення діагностичної інформації для контролю та діагностування інформаційної системи підприємства

Валентин Собчук
Навчально науковий інститут інформаційних технологій
Державного університету телекомунікацій
Київ, Україна
v.v.sobchuk@gmail.com

Юрій Харкевич
Факультет інформаційних технологій та математики
Волинського національного університету імені Лесі Українки
Луцьк, Україна
kharkevich.juriy@gmail.com

Inna Kal'chuk
Факультет інформаційних технологій та математики
Волинського національного університету імені Лесі Українки
Луцьк, Україна
kalchuk_i@ukr.net

Андрій Барабаш
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут Ігоря Сікорського",
Київ, Україна
andrew.barbsh@gmail.com

Application of the principle of adaptive accumulation of diagnostic information for control and diagnosis of the information system of the enterprise

Valentyn Sobchuk
Educational and Scientific Institute of Information Technologies
State University of Telecommunications
Kyiv, Ukraine
v.v.sobchuk@gmail.com

Yurii Kharkevych
Faculty of Information Technology and Mathematics
Lesya Ukrainka Volyn National University
Lutsk, Ukraine
kharkevich.juriy@gmail.com

Inna Kal'chuk
Faculty of Information Technology and Mathematics
Lesya Ukrainka Volyn National University
Lutsk, Ukraine
kalchuk_i@ukr.net

Andrii Barabash
Faculty of Informatics and Computer Engineering
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute of Igor Sikorsky",
Kyiv, Ukraine
andrew.barbsh@gmail.com

Анотація **В доповіді представлено методологію побудови ефективної системи самодіагностування інформаційних систем підприємств. Викладено методику організації та здійснення самодіагностування, механізми виявлення, ідентифікації та локалізації модулів, що вийшли з ладу. Сформульовано критерії достатності діагностичної інформації при відсутності обмежень на виконання елементарних перевірок та критерію достатності діагностичної інформації за наявності обмежень на виконання елементарних перевірок.**

Abstract **The paper proposes a methodology for building an effective system of self-diagnostics of information systems on the example of Ukrainian enterprises in the metallurgical, energy and chemical industries. The article shows that if the dependence of the probability of issuing information on the time of execution of the element of elementary checks is known, it is enough to carry out checks within a predetermined time, when a given probability value is given. It is investigated that in the information system of the enterprise the self-control organized by means of elementary checks occurs at arbitrary moments of time of functioning of modules on purpose and the relation of**

probability of delivery of the information which occurs by comparison of deviations from average values. Criteria for the adequacy of diagnostic information in the absence of restrictions on the implementation of basic tests and in the presence of restrictions on the implementation of basic tests.

Ключові слова: функціональна стійкість, діагностування, адаптивне діагностування, достатність діагностичної інформації.

Keywords: functional stability, diagnosis, adaptive diagnosis, sufficiency of diagnostic information.

I. Вступ

Стрімкий розвиток сучасного високотехнологічного суспільства вимагає інтенсивного розвитку інформаційних технологій з високим ступенем автономності. Особливо гостро ця проблематика стосується виробничих підприємств, які функціонують в умовах впливу екстремальних факторів. Серед таких підприємств вирізняються підприємства металургії, енергетики, хімічної промисловості тощо. Функціонування виробничих підрозділів таких підприємств забезпечують інформаційні системи різного типу. За допомогою цих систем здійснюється планування та контроль усіх процесів. Вони працюють в автономному режимі під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів [1–4]. За допомогою інформаційних систем можна забезпечити підвищення продуктивності праці усіх виробничих центів при зменшенні числа зайнятих у виробництві людей та значному зменшенні частки ручної праці [5,6]. Системи постійно модернізуються завдяки інтенсифікації капіталовкладень у виробничий процес.

Підкреслимо, що інформаційні системи підприємств функціонують в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. За негативного впливу модулі систем можуть виходити з ладу. Проте, системи повинні функціонувати в автономному режимі протягом заданого часу. Таку умову функціонування можна виконати завдяки забезпеченню властивості функціональної стійкості. Функціональна стійкість — це можливість системою виконувати основні свої функції, можливо із зменшенням якості, протягом вказаного часу під впливом зовнішніх і внутрішніх дестабілізуючих факторів [8–10]. Під зовнішніми та внутрішніми дестабілізуючими факторами розуміються відмови, збої модулів системи, механічні пошкодження, теплові впливи, помилки обслуговуючого персоналу. Основними етапами забезпечення функціональної стійкості є виявлення модуля, який відмовив при контролі, локалізація несправного модуля, та відновлення функціонування інформаційної системи підприємства. Відтак однією з ключових передумов забезпечення функціональної стійкості є побудова ефективної системи діагностування основних агрегатів та виробничих центрів виробничого підприємства [7].

II. Ідея методу адаптивного самодіагностування

В доповіді пропонується авторський підхід до діагностування складних технічних систем. Основна відмінність нового принципу полягає в новому підході до виконання процедури діагностування інформаційної системи підприємства. Основна суть полягає в такому:

по-перше, процедура діагностування може бути закінчена в будь який момент часу;

по-друге, вільному виборі модуля, який приймає рішення про стан інформаційної системи підприємства.

Коли система працює за призначенням перевірки відбуваються випадковим чином. Випадковість стосується вибору пари модулів, що перевіряють один одного та часу перевірки між ними. Тому після деякого часу в інформаційній системі може бути здійснено довільну кількість елементарних перевірок. Оцінка стану інформаційної системи підприємства на основі елементарних перевірок може бути представлена у вигляді двох методів:

методу самоконтролю;

методу адаптивного самодіагностування.

Адаптивність полягає в тому, що даний метод пристосовується до відмовної ситуації в інформаційній системі. При цьому діагностична інформація про стан модулів накопичується хаотичним чином. Обсяг такої інформації залежить від відмовної ситуації. Після накопичення інформації про стан системи отримана інформація обробляється і виявляється несправність із достовірністю не нижче заданої.

Метод самоконтролю використовуємо з метою перевірки наявності в інформаційній системі несправних модулів. У випадку виявлення несправних модулів використовується метод адаптивного самодіагностування. На основі даного методу локалізується знаходження несправного модуля інформаційної системи підприємства.

Однією із задач є визначення моменту закінчення роботи методу самоконтролю і видачі результату у випадку коли, результат всіх елементарних перевірок показує, що несправні модулі відсутні. При цьому результат контролю має певну достовірність, яка залежить від надійності модулів інформаційної системи та кількості виконаних перевірок.

Під час функціонування інформаційної системи підприємства за призначенням модулі системи окрім основних задач виконують взаємні перевірки. Період часу між двома послідовними видачами

результату контролю інформаційної системи назвемо циклом самоконтролю. Цикл виконується або заданий час або задану кількість разів. Якщо під час виконання циклу самоконтролю не було отримано жодної елементарної перевірки, результат якої свідчить про наявність несправності в модулях системи, то видається результат самоконтролю тобто інформація, що система працює в штатному режимі. Після видачі результатів самоконтролю починається новий цикл перевірок. У випадку, коли під час виконання методу самоконтролю один з результатів елементарних перевірок виявляє несправність, то цикл самоконтролю припиняється і розпочинається робота методу адаптивного самодіагностування.

В залежності від того, який момент часу приймається за початок процедури адаптивного самодіагностування, можливі дві стратегії адаптивного самодіагностування.

Перша стратегія. Метод адаптивного самодіагностування починається в момент початку останнього циклу самоконтролю t_k. При цьому враховуються елементарні перевірки виконані за час τ. Згідно даної методики після появи результату елементарної перевірки, що показує наявність несправності в інформаційній системі підприємства, результати отримані до цього часу не аналізуються й апріорні ймовірності справного стану модулів системи на момент часу t_0 не визначаються. Дешифрація синдрому здійснюється після закінчення роботи методу адаптивного самодіагностування.

Друга стратегія. Метод адаптивного самодіагностування починається в момент часу t_0. На основі результатів елементарних перевірок, які виконані за час τ, визначаються апріорні ймовірності справності модулів інформаційної системи підприємства. Після виконання методу адаптивного самодіагностування обчислюються апріорні ймовірності справного та несправного стану модулів на основі якого формується результат адаптивного самодіагностування та визначається його достовірність.

Після отримання діагностичної інформації кожний модуль інформаційної системи підприємства оцінює свою готовність видачі результатів самоконтролю системи із заданою достовірністю.

Висновки

В доповіді запропоновано методологію побудови ефективної системи самодіагностики інформаційних систем на прикладі українських підприємств у металургійній, енергетичній та хімічній промисловості.

Показано, що якщо відома залежність ймовірності видачі інформації від часу виконання елемента елементарних перевірок, достатньо проводити перевірки протягом заздалегідь визначеного часу, коли надається задане значення ймовірності.

Досліджено, що в інформаційній системі підприємства самоконтроль, організований за допомогою елементарних перевірок, відбувається в довільні моменти часу функціонування модулів за призначенням та відношення ймовірності видачі інформації, яке відбувається шляхом порівняння відхилень від середнього значень.

Отримані критерії достатності діагностичної інформації за відсутності обмежень щодо виконання елементарних перевірок та за наявності обмежень щодо виконання елементарних перевірок.

ЛІТЕРАТУРА References

[1] Кучук Н.Г. Оптимізація пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвективної системи / Кучук Н.Г., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. // Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». Полтава: ПНТУ, 2019. Вип 3 (55). С 120–125.

[2] Кучук Н.Г. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі. / Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. // Науково-технічний журнал «Сучасні інформаційні системи». Харків: НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2019. Т. 3, No 2. С. 116 – 121.

[3] Саланда І.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж. / Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. // Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». Полтава: ПНТУ, 2017. Вип. 1 (41). С. 122–126.

[4] Собчук В.В. Аналіз використання ієрархічної структури для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством. / Собчук В.В., Мусієнко А.П., Ільїн О.Ю. // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології». К.: ДУТ, 2018. No 4 (61). С. 53–61.

[5] Собчук В.В. Методика створення єдиного інформаційного простору на виробничому підприємстві з функціонально стійким виробничим процесом / Собчук В.В. // Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». – Полтава: ПНТУ, 2019. Вип. 6 (58). С 84–91.

[6] Собчук В.В. Математична модель структури інформаційної мережі на основі нестаціонарної ієрархічної та стаціонарної гіпермережі / Собчук В.В., Лаптєв О.А., Саланда І.П., Сачук Ю.В. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2019. Вип. 64. С. 124–132.

[7] Собчук В.В. Метод діагностування прихованих відмов в інформаційній системі на основі застосування дворівневої системи забезпечення функціональної стійкості / Собчук В.В., Коваль М.О., Мусієнко А.П., Мацько О.Й. // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології». К.: ДУТ, 2019. – № 1 (62). С. 22–31.

[8] Sobchuk A.V. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis / Sobchuk A.V., Sobchuk V.V., Barabash O.V., Lyashenko I.O. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, 2019. VII (23), Issue 193, Budapest, Hungary, pp. 46 – 48.

[9] Sobchuk A.V. Assessment methods of functional stability of wireless sensor networks. / Sobchuk A.V., Barabash O.V., Musienko A.P. // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології». Київ, ДУТ, 2019. – No 3 (64). – С. 46–54.

Sobchuk Valentyn The algorithm of control pricing policy in trade networks on the market of ferrous metals / Sobchuk Valentyn, Barabach Oleg, Musienko Andrii // Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2020. No 1 (66) С. 120–128.

Метод оцінювання якості функціонування об'єктів і суб'єктів виробничої діяльності

Володимир Олександрович Темніков
кафедра засобів захисту інформації
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
temnikov_v@ukr.net

Андрій Володимирович Темніков
кафедра прикладної математики
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
temnikoff@ukr.net

The method for assessing the quality of functioning of production objects and subjects

Volodymyr Temnikov
dept. of Information Protection
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
temnikov_v@ukr.net

Andrii Temnikov
dept. of Applied Math
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
temnikoff@ukr.net

***Анотація* – Стаття присвячена розробці моделі й методу оцінювання якості функціонування об'єктів і суб'єктів виробничої діяльності. Застосування розроблених моделі й методу дозволяє отримати як узагальнену оцінку якості функціонування об'єктів і суб'єктів виробничої діяльності в цілому, так і окремих складових об'єктів на основі лінгвістичних оцінок «вхідних показників», що, в свою чергу, дає можливість провести ранжирування і класифікацію даних об'єктів і суб'єктів.**

***Abstract* –The article is devoted to the development of a model and method for assessing the quality of functioning of objects and subjects of production activity. Application of the developed model and method allows obtaining a generalized assessment of the quality of production activities functioning in general. Also, the method allows to get intermediate estimates of individual elements of objects by using linguistic estimates of input indicators. This technique makes it possible to solve the problems of assigning a rank and classifying these objects and subjects.**

Ключові слова – якість функціонування; експертне оцінювання; інтервальні нечіткі множини другого типу.

Keywords – quality of functioning; expert assessment; type-2 interval fuzzy sets.

I. Вступ

Якість роботи підприємств різних галузей виробництва залежить від великої кількості економічних і технічних показників, які характеризуються багатьма параметрами, що часто мають різний формат. Важливу роль у забезпеченні високої ефективності функціонування підприємств відіграє функціональний стан (ФС) співробітників (під яким розуміється здатність людини виконувати свої функціональні обов'язки належним чином).

При цьому, у даний час відсутні узагальнені показники якості функціонування об'єктів і суб'єктів виробничої діяльності (ОСВД), за якими можна було б оцінювати ефективність (якість) роботи підприємства в цілому і його окремих підрозділів, а також ФС співробітників; порівнювати (ранжувати) підприємства і їх співробітників.

Ця обставина обумовлює актуальність розробки нових агрегованих показників якості функціонування ОСВД, а також моделей і методів для їх розрахунку.

Розроблені модель і метод є основою для створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) особами, що приймають управлінські рішення (ОПР).

II. Концепція оцінювання якості функціонування ОСВД

1. Оцінювання якості функціонування ОСВД і їх окремих складових пропонується проводити на підставі результатів аналізу агрегованих показників ефективності (якості) роботи підприємств або ФС людини, що відповідають кожному підрозділу підприємства або кожній складовій ФС співробітника (здобувача посади).

2. Агреговані показники пропонується обчислювати на основі оцінок, наданих експертами-фахівцями в різних галузях (економіці, медицині, техніці тощо). Оцінюванню

підлягають окремі («вхідні») показники, що характеризують різні структурні одиниці (підрозділи) підприємств або ФС співробітників і здобувачів посад, з урахуванням ваги (ступеня впливу на кінцевий результат) окремих показників.

3. Як єдину «одиницю виміру» автори пропонують використовувати слова, що відповідають різним рівням якості функціонування підприємства (його підрозділу) і різним ФС (складовим ФС) людини.

4. «Вхідні показники» і їхні ваги пропонується представляти у вигляді нечітких множин (НМ), а розрахунки проводити з використанням методів НМ і обчислень зі словами [1, 2]. Релевантним при цьому є застосування інтервальних НМ другого типу (ІНМ2Т).

III. Модель системи обробки даних для обчислення агрегованих показників якості функціонування ОСВД

Модель системи обробки даних («вхідних показників» якості) у процесі обчислення агрегованих показників якості функціонування ОСВД включає такі елементи:

- фазифікацію кількісних і якісних «вхідних показників» якості функціонування ОСВД;
- перетворення НМ, отриманих на виході фазифікатора (у вигляді ІНМ2Т), на НМ, що характеризують агреговані показники якості функціонування ОСВД (у вигляді ІНМ2Т);
- дефазифікацію, за результатами проведення якої проводиться ранжування і класифікація ОСВД.

Агрегування для отримання пропонованих показників якості авторами здійснювалося на основі рекомендацій, наведених у [2]; слова, при цьому, моделювалися з використанням ІНМ2Т.

Нижче наведено короткий аналіз роботи елементів моделі.

A. Фазифікація

Розробка фазифікатора здійснювалася із застосуванням інтервального підходу [3], відповідно до якого фазифікація проводиться з використанням попередньо встановленої відповідності між словами (термами «вхідних» лінгвістичних змінних), нечіткими інтервалами та параметрами ІНМ2Т. Останні представлені у вигляді трапецеїдальних залежностей верхньої і нижньої функцій приналежності, які самі по собі є нечіткими множинами першого типу.

B. Перетворення НМ, отриманих на виході підсистеми фазифікації, в НМ, що характеризують агреговані показники якості

ІНМ2Т, що моделюють слова, характеризуються двома – нижньою (LMF) і верхньою (UMF) – функціями приналежності (відповідно $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ і $\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$); при цьому, кожен елемент x належить $\tilde{A}$ з інтервалом ступенів J_x. LMF і UMF обмежують слід невизначеності ІНМ2Т $FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} J_x$, який і є основною характеристикою ступеня приналежності кожного x до ІНМ2Т.

При проведенні досліджень слова представлялися з використанням трапецеїдальних ІНМ2Т, для яких як LMF, так і UMF є трапецеїдальними функціями приналежності.

Тоді $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \mu_{trap}(x, e, f, g, i, h)$ і $\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \mu_{trap}(x, a, b, c, d, 1)$, а кожен ІНМ2Т може бути однозначно представлений як вектор $(a, b, c, d, e, f, g, i, h)$.

На рис.1 представлено узагальнену модель процесу перетворення оцінок «вхідних показників» у вигляді ІНМ2Т на агреговані оцінки якості, які також подаються у вигляді ІНМ2Т.

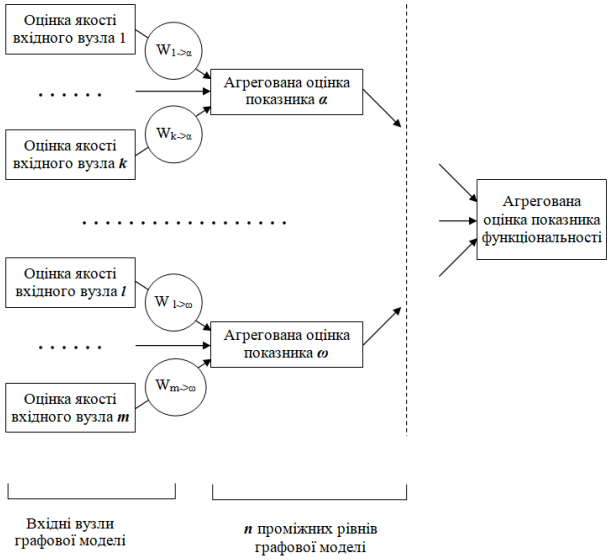


Рис. 1. Графова модель процесу перетворення оцінок «вхідних показників» якості на агреговані оцінки

У профільній літературі [2] описуються кілька варіантів перетворення «НМ–НМ», у тому числі, із застосуванням бази правил «if-then» або середньозважених значень. У цій статті, у зв'язку з особливостями розв'язуваної задачі, для перетворення НМ (у вигляді ІНМ2Т) на «агреговану» НМ (також у вигляді ІНМ2Т) використано лінгвістичний середньозважений оператор LWA, який в найзагальнішому випадку може бути визначено як

$$Y_{LWA} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}, \qquad (1)$$

де кожен X_i є показником, що має бути зваженим, а кожен W_i – його відносною вагою. У нашому випадку всі показники для зважування X_i й усі ваги W_i є ІНМ2Т.

Алгоритми розрахунку LWA наведено, наприклад, у [4, 5].

C. Дефазифікація

У загальному випадку, відповідно до [2], вихід перетворювача «НМ–НМ» може бути представлено у вигляді рангу конкуруючих альтернатив, класу, до якого належить вихід перетворювача або слова.

Оскільки однією з цілей застосування розробленого методу є ранжування співробітників або здобувачів посад, використовується метод ранжування на основі середніх центроїдів IHM2T [2].

Якщо метою отримання агрегованих оцінок є класифікація, то дефазифікація може базуватися на мірі підмножини IHM2T, яку описано в [6], і яка може бути записана як [2]

$$ss_{VS}(\widetilde{A},\widetilde{B}) = \frac{\sum_{i=1}^{N}\min(\underline{\mu}_{\widetilde{A}}(x_i),\underline{\mu}_{\widetilde{B}}(x_i))+\sum_{i=1}^{N}\min(\overline{\mu}_{\widetilde{A}}(x_i),\overline{\mu}_{\widetilde{B}}(x_i))}{\sum_{i=1}^{N}\underline{\mu}_{\widetilde{A}}(x_i)+\sum_{i=1}^{N}\overline{\mu}_{\widetilde{A}}(x_i)},$$

де x_i (i = 1,…, N) – рівнорозподілені точки в X.

Дефазифікатор IHM2T може складатися з «редуктора (зменшувача) типів» (type-reductor), що перетворює IHM2T на нечітку множину першого типу (НМ1Т) і власне дефазифікатора, що перетворює НМ1Т на чітке значення.

Перетворення IHM2T на слово може бути здійснено на основі інтервального підходу [3].

IV. Метод отримання агрегованих показників якості

Метод отримання агрегованих показників включає такі етапи.

A. *Попередні етапи, що здійснюються до функціонування ІСППР*

Попередній етап №1. Розробка кодувального пристрою (фазифікатора) із застосуванням інтервального підходу.

Під час виконання етапу експерти-фахівці з різних галузей (економіки, медицини, техніки тощо) складають перелік слів, якими будуть характеризуватися різні «вхідні показники» якості, і встановлюють відповідність між зазначеними поняттями-словами й інтервалами можливих значень «вхідних показників». Окрім того, на цьому етапі проводиться розрахунок параметрів IHM2T за параметрами зазначених інтервалів.

Попередній етап №2. Отримання відповідності між кількісними значеннями різних «вхідних показників» і словами, що їх характеризують, із застосуванням інтервального підходу [3].

Попередній етап №3. Розробка графової моделі.

B. *Етапи, що здійснюються в ході роботи ІСППР*

Етап №1. Експертне оцінювання показників якості функціонування ОСВД.

Експерти-фахівці з різних галузей (економіки, медицини, техніки тощо) визначають «вхідні показники» якості функціонування ОСВД. Показники можуть оцінюватися як кількісно, так і якісно.

Етап №2. Фазифікація (визначення параметрів IHM2T, які відповідають кожному вхідному показнику).

Під час виконання етапу відповідно до оцінки, отриманої від експертів, за таблицею відповідності «слово – параметри IHM2T» визначаються параметри IHM2T. У разі кількісного оцінювання «вхідного показника» в процесі виконання етапу автоматично визначається оцінка кожного показника (встановлюється відповідність параметрів показників одного зі слів, що входять до переліку, складеного на попередньому етапі №1).

Етап №3. Розрахунок узагальненого і «проміжних» IHM2T відповідно до графової моделі, розробленої в процесі виконання попереднього етапу №3.

Зазначені параметри IHM2T розраховуються за формулою (1) як середньозважені LWA IHM2T попередніх рівнів графової моделі. Оцінки агрегуються з використанням різних відносних ваг.

Етап №4. Дефазифікація (визначення чітких значень узагальнених і «проміжних» агрегованих оцінок, що відповідають IHM2T).

V. Висновки

1. У статті пропонується як показники якості функціонування ОСВД (ефективності роботи підприємства, ступеня готовності виробництва до введення в експлуатацію, рівня ФС співробітників) для проведення ранжування і класифікації ОСВД використовувати агреговані показники (узагальнені й відповідні проміжним рівням агрегації – якості функціонування підрозділів підприємств, складових ФС тощо).

2. Обчислення агрегованих показників пропонується проводити на основі теорії нечітких множин й обчислень зі словами з урахуванням ваг різних «вхідних показників».

3. Розроблено модель системи обробки даних, яка є підсистемою ІСППР ОПР, і метод оцінювання якості функціонування ОСВД, застосування яких дозволяє отримати узагальнену оцінку якості функціонування ОСВД в цілому і їхніх окремих складових на основі лінгвістичних оцінок окремих «вхідних показників», що, у свою чергу, дає можливість проведення ранжування і класифікації різних ОСВД.

4. Розроблені модель і метод є основою для створення ІСППР ОПР.

Література References

[1] L. A. Zadeh, “From computing with numbers to computing with words: from manipulation of measurements to manipulation of perceptions,” IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol. 46(1), pp. 105-119, 1999.

[2] J. M. Mendel, D. Wu Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.

[3] F. Liu, J. M. Mendel, “Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an interval approach,” IEEE Transactions on on fuzzy systems, vol. 16, pp. 1503-1521, 2008.

[4] J. M. Mendel, “The perceptual computer: an architecture for computing with words,” in *Proceedings of Modeling with Words Workshop* of FUZZ-IEEE pp. 35-38, 2001.

[5] D. Wu, J. M. Mendel, “Enhanced Karnik-Mendel algorithms,” IEEE Transations on on fuzzy systems, vol. 17(4), pp. 923-934, 2009.

[6] I. Vlachos, G. Sergiadis, “Subsethood, entropy, and cardinality for interval-valued fuzzy sets — an algebraic derivation,” *Fuzzy sets and systems*, no. 158, pp. 1384-1396, 2007.

Планування Розподілу Ресурсів Часових Затрат За Етапами Іт-Проекту

Федорчук Євдоким
кафедра програмного забезпечення
Національний університет ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
Львів, Україна
koval946@ukr.net

Вонс Юрій
кафедра програмного забезпечення
Національний університет ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
Львів, Україна
yura.vons@gmail.com

Planning of distribution of time resources by it project stages

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

Vons Yuryi
dept. of Software
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
yura.vons@gmail.com

***Анотація* — В статті розглянуто комплексну проблему планування розподілу ресурсів в менеджменті IT-проектів. Запропоновано дві моделі на основі оптимізаційних задач для планування оптимального розподілу часового ресурсу.**

***Abstract* — The article considers the complex problem of planning the allocation of resources in the management of IT projects. Two models are proposed based on optimization problems for planning the optimal allocation of time resources.**

Ключові слова – планування; ресурс; менеджмент; оптимізація; модель;

Keywords— planning; resource; management; optimization; model;

I. Вступ

Одна з найважливіших функцій IT-підрозділу — планування, насамперед визначення того, які нові ресурси включити в бізнес-процес розробки проекту відповідним чином. Бібліотеки найкращих практик IT-управління ITIL і рішення ITSM включають лише формалізовані описи організації роботи IT-підрозділів і управління IT-послугами. В той же час для ефективної роботи над проектом необхідно мати сукупність різноманітних математичних моделей та алгоритмів, призначених для розв'язання різних задач управління проектом

Також, важливим фактором при розробці нового програмного забезпечення є дотримання та заощадження часових ресурсів для підтримки новизни ідеї створення програмного забезпечення та для заощадження фінансових ресурсів. Прийнятне управління проектом - це процес, за допомогою якого відбувається розробка прийнятної системи, яке планується та контролюється з мінімальними витратами та протягом певного періоду часу.

Однією із причин провалу компаній при розробці програмного забезпечення є неправильна оцінка затрачених ресурсів, а саме, необхідного часу для створення системи. Некоректно визначені або не ефективно сформульовані часові межі розробки програмного забезпечення значною мірою впливають на кількість затрачених ресурсів та на швидкість виходу системи на ринок для отримання прибутку. Дану проблему можна вирішити за допомогою програмного забезпечення, яке дозволить ефективно використовувати часові ресурси на різних етапах життєвого циклу розробки та яке дозволить визначити необхідні завдання під час розробки системи. Фактор часу є однією з головних причин невдалої розробки програмного забезпечення проекти.

II. Моделі для планування розподілу часового ресурсу

Питання управління доступом до ресурсів розглядаються в багатьох працях. Але запропоновані моделі і методи розподілу ресурсів не враховують

комплексний характер проблеми. Бракує універсальних моделей розподілу ресурсів для тривалих ІТ- проектів.

Для планування розподілу часового ресурсу використано підхід, запропонований в роботі [1]. Розглядається поділ життєвого циклу розроблення проекту на ряд бізнес-процесів – окремих етапів виконання робіт. Модель планування затрат часу на окремий етап формалізується у вигляді задачі оптимізації обмеженого ресурсу часу на виконання заданого етапу. В даній роботі пропонуються дві моделі планування розподілу ресурсів [1].

1. **Задача оптимізації часу виконання проекту**. Записується у вигляді - знайти

$$\min\ \Phi\ = (\sum_{k=1}^{n}\ t_k - T_{PRO})^2$$

де n - кількість етапів розроблення проекту; t_k - час виконання окремого етапу;

$Tpro$ - час на розробку проекту. Задача мінімізації включає прямі обмеження на часові ресурси кожного етапу:

$$t_{k,min} <= t_k <= t_{k,max}$$

В ІТ- проектах можна застосовувати зміну і кадрового ресурсу виконавців на кожному етапі проекту. Для таких варіантів управління можна запропонувати модель задачі оптимізації часового та кадрового ресурсу за етапами виконання.

2. **Задача оптимізації часового і кадрового ресурсу.** Формалізована таким чином: знайти

$$\min \Phi=(\sum_{i=1}^{m} n_i t_i - Tpro)^2\ ,$$

де m – кількість етапів проекту. Включає обмеження на ресурс часу для окремої групи виконавців етапу-

$$t_{i,min} <= t_i <= t_{i,max}\ ;$$

та обмеження на n- кількість виконавців в і-тій групі-

$$1 <= n_i <= n_{i,max}\ .$$

ІІІ. Висновки

Розглянуті моделі задач є нелінійними задачами неперервної оптимізації. Рішення таких задач оптимізації можна виконати в системі EXCEL за наявною в ній процедурою ПОШУК РІШЕННЯ. Це дозволить отримати різні сценарії планування затрат при зміні обмежень на часові та кадрові ресурси етапів проектування. Наявність таких даних є важливою підтримкою для прийняття рішень у менеджменті ІТ-проектів.

Література \References

[1]. Федорчук Є.Н. Моделювання процесу для обчислення кластерів у базах для технологічних бізнес-процесів / Є.Н. Федорчук, Ю.Є. Федорчук // Науковий вісник НЛТУ України- Львів: РВВ НЛТУ України. – 2016. - Вип. 26.5. – С. 373-378.

Автоматизована Технологія Управління Диханням як Допоміжний Засіб Психологічної Реабілітації

Антон Шарипанов
Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України
Київ, Україна
anton.sha.ua@gmail.com

Ілля Чайковський
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України
Київ, Україна
illya.chaikovsky@gmail.com

Віталій Вишневський
Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України
Київ, Україна
vit.vizual@gmail.com

Оксана Сивак
Міжнародний інститут післядипломної освіти
ТОВ «Центр психологічного консультування та травматерапії «Відкриті двері»
Київ, Україна
mipo@gmail.com

Automated Technology for Breath Control as a Supplementary Means for Psychological Rehabilitation

Anton Sharypanov
Institute of Mathematical Machines and Systems
NASU
Kyiv, Ukraine
anton.sha.ua@gmail.com

Illya Chaikovsky
Institute of Cybernetics
NASU
Kyiv, Ukraine
illya.chaikovsky@gmail.com

Vitaliy Vishnevskey
Institute of Mathematical Machines and Systems
NASU
Kyiv, Ukraine
vit.vizual@gmail.com

Oksana Syvak
International Institute of Postgraduate Education
Center for Psychological Counseling and Traumatherapy
OPEN DOORS
Kyiv, Ukraine
mipo@gmail.com

***Анотація*—Обговорюються деякі аспекти персоналізованої автоматизованої технології управління диханням. Розглянуто застосування автоматизованої технології управління диханням під час реабілітаційних заходів для пацієнтів з високим рівнем тривожності.**

***Abstract*—Some aspects of personalized technology for breath control are discussed. The application of automated respiratory control technology during rehabilitation measures for patients with a high level of anxiety is considered.**

Ключові слова—управління диханням; дихальне тренування; психологічна реабілітація

Keywords—breath control; breath training; psychological rehabilitation

I. Вступ

Один з небезпечних розладів – посттравматичний стресовий розлад – може супроводжуватися безсонням, підвищеною збуджуваністю, порушенням концентрації уваги, тощо. Тому пацієнтам із такими розладами надається разом із психологічною й медична допомога. Лікування може включати антидепресанти та транквілізатори та

Підтримано грантом НАН України № 0120U002032.

спрямоване на полегшення симптомів, зазначених вище. Однак антидепресанти мають значну кількість побічних ефектів, а транквілізатори можуть викликати звикання, через що їх призначають короткими курсами до 10 днів.

У той самий час вже давно існують різні дихальні техніки, у т. ч. йогівські, які здатні полегшити, або взагалі усунути притаманні психологічним розладам симптоми. Типові мети дихальних тренувань підтверджують це: «усунути безсоння», «заспокоїтися», «зосередитися», тощо. Також слід наголосити, що застосування дихальних технік не має протипоказань для фізично здорової людини. Ефективність дихальних практик обумовлена тим, що за функції дихання та серцебиття відповідають ті самі центри симпатичної та парасимпатичної систем автономної нервової системи людини. Отже модулюючи вплив на одну з цих функцій ми можемо опосередковано впливати на іншу, гармонізуючи внутрішній стан людини відповідно до обраної мети.

II. Постановка задачі

Для управління диханням використовується поняття формули дихання: вдих – пауза – видих – пауза. Тренування у відповідності до обраної мети можна виконувати за вже розробленими формулами дихання, які прив'язані до абсолютного часу. Під час реабілітації психологи навчають клієнтів так званому «диханню по квадрату». Причому рекомендовано вводити дихальні вправи у процес занять якомога раніше. Однак у відомих напрямах «Хронобіологія» та «Хрономедицина» наведено дані про ефективність використання технік персоналізованого управління диханням, коли замість одиниць часу (секунди, хвилини) використовуються удари пульсу індивідуума [1].

Зазвичай людина може розвинути спроможність чути власний пульс завдяки тривалим тренуванням (місяці, роки). Для людей, які звертаються по допомогу до психолога, такі умови неприйнятні, оскільки допомога потрібна негайно. Ці перешкоди можна подолати створивши певне програмне забезпечення для аналізу кардіосигналу, що надходить від кардіореєстратора, та генерування події «удар пульсу» для встановлення часових інтервалів у відповідній формулі дихання.

Зважаючи на все вище сказане персоналізована автоматизована технологія управляння диханням може надати психологам інноваційний інструмент для роботи з клієнтом.

III. Попередні результати експерименту з використанням автоматизованої технології управління диханням «Гармонія»

Експеримент було проведено у Центрі психологічної реабілітації «Відкриті двері». Основною метою експерименту була перевірка гіпотези про можливе підвищення ефективності сесій психологічної реабілітації за рахунок включення до складу сесії 20 циклів дихального тренування перед основною консультацією. Ця гіпотеза, в свою чергу, базується на відомих та науково-обґрунтованих властивостях дихальних тренувань змінювати баланс між симпатичним та парасимпатичним відділами нервової системи та збільшувати варіабельність серцевого ритму.

В експерименті було використано автоматизовану технологію управління диханням «Гармонія» [2], зокрема її функції щодо:

- можливості запису в цифровому вигляді електрокардіограми людини у першому відведенні,
- можливості управляти формулою дихання на основі її персоналізації RR-інтервалами конкретної людини.

Програму експерименту було побудовано на основі цих двох можливостей. При цьому, в експерименті було використано тільки одну з можливих формул дихання «Розслабитись», що має на меті зсув балансу нервової системи у парасимпатичний бік. Використання саме такої формули пояснюється тим, що більшість клієнтів центру мали високу тривожність.

Вимірювання здійснювалися за наступною програмою:

- запис ЕКГ на початку сесії – 3 хвилини,
- 15-20 циклів дихання за формулою «Розслабитись» під управлінням програмного забезпечення технології «Гармонія»,
- запис ЕКГ після керованого дихання – 3 хвилини.

Оцінку вегетативного балансу нервової системи за варіабельністю ритму серця було виконано у програмі «Оракул» [3, 4]. Частину отриманих результатів наведено у таблиці 1.

TABLE I. Приклад оцінки вегетативного балансу пацієнтів за варіабельністю ритму серця

Пацієнт	**Вегетативний баланс**	
	До тренування	***Після тренування***
2016ГО	15,36	2,47
1129ШЮ	3,25	1,88
2084ГС	7,79	1,18
1196ШН	7,89	7,86
2096МІ	8,14	4,11

Показники вегетативного балансу наведено в умовних одиницях. Значення менші від 1 – переважання парасимпатичного відділу, від 1 до 3 – норма, більші ніж 3 – переважання симпатичного відділу. У дев'яти з десяти пацієнтів, що приймали участь в експерименті, спостерігався зсув вегетативного балансу нервової системи у бік парасимпатичного відділу після кожного дихального тренування, що підтвердило висунуту гіпотезу.

Висновки

За результатами апробації технології автоматизованого управління диханням «Гармонія» в центрі психологічної реабілітації було отримано позитивні результати щодо підвищення ефективності комплексної психологічної реабілітації клієнтів з високим рівнем тривожності.

Література References

[1] Загускин С. Л., Веригин С. В. Персонализированная профилактическая хрономедицина: интеграция подходов западной и восточной медицины. Пространство и Время. № 1(27). 2017. С. 234 – 246.

[2] Шарипанов А. В., Вишневський В. В., Калмиков В. Г., Кізуб Л. А. «Комп'ютерна програма «Автоматизована технологія управління диханням «Гармонія». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 98944 від 13.08.2020 р.

[3] Чайковський І. А., Фролов Ю. О., Васильєв В. Є., Дордієнко М. О. «Комп'ютерна програма «Реєстрація та аналіз малоканальних ЕКГ сигналів». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 47857 від 18.02.2013 р.

[4] Будник М. М., Чайковський І. А., Фролов Ю. О., Будник В. М., Васильєв В. Є. «Комп'ютерна програма «Реєстрація та аналіз ЕКГ сигналів». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 95334 від 14.01.2020 р.

СЕКЦІЯ 2.

Теорія інформації, кодування, перетворення форми, цифрової обробки та ущільнення інформації

SECTION 2.

Information theory, coding and information form transformation

Метод Побудови Трійкових Унарних Функцій

Юрій Гунченко
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна
gunchenko@onu.edu.ua

Лариса Мартинович
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна
larysa.yaroslavna@gmail.com

Дмитро Слуцький
кафедра технічної кібернетики та інформаційних технологій
Одеський національний морський університет
Одеса, Україна
larysa.yaroslavna@onu.edu.ua

Костянтин Смірнов
кафедра комп'ютерних систем та технологій
Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна
gunchenko@onu.edu.ua

Method of Constructing Ternary Unary Functions

Yurii Gunchenko
dept. of Computer system and technologies
I.I.Mechnykov Odesa National University
Odesa, Ukraine
gunchenko@onu.edu.ua

Larysa Martynovych
dept. of Computer system and technologies
I.I.Mechnykov Odesa National University
Odesa, Ukraine
larysa.yaroslavna@gmail.com

Dmytro Slutskyi
Technical Cybernetics and Information Technologies Department, Odesa National Maritime University.
Odessa, Ukraine
larysa.yaroslavna@onu.edu.ua

Kostiantyn Smirnov
dept. of Computer system and technologies
I.I.Mechnykov Odesa National University
Odesa, Ukraine
gunchenko@onu.edu.ua

***Анотація*—Запропоновано універсальний пристрій на базі багатопорогового елемента багатозначної логіки для побудови трійкових унарних операцій. Розроблено метод синтезу всіх трійкових унарних операцій.**

***Abstract*— A universal device based on a multithreshold element of multivalued logic for constructing ternary unary operations is proposed. A method for the synthesis of all ternary unary operations has been developed.**

Ключові слова—трійкова логіка; трійкові унарні операції; метод синтезу унарних операцій

Keywords— ternary logic; ternary unary operations; method of synthesis of unary operations

I. Вступ

Трійкова логіка має ряд переваг порівняно з двійковою. Це такі, як природне представлення чисел зі знаком, не потрібно використовувати зворотній або додатковий код або спеціальний знаковий біт; команда розгалуження по знаку в трійковій машині займає в два рази менше часу, ніж в двійковій; в тривходовому трійковому суматорі перенесення в наступний розряд виникає в 8 ситуаціях з 27, а в двійковому суматорі – в 4 з 8; тривівневий сигнал більш стійкий до впливу перешкод в лініях передачі і спеціальні методи надлишкового кодування трійкової інформації простіші, ніж двійкової.

II. Унарні операції в трійковій логіці

В двійковій логіці є всього 4 операції для одного аргумента, тобто унарних. У той же час в трійковій логіці існує 27 унарних операцій. Розглянемо деякі з них. Отже, перша – це інверсія. Трійкова інверсія – унарна операція, яка міняє місцями два з трьох логічних станів: NOT^{-} - інверсія, що міняє місцями 0 і +1; NOT – інверсія, що міняє місцями -1 і +1; NOT^{+} - інверсія, що міняє місцями -1 і 0. В табл. 1 наведена таблиця істинності для операцій інверсії.

TABLE I. Таблиця істинності унарних операцій

a	Таблиця істинності операцій інверсії		
	NOT^{-}	NOT	NOT^{+}
–	–	+	0
0	+	0	–
+	0	–	+

Наступна одномісна операція – операція вибору. Їх також три. Таблиця істиності кожної з цих трьох операцій містить всюди "–", крім єдиного значення, яке нею можна вибрати. Однією з найпоширеніших одномісних операцій є модифікація - збільшення на одиницю по модулю три (INC) і зменшення на одиницю по модулю три (DEC). Збільшення на одиницю по модулю три – це циклічне додавання одиниці. У разі переповнення трита рахунок починається знову. Наступні операції – граничне збільшення і зменшення. Вони схожі з операторами модифікації, але при

переповненні трита рахунок не починається знову, і значення так і залишається мінімальним або максимальним [1]. Циклічне заперечення позначається (a)′ і циклічно зсуває вхідні змінні.

III. Універсальний пристрій для реалізації трійкових одномісних функцій

На основі багатопорогового елемента багатозначної логіки, побудований універсальний пристрій (УП) [2], за допомогою якого можна отримати усі 27 трійкових унарних операцій. Він складається з блоку формування порогів, двох емітерних повторювачів і чотирьох струмових перемикачів, а також джерела струму, що призначене для зсуву вихідного сигналу на «+1» або «–1». УП має один вхід для трійкової змінної (+1, 0, –1) та 8 вихідних сигналів. В залежності від поєднання виходів УП та константи, що формується джерелом струму можна реалізувати будь-яку трійкову одномісну функцію.

На вхід БФП надходить трійкова змінна a. БФП формує два симетричні пороги. Виходи БФП подаються на емітерні повторювачі ЕП1, ЕП2, на виході яких формуються напруги, в залежності від вхідного струму. Поєднуючи виходи СП1 – СП4 та константу, сформовану джерелом струму, можна отримати необхідну трійкову унарну функцію.

IV. Метод побудови трійкових унарних функцій

На основі універсального пристрою було розроблено метод, що дозволяє отримати всі трійкові унарні функції. Для використання методу необхідно користуватися лише табл.2, вхідними значеннями і відповідними їм вихідними значеннями функції, що будується.

TABLE II. Таблиця істинності унарних операцій

Сума вхідних струмів	**Вихідні сигнали струмових перемикачів**			
	+R1	***+L1***	***–R1***	***–L1***
–	0	+	–	0
0	+	0	–	0
+	+	0	0	–

Метод побудови одномісних трійкових функцій на базі УП полягає в наступному:

1. Обираємо набір (№ в таблиці істинності) функції, який будемо реалізовувати першим: це не нульове значення («+» або «–»), якого в функції менше. Якщо ненульових значень однакова кількість, то обираємо те, яке відповідає ненульовому вхідному аргументу («+» або «–»). Якщо є і те, і інше, то обираємо будь-яке.

2. Обираємо RL-функцію, яка реалізує значення з п.1, незалежно від отриманих значень при інших аргументах.

3. Обираємо набір (№ в таблиці істинності) функції, який будемо реалізовувати другим: це не нульове значення («+» або «–»). Якщо два ненульових значення, то обираємо те, яке відповідає ненульовому вхідному аргументу («+» або «–»). Інакше, обираємо те, що змінилось при виконанні п.2.

4. Обираємо RL-функцію (або її відсутність), яка реалізує значення з п.3 (можливо, їх буде дві, для компенсації дій функції з п.2). Якщо функція з п.4 змінює значення п.1:

- на нульове, то необхідно додати RL-функцію з п.2.
- інакше, необхідно додати RL-функцію з протилежним значенням у вибраному в п.1 номері функції з п.4.

5. Обираємо RL-функцію (або її відсутність), яка реалізує (або відповідним чином змінює) значення, що залишилось. Якщо функція з п.5 змінює значення п.1:

- на нульове, то необхідно додати RL-функцію з п.2.
- інакше, необхідно додати RL-функцію з протилежним значенням у вибраному в п.1 номері функції з п.5.

Якщо функція з п.5 змінює значення п.3:

- на нульове, то необхідно додати RL-функцію з п.4.
- інакше, необхідно додати RL-функцію з протилежним значенням у вибраному в п.3 номері функції з п.5.

6. Оптимізація. Якщо в отриманому наборі функцій є такі, які в сумі дають константу («+1» чи «–1») на всіх наборах вхідних аргументів, то їх можна замінити на константу «+» або «–».

V. Висновки

В роботі запропоновано використання універсального пристрою для побудови трійкових унарних операцій. Розроблено метод синтезу всіх трійкових унарних операцій. В результаті використання методу отримуємо таблицю, яка містить перелік виходів струмових перемикачів, які треба об’єднати для того, щоб отримати необхідну функцію.

Література References

[1] Вікіпедія, «Троичные функции», [Електронний ресурс] – Режим доступу: https ://ru.wikipedia.org /wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8

[2] Левчук В.В., Гунченко Ю.О., Ємельянов П.С., Пристрій для побудови трійкових унарних функцій // ІІ Всеукраїнська науково-практична конференція «Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об’єктів, явищ і процесів», Миколаїв, 2017.– с.102

Ущільнення Даних зі Швидким Декодуванням

Ігор Завадський
кафедра математичної інформатики, факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
ihorza@gmail.com

Data Compression with Fast Decoding

Igor Zavadskyi
Dept. of Mathematical Informatics, Computer Science and Cybernetics Faculty
National Taras Shevchenko University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
ihorza@gmail.com

***Анотація*—Означено та досліджено код, що призначений для ущільнення даних без втрат, та базується на двійковому поданні трійкових чисел. Експериментально продемонстровано, що код має краще співвідношення між коефіцієнтом стиснення та швидкістю декодування, ніж відомі байтові коди.**

***Abstract*—A data compression code exploiting ternary numeration system is investigated. Its theoretical properties, compression efficiency and decoding methods are discussed. The new code appears to represent an attractive point in the tradeoff between compression efficiency and decoding speed.**

Ключові слова—код, ущільнення, стиснення, без втрат, бінарний, трійковий.

Keywords—code; compression; lossless; text.

I. Вступ

Дане дослідження присвячено методам ущільнення природномовних текстів. Такі методи можна поділити на 2 класи: 1) методи, що забезпечують ступінь ущільнення, близький до теоретичної межі (ентропії Шеннона); 2) методи, що завдяки зниженню коефіцієнта стиснення дають інші переваги, такі як швидкість декодування або можливість пошуку в стиснутому файлі без його розпакування. Методи першого класу базуються, зокрема, на таких відомих кодах, як коди Хафмана [1] чи коди на основі асиметричних систем числення [2], а ефективними прикладами кодів, що використовуються в методах другого класу, є коди Фібоначчі [3], мультироздільникові [4] та реверсні мультироздільникові коди [5], а також байтові коди SCDC [6] та RPBC [7].

Серед перелічених кодів найгіршим коефіцієнтом стиснення (14–16% від ентропійної межі) характеризуються байтові коди, однак для них же розроблено і найшвидші методи декодування (див. табл. I). При цьому коди SCDC надають можливість пошуку в ущільненому файлі, а коди RPBC — ні.

У цій статті означено стискальний код, що базується на відомому способі подання трійкових чисел за допомогою двійкових символів [8]. Як свідчать експерименти, він перевершує байтові коди SCDC та RPBC як за коефіцієнтом стиснення, так і за швидкістю декодування, а також дає змогу виконувати пошук в ущільненому файлі.

II. Означення коду

Двійковий Код Трійкового Подання невід'ємних цілих чисел (ДКТП) містить кодові слова лише парної бітової довжини. Таким чином, кожне кодове слово може бути поділене на пари бітів, остання з яких завжди дорівнює 11 й інтерпретується як роздільник. Усі інші пари бітів можуть набувати значення 00, 01 або 10 й можуть тлумачитися як трійкові цифри — тріти.

Множину кодових слів, впорядковану за зростанням їхніх довжин, можна сформувати за простим принципом:

- записуємо слово 11 (пронумеруємо його як 0);
- записуємо всі 2-трітні слова, впорядковані за зростанням і доповнені роздільником 11 (їх буде 3);
- записуємо всі 3-трітні слова, впорядковані за зростанням і доповнені справа роздільником 11, а зліва – нулями (таких слів буде 9) тощо.

Множину слів довжиною ≤3 трітів наведено в табл. I.

TABLE I. Слова коду ДКТП, що містять не більше 3 трітів

Довжина 1 тріт	***Довжина 2 тріти***	***Довжина 3 тріти***		
$0 \to 11$	$1 \to 0011$	$4 \to 000011$	$7 \to 010011$	$10 \to 100011$
	$2 \to 0111$	$5 \to 000111$	$8 \to 010111$	$11 \to 100111$
	$3 \to 1011$	$6 \to 001011$	$9 \to 011011$	$12 \to 101011$

З табл. I видно, що для $n > 0$ номер x ДКТП-слова $(x_{n-1},\ldots,x_0)$, де x_{n-1} – найстарший тріт, а x_0 – наймолодший, може бути обчислено за такою формулою:

$$x=3^{n-1}x_{n-1}+\ldots+3x_1+x_0+\ldots+3^{n-1}+\ldots+3+1 \qquad (1)$$

Записавши формулу (1) в рекурентному вигляді $x=x_0+1+3(x_1+1+3(x_2+1+\ldots+3(x_{n-1}+1)\ldots))$, отримаємо простий метод декодування ДКТП-слів (Алг. 1).

Алгоритм 1. Декодування ДКТП-слова: $x_{n-1}\ldots x_0(11) \to x$

1. x=0;
2. for i=n–1 downto 0 do
3. x=3x+x_i+1

Зворотну процедуру кодування наведено в Алг. 2.

Алгоритм 2. Кодування числа: $x \to w_x = x_{n-1}\ldots x_0(11)$, x>0

1. w_x=’11’;
2. while x>0 downto 0 do
3. x=x–1
4. w_x=(x mod 3)$_2$+w_x // конкатенація
5. x=x div 3.

III. Швидке декодування

Основна ідея методу швидкого декодування полягає у виконанні на одній ітерації декодувального циклу кількох ітерацій циклу з Алг. 1. Це стає можливим завдяки використанню декодувальних таблиць, які мають вміщуватися в кеш-пам’ять L1 (інакше час виконання алгоритму суттєво збільшується). Оскільки типовий обсяг L1-кешу становить 16–64 Кб, то індекс декодувальної таблиці являє собою блок із 4–7 трітів. Звичайно, такий блок може охоплювати частини кількох суміжних кодових слів, так само, як і кожне кодове слово може складатися з частин кількох суміжних блоків трітів. Останній факт означає, що кодові слова мають декодуватися частинами.

Пояснимо ідею декодування частинами. Нехай U – результат застосування Алг. 1 для декодування старших трітів певного кодового слова *ДКТП*(x), а V – результат декодування решти v молодших трітів. З формули (1) випливає $x=3^vU+V$. Аналогічним чином, якщо k послідовних частин кодового слова містять $v_k,\ldots,v_1$ трітів, а $V_k,\ldots,V_1$ – результати їх поокремого декодування, то:

$$x=3^{v(1)}(3^{v(2)}\ldots3^{v(k-2)}(3^{v(k-1)}V_k+V_{k-1})+\ldots+V_2)+V_1 \qquad (2)$$

Блоки трітів опрацьовуються послідовно за Алг. 3. У ньому використовуються такі позначення: *Text*[i] – байт закодованого тексту; m – довжина тексту в байтах; n[x] – кількість роздільників у байті x, *pow*3[x]= 3^h, де h – кількість трітів у найстаршій частині x, L_j[x] – результат декодування j-ї частини x.

Алгоритм 3. Швидке декодування бітового потоку ДКТП

1. t=0
2. for i=1 to m do
3. x = *Text*[i]
4. $t = t \cdot pow3[x]+L_1[x]$
5. if n[x]>0 then
6. Output t
7. for j=2 to n[x] do
8. Output L_j[x]
9. $t= L_{n[x]+1}$

Зауважимо, що Алг. 3 підлягає подальшому прискоренню завдяки зчитуванню з пам’яті, опрацюванню й запису у пам’ять 8-байтних слів (для процесора x64).

Відповідні процедури в статті не наведено через їхню низькорівневість та брак місця. Проте вони були реалізовані програмно і результати тестування програми кодування/декодування ДКТП-коду, а також методів кодування та швидкого декодування інших відомих кодів надано в табл. II. Коди застосовувалися до тексту обсягом 100 Мб, що складається з вибраних випадково статей із англійської Вікіпедії. Елементами алфавіту вважалися слова тексту. Показник ущільнення наведено як середню кількість бітів на слово в закодованому файлі. У дужках вказано відсоток перевищення ентропії, яка становить 11,078 бітів на слово. Час декодування вимірювався як середній час виконання 2000 пробігів кожного алгоритму на 4 комп’ютерах. Декодування означало отримання в пам’яті масиву номерів слів тексту в словнику – саме ця процедура відрізняє методи один від одного.

TABLE II. Експериментальні результати

Алгоритм	***Показник ущільнення***	***Час декодування (мс)***
Fib2	11,983 (8,2%)	694
Fib3	11,564 (4,4%)	506
Мультирозд. $R_{2,4-\infty}$	11,393 (2,8%)	385
SCDC	12,869 (16,2%)	228
RPBC	12,685 (14,6%)	130
ДКТП	11,723 (5,8%)	106

IV. Висновки

Запропонований у статті код ДКТП забезпечує кращий ступінь ущільнення англійського тексту, ніж код Фібоначчі Fib2, байтові коди SCDC та RPBC, але гірший, ніж код Fib3 та мультироздільниковий код $R_{2,4-\infty}$, а швидкість декодування ДКТП є вищою за всі вищеназвані коди. Загалом, двійковий код тернарного подання чисел видається привабливою альтернативою відомим рішенням з ущільнення текстових даних, якщо важливим є не лише коефіцієнт стиснення, але й швидкість декодування та можливість пошуку в закодованому файлі.

Література References

[1] D. Huffman, “A method for the construction of minimum-redundancy codes,” in *Proc. IRE 40:* 1952, pp. 1098–1101.

[2] J. Duda, K. Tahboub, N. Gadgil, E. Delp, “The use of asymmetric numeral systems as an accurate replacement for human coding.,” in *Picture Coding Symposium,* 2015, pp. 65–69.

[3] S.T. Klein, M.K. Ben-Nissan, “On the usefulness of Fibonacci compression codes,” *Computer Journal*, vol. *53*, no. *6*, pp. *701-716,* 2010.

[4] A.V. Anisimov, I.O. Zavadskyi, “Variable-length prefix codes with multiple delimiters,” *IEEE Transactions Information Theory*, vol. *63*, no. *5*, pp. *2885-2895,* 2017.

[5] I.O. Zavadskyi, A.V. Anisimov, “Reverse multi-delimiter compression codes,” in *Proc. Data Compression Conference*, 2020, pp. 173–182.

[6] N. Brisaboa, A. Farina, G. Navarro, M. Esteller, “(s,c)-dense coding: an optimized compression code for natural language text databases,” in *Proc. Symposium on String Processing and Information Retrieval SPIRE'03*, 2003, pp. 122–136.

[7] J. Culpepper, J. Moffat, “Enhanced byte codes with restricted prefix properties,” in *Proc. String Processing and Information Retrieval*, 2005, pp. 1–12.

[8] G. Frieder, C. Luk, “Algorithms for binary coded balanced and ordinary ternary operations,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. *23*, no. *2*, pp. *212-215,* 1975.

Деякі Принципи Складання Двійкових Біноміальних Чисел

Ігор Кулик
кафедра електроніки і комп'ютерної техніки
Сумський державний університет
Суми, Україна
i.kulyk@ekt.sumdu.edu.ua

Марина Шевченко
кафедра електроніки і комп'ютерної техніки
Сумський державний університет
Суми, Україна
m.shevchenko@ekt.sumdu.edu.ua

Some Principles of Binary Binomial Numbers Summation

Igor Kulyk
dept. of Electronics and Computer Technics
Sumy State University
Sumy, Ukraine
i.kulyk@ekt.sumdu.edu.ua

Maryna Shevchenko
dept. of Electronics and Computer Technics
Sumy State University
Sumy, Ukraine
m.shevchenko@ekt.sumdu.edu.ua

***Анотація*—В роботі викладені деякі принципи проведення підсумовування двійкових біноміальних чисел. Розроблені принципи можуть бути задіяні на інші арифметичні операції в двійкових біноміальних системах числення, що розширяє можливості їх застосування.**

***Abstract*—Some principles for summing up binary binomial numbers are proposed in the paper. The developed principles can be applied to the other arithmetic operations in binary binomial number systems that is expanded possibilities of their application.**

Ключові слова—двійкові біноміальні числа; складання чисел; матричне представлення; комбінаторні перетворення

Keywords— binary binomial numbers; numbers summation; matrix representation; combinatorial transformations

I. Вступ

Будь-яка система числення повинна виконувати наступні завдання:

- представлення кількості елементів або об'єктів, які містяться в тих або інших множинах;
- упорядкування елементів або об'єктів;
- виконання арифметичних і логічних операцій над числами.

З усіма вказаними завданнями прекрасно справляється двійкова позиційна система числення, яка є основою сучасної цифрової та комп'ютерної техніки, різноманітних інформаційно-керуючих та телекомунікаційних систем. Її розповсюдження пояснюється однорідністю та позиційністю, коли вагові коефіцієнти розрядів двійкового числа знаходяться у простих математичних зв'язках зі значеннями позицій та розрядів чисел. Це суттєво спрощує практичне застосування двійкової системи числення, а саме кодування і знаходження кількісних еквівалентів двійкових чисел, їх упорядкування та реалізацію двійкової машинної арифметики. Але двійкова система числення сама по собі не може вирішувати завдання по підвищенню відмовостійкості та продуктивності інформаційних систем без залучення додаткових, досить значних апаратно-програмних витрат. Особливо це стосується можливостей прискорення вирішення таких спеціалізованих інформаційних завдань, як генерування різноманітних комбінаторних об'єктів, проведення комбінаторної оптимізації, стиснення й шифрування даних.

У цьому сенсі мають значну перспективу більш складні, нетрадиційні системи чисел, наприклад структурні неоднорідні біноміальні системи числення з двійковим алфавітом [1]. Їх розповсюдженні й впровадженню у комп'ютерні системи та компоненти значно заважає той факт, що до сих пір не має рішення задача проведення арифметичних дій на двійковими біноміальними числами. Слід зауважити, що завдання біноміального рахунку в біноміальних системах числення вже є розв'язаним, оскільки існують працездатні й досить ефективні алгоритми і пристрої біноміальних підсумовування і віднімання на одиницю [2]. Це є додатковим стверджуючим фактом про

можливість розроблення машинної біноміальної арифметики.

Наявність розроблених моделей і алгоритмів складання двійкових біноміальних чисел надало б істотний поштовх в розвитку і впровадженню інформаційної технології по біноміальній обробці даних.

II. ПРИНЦИПИ СКЛАДАННЯ ДВІЙКОВИХ БІНОМІАЛЬНИХ ЧИСЕЛ

A. Матричне представлення двійкових біноміальних чисел

Вагові коефіцієнти з біноміальної числової функції представимо через верхній $\alpha_i=k-q_i$ та нижній $\beta_i=n-i$ параметри: $C_{n-i}^{k-q_i}=C_{\beta_i}^{\alpha_i}$. Значення довжини для усіх двійкових (n,k)-біноміальних чисел $r=n-1$, тобто оперуємо з рівномірними біноміальними числами $X_j=x_1x_2\ldots x_i\ \ldots x_{n-1}$.

Будь-яке двійкове біноміальне число X_j можна представити як упорядковану q-елементну вибірку S_{X_j} (q--кортеж) з множини всіх вибірок вагових коефіцієнтів, можливих для біноміальних чисел з параметрами n і k:

$$S_{X_j}=\left((\alpha_i,\Delta_i)^{(1)},\ldots,(\alpha_i,\Delta_i)^{(u)},\ldots,(\alpha_i,\Delta_i)^{(q)}\right), \qquad (1)$$

де $0\le q\le k$, $u=1,2,\ldots,q$, $1\le i\le n-1$, а різниця $\Delta_i=\beta_i-\alpha_i$ є зміщення параметрів вагових коефіцієнтів двійкових біноміальних чисел.

Зручною моделлю для представлення кортежів (1) є (0,1)-матриці, координатами елементів яких є параметр α_i і зміщення Δ_i параметрів біноміальних коефіцієнтів:

C_{n-1}^{k}	C_{n-2}^{k-1}	...	$C_{\alpha+(n-k-1)}^{\alpha}$	...	C_{n-k}^{1}
C_{n-2}^{k}	C_{n-3}^{k-1}	...	$C_{\alpha+(n-k-2)}^{\alpha}$	...	C_{n-k-1}^{1}
...	...	...	...	...	...
$C_{k+\Delta}^{k}$	$C_{k-1+\Delta}^{k-1}$	...	$C_{\alpha+\Delta}^{\alpha}$	...	$C_{1+\Delta}^{1}$
...	...	...	...	...	...
C_{k}^{k}	C_{k-1}^{k-1}	...	C_{α}^{α}	...	C_{1}^{1}

, (2)

Наявність вагового коефіцієнту в запису біноміального числа X_j в (0,1)-матриці (2) вказується розміщенням одиниці у відповідному осередку (α,Δ). Решта осередків (α,Δ) (0,1)-матриці заповнюються нулями.

B. Матричне представлення біноміального складання

Матриці (2), які відображають кортежі $S_{X'_j}$ і $S_{X''_j}$ доданків X'_j і X''_j, виявляються зручними не лише для їх подання, а й для проведення операцій над самими біноміальними числами.

Пропонується застосовувати для проведення операції підсумовування біноміальних чисел X'_j і X''_j матрицю вагів $\left\|C_{\alpha+\Delta}^{\alpha}\right\|$, яка має розмір $(k+1)\times(n-k)$:

$$\left\|C_{\alpha+\Delta}^{\alpha}\right\|=\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|}\hline C_{n-1}^{k} & \ldots & C_{\alpha+(n-k-1)}^{\alpha} & \ldots & C_{n-k}^{1} & C_{n-k-1}^{0}\\ \hline C_{n-2}^{k} & \ldots & C_{\alpha+(n-k-2)}^{\alpha} & \ldots & C_{n-k-1}^{1} & C_{n-k-2}^{0}\\ \hline \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ \hline C_{k+\Delta}^{k} & \ldots & C_{\alpha+\Delta}^{\alpha} & \ldots & C_{1+\Delta}^{1} & C_{\Delta}^{0}\\ \hline \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ \hline C_{k}^{k} & \ldots & C_{\alpha}^{\alpha} & \ldots & C_{1}^{1} & C_{0}^{0}\\ \hline\end{array}, \qquad (3)$$

На відміну від (0,1)-матриць (2) матриця $\left\|C_{\alpha+\Delta}^{\alpha}\right\|$ вагових коефіцієнтів (3) в своїх осередках може містить декілька одиниць, що є наслідком можливого співпадання вагових коефіцієнтів у доданках X'_j і X''_j або виникнення декілька однакових біноміальних коефіцієнтів в процесі підсумовування. Крім того, необхідно ввести додатковий стовпчик з $\alpha=0$, в осередках якого будуть розміщуватися одиниці, які завершують серії одиниць та формують одиниці перенесення до старших розрядів.

C. Застосування перетворень біноміальних коефіцієнтів

Вид множини вибірок вагових коефіцієнтів, можливих для (n,k)-біноміальних чисел, визначає і обґрунтовує набір перетворень над ваговими коефіцієнтами, які засновані на відомих комбінаторних співвідношеннях [3]:

1. Перетворення переносу:

$$C_{n-i}^{k-q_i}=C_{n-(i+1)}^{k-q_i}+C_{n-(i+2)}^{(k-q_i)-1}+\ldots+C_{n-(i+k-q_i)}^{1}+C_{n-(i+k-q_i+1)}^{0}.$$

2. Перетворення зрушення:

$$C_{\alpha_i}^{\alpha_i}=C_{\gamma_i}^{\gamma_i}=C_{\chi_i}^{0}.$$

де $\alpha_i\ne\gamma_i\ne\chi_i$, $1\le\alpha_i,\gamma_i,\chi_i\le k$.

3. Перетворення симетрії:

$$C_{\beta_i}^{\alpha_i}=C_{\beta_i}^{\beta_i-\alpha_i}.$$

3. Перетворення розкладання:

$$C_{\beta_i}^{\alpha_i}=C_{\beta_i-1}^{\alpha_i}+C_{\beta_i-1}^{\alpha_i-1}.$$

Для отримання результату складання двійкових біноміальних чисел необхідно провести перетворення переносу, зрушення, симетрії та розкладання над осередками матриці $\left\|C_{\alpha+\Delta}^{\alpha}\right\|$ вагових коефіцієнтів (3).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] А.А. Борисенко, И.А. Кулик, Биномиальное кодирование: монография. Сумы: Изд-во СумГУ, 2010.

[2] А.А. Борисенко, Биномиальный счет. Теория и практика: монография. Сумы: ИТД "Университетская книга", 2004.

[3] Ja.A. Anderson, Discrete mathematics with combinatorics. Prentice-Hall, Inc., 2001.

Image Histograms for Estimation the Limitation Level

Olena Osharovska
Department of Television and Sound Broadcasting
State University of Intellectual Technologies and Telecommunications
Odessa, Ukraine
osharovskaya@gmail.com

Mikola Patlayenko
Department of Television and Sound Broadcasting
State University of *Intellectual* Technologies and Telecommunications
Odessa, Ukraine
nick_msa@ukr.net

Гістограми Зображень Для Оцінки Рівня Обмеження

Олена Ошаровська
кафедра телебачення та радіомовлення
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку
Одеса, Україна
osharovskaya@gmail.com

Микола Патлаєнко
кафедра телебачення та радіомовлення
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку
Одеса, Україна
nick_msa@ukr.ne

Abstract— The paper presents the results of a study on the detection of contours in a matrix image of picture objects that meet the criterion of low-contrast textures. The selection of boundaries was carried out by the method of using partial derivatives in the horizontal and vertical directions and the subsequent solution for a given threshold. The threshold level was changed depending on the greater or lesser content of fine details. The study of the detail of the images was carried out in the Matlab environment. The original images were selected from the databases of ultra-high-definition images, low-contrast textures were considered in each test image, the detail was calculated separately for the brightness component and the components of the color difference. By the criterion of detail, images can be conditionally divided into high, medium and low detail. Limiting the level when extracting edges is a non-linear operation and can lead to both the elimination of point noise and the loss of high-frequency components with low contrast. The paper proposes a probabilistic method for estimating the distortion of low-contrast textures by analyzing the histograms of the distribution of signal levels in the luminance and color-difference components. The histograms of the distribution of the components for the 5% limitation threshold are presented and a predictive analysis on the admissibility of such a limitation threshold is given. If the number of sample points in the histogram (histogram width) is reduced by more than two times, then it is necessary to reduce the limiting threshold when selecting the contours.

Анотація— У роботі наведені результати дослідження з детектування контурів в матричному зображенні об'єктів картинки, які відповідають критерію мало контрастних текстур. Виділення меж проводилося за методом використання приватних похідних в горизонтальному і вертикальному напрямках і подальшим рішенням по заданому порогу. Граничний рівень змінювали в залежності від більшого чи меншого вмісту дрібних деталей. Дослідження детальності зображень проведено в середовищі Матлаб. Вихідні зображення обрані з баз зображень надвисокої чіткості, в кожному тестовому зображенні розглядалися мало контрастними текстури, підраховувалася детальність окремо для складової яскравості і складових колірної різниці. За критерієм детальності зображення умовно можна розділити на високого, середнього та низької детальності. Обмеження за рівнем при виділенні контурів є нелінійної операцією і може призводити як до усунення точкових шумів, так і втрати високочастотних компонент з малою контрастністю. У роботі пропонується імовірнісний метод оцінювання спотворення мало контрастних текстур з аналізу гістограм розподілу значень рівнів сигналів яскравості і кольоре-різницевих компонентах. Наведено гістограми розподілу складових для порога обмеження в 5% і дане прогностичний аналіз про допустимість такого порогу обмеження. Якщо кількість відлікових точок в гістограмі (ширина гістограми) зменшується більш ніж в два рази, то необхідно зменшувати поріг обмеження при виділенні контурів.

Keywords— image, texture, contour, threshold limit, histogram

Ключові слова— зображення, текстура, контур, поріг обмеження, гістограма

I. INTRODUCTION

When working with high-definition and ultra-high definition images [1, 2], you need to be adaptive to the choice of compression methods. In most cases, lossy compression techniques are used based on spectral transformations, variable length codes, group coding. The combination of these methods is due to the purpose of the further use of images. In our research, the main task was to ensure the transmission of images with the least distortion of low-contrast textures. Subjective

studies have shown that such textures are characterized by the appearance of gloss. [3].

II. THE LOW CONTRAST IMAGE TEXTURE

The image processing procedure consisted of several stages. At the first stage, several ultra-high-definition images were selected from the image databases, in which attention was drawn to the presence of low-contrast textures. Examples of such images are shown in Fig. 1. For the image of a religious building, the low-contrast texture corresponds to the asphalt. The structure of the reddish stones is of interest for depicting the Tree on the Rocks.

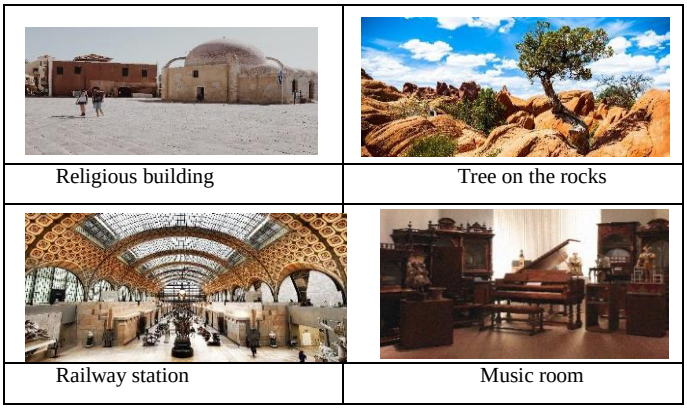


Рис. 1. The UHD Test Image

Previously, we proposed the concept of image detail [4], which was calculated separately for the brightness component and separately for the color difference components. Detail was calculated as a percentage of the selected borders to the image area. The texture was determined within the bounds by setting a threshold level [5, 6, 7]. In this study, two variants of the threshold were chosen, namely 5% and 10% of the maximum signal level. For further investigation, we divided the images into three groups: low detail, medium detail, and high detail. Tab. 1 shows the values of the detail of the test images for two variants of the threshold α. The following conventions are used: Y Luma signal, C_R red and C_B blue difference signals

TABLE 1 – TEST IMAGES PARAMETERS

Image Title	**Detail α**					
	Y		**C_B**		**C_R**	
	5 %	10 %	5 %	10 %	5 %	10 %
Religious building	2.1	1.6	1.4	0.7	1.1	0.24
Tree on the rocks	2.6	1.8	0.93	0.5	1.23	0.71
Railway station	8.6	6.2	3.7	2.5	5.2	3.1
Music room	13.6	9	2.3	0.5	3.6	1.1

III. EXPERIMENT RESULTS

In order to be able to evaluate the presence or absence of distortions of a low-contrast texture on the receiving side, in the general case, it is necessary to go all the way through the encoding and decoding of the image at the selected threshold α to select the contour. Fig. 2, 3 shows histograms for test image 1 before after the thresholdштп.

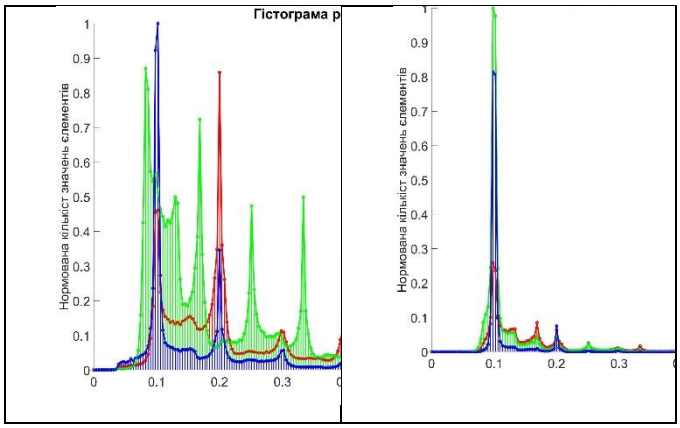


Рис. 2. The Histogram for Test Image 1 before and after the thresholding

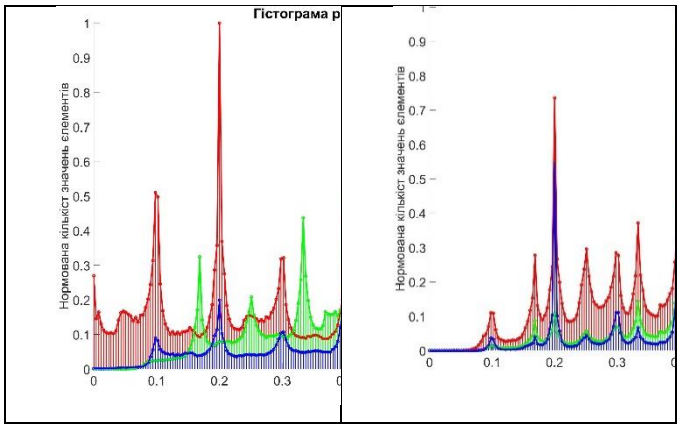


Рис. 3. The The Histogram for Test Image 1 before and after the thresholding

For image 1 it is necessary to decrease the threshold.

REFERENCES ЛІТЕРАТУРА

[1] Recommendation ITU-R BT.709 (06-2015), Parameter values for the HDTV standards for production and international program exchange.

[2] Recommendation ITU-R BT.2020-2 (10/2015), Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international program exchange.

[3] Recommendation ITU-R BT.2100-2 (07/2018), Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international program exchange.

[4] O. Gofaizen, O. Osharovska, M. Patlayenko, V. Pyliavskyi, "Adaptive decomposition of TV images," 2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), pp. 11-15 Sept., 2017.

[5] M. H. Asghari, and B. Jalali, "Edge detection in digital images using dispersive phase stretch," *International Journal of Biomedical Imaging*, Vol. 2015, Article ID 687819, pp. 1–6 (2015).

[6] Lo, E.H., Pickering, M.R., Frater, M.R., Arnold, J.F. "Image segmentation from scale and rotation invariant texture features from the double dyadic dual-tree complex wavelet transform." In *IVC* 29(1), P.15–28, 2011.

[7] Brox, T., Rousson, M., Deriche, R., Weickert, J. "Colour, texture, and motion in level set based segmentation and tracking."in *IVC* 28(3), P.376–390, 2010

Характеристики Аналого-Цифрового Перетворювача Монте-Карло

Марія Семаньків
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
Івано-Франківськ, Україна
dlyamarii@gmail.com

Specifications of The Analog-To-Digital Converter of Monte Carlo

Maria Semankiv
dept. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
dlyamarii@gmail.com

***Анотація* — подано результати дослідження характеристик аналого-цифрового перетворювача Монте-Карло на основі генератора псевдовипадкових чисел з перестановкою ваг розрядів двійкових кодів.**

***Abstract* — the results of the study of the characteristics of the analog-to-digital converter Monte Carlo on the basis of the generator of pseudo-random numbers with permutation of the weights of bits of binary codes are presented**

Ключові слова—аналого-цифровий перетворювач.

Keywords—analog-to-digital converter.

I. Вступ

Основні тенденції розвитку методів та засобів АЦ перетворення полягають в розширенні функціональних можливостей, піднятті швидкодії, збільшенні розрядності, зниженні енергоспоживання, зменшенні вартості серійного виробництва. Згідно проведеного аналізу зроблено висновок, що не всі типи АЦ перетворювачів задовольняють необхідній сукупності вимог: найбільш швидкодіючі АЦ перетворювачі паралельного зчитування не забезпечують для багатьох задач вимірювань допустиму похибку квантування за рівнем; АЦ перетворювачі порозрядного зрівноваження не реалізують потенціальну швидкодію елементної бази, що призводить до зменшення швидкодії перетворення, збільшення похибки динамічних вимірювань; інтегруючі перетворювачі характеризуються низькою швидкодією. Таким чином, сучасна схемотехніка АЦ перетворювачів не забезпечує досягнення потенціальної швидкодії і точності сучасної елементної бази, а також обмежує ефективність використання сучасних засобів перетворення форми та обробки інформації, а, отже, і інформаційно-вимірювальних систем в цілому.

II. АЦ перетворювач Монте-Карло

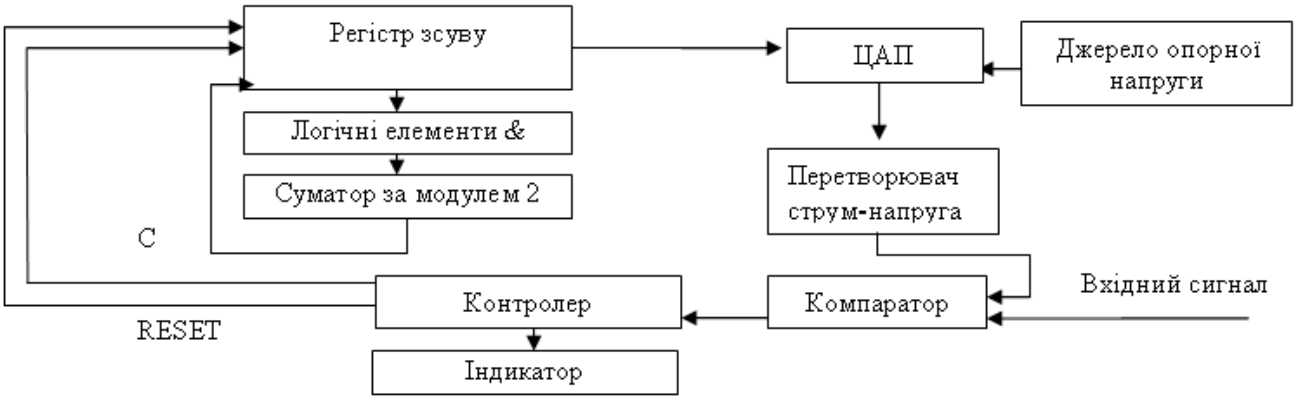
Застосування АЦ перетворювачів Монте-Карло дозволяє реалізувати перетворювачі по складності та вартості порівнянні із послідовними АЦП, із значно розширеними частотними характеристиками, порівняною точністю перетворення та можливістю інтегрування відліків вхідного сигналу у функції часу. Якість перетворення таких засобів визначається якістю псевдовипадкового розподілу опорного сигналу, отриманого генератором псевдо випадкових відліків.

Практично всі методи побудови інтегруючих перетворювачів реалізують наближені чисельні методи інтегрування і володіють методичною похибкою. Тому при проектуванні інтегруючих АЦ інформаційно-вимірювальних перетворювачів необхідно попередньо оцінити методичну похибку інтегрування, на основі якої вибирається метод побудови інтегруючого перетворювача. Адже основний вплив в сумарну похибку перетворення вносить методична похибка. Похибка методу Монте-Карло становить $\approx \sqrt{1/n}$, де n – кількість випадкових вибірок, які формуються генератором випадкових чисел. Зменшити похибку обчислень можна за рахунок збільшення кількості

генерованих випадкових значень. Проте слід зауважити, що на методи генерування для методу Монте-Карло накладається вимога високої якості рівномірності послідовності випадкових чисел і, зокрема, що не менш важливо, для їх практичного застосування забезпечення простоти технічної реалізації генератора. Результати досліджень характеристик відомих методів генерування показують недотримання вказаних вимог, що вказує на потребу розробки методу генерування, що в стані забезпечити умови рівномірності та просту структурну складність.

Запропоновано метод і розроблено генератор псевдовипадкових чисел на основі циклічних зсувів. Технічна реалізація такого генератора полягає у застосуванні регістра зсуву, охопленого логічним зворотним зв'язком згідно примітивних незвідних поліномів, до цифрових виходів якого підключено цифро-аналоговий (ЦА) перетворювач, який по аналоговому виходу формує аналогову розгортку псевдовипадкового сигналу. Інший запропонований метод ґрунтується на дзеркальному взаємному відображенні вагових номерів розрядів двійкових кодів шляхом взаємної перестановки старших та молодших розрядів на виході двійкового лічильника. Простота технічної реалізації даних методів генерування визначає можливість їх використання для АЦ перетворювачів Монте-Карло. Якість рівномірності послідовностей псевдовипадкових чисел генерованих для запропонованих методів становить 0,98-0,99 (максимальне значення – одиниця), що перевищує показники якості рівномірності для відомих методів генерування, наприклад, конгруентного методу.

а).



б).

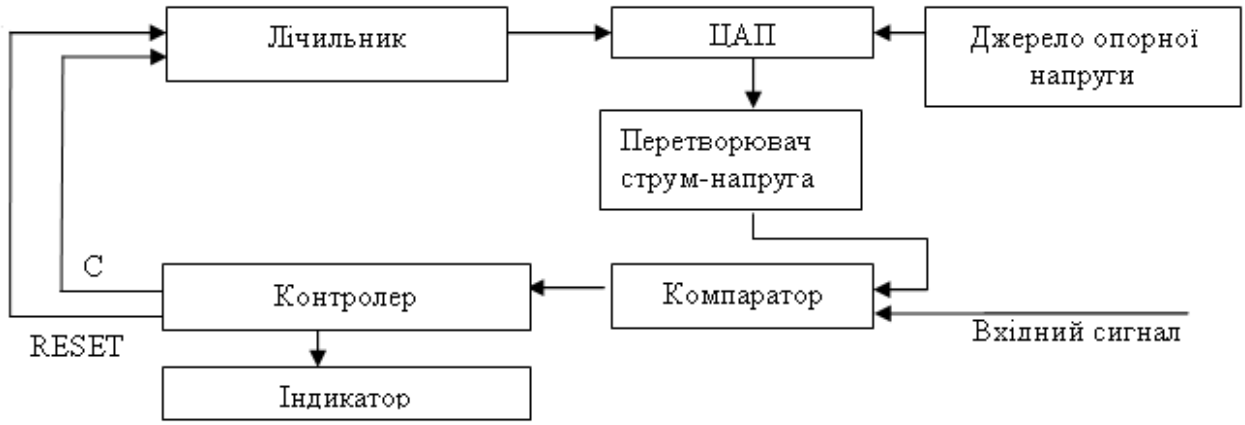


Рис. 1. Блок-схеми АЦП Монте-Карло з генераторами:

а). Галуа на основі циклічних зсувів

б). із дзеркальним взаємним відображенням розрядів двійкового коду

Роздільна здатність АЦП є розрахунковим параметром, а не технічною характеристикою, оскільки вона не враховує якості псевдовипадкового розкладу, тому в повній мірі не визначає точність та лінійність перетворення. 12-розрядний АЦП має роздільну здатність 1/4096, або 0,0245% значення повної шкали. Для розроблених 12-розрядних АЦП при максимальній вхідній напрузі U_{max}=10,24В похибка квантування становить Δ=10.24/(212-1)=2.5мВ.

Похибка перетворення вміщує статичні та динамічні складові. Статична складова включає в себе методичну похибку квантування та інструментальну похибку елементів перетворення. Статичну похибку АЦ перетворення визначають наступні п'ять складових: адитивна та мультиплікативна похибки, інтегральна нелінійність, диференціальна нелінійність і похибка квантування.

Незалежно від способу побудови АЦ перетворювачів їм характерна методична похибка, що обумовлена похибкою квантування. Похибка квантування становить ±1/2 молодшого розряду, де молодший розряд – приріст вхідної напруги, при якій змінюється значення молодшого розряду вихідного коду. Для розроблених АЦ перетворювачів Δx=±0.5*10.24/(212-1)=±0.5*2.5мВ, $\delta_{кв}$=0.5*100%/(212-1)=0.0122%.

При послідовному зростанню значення вхідного аналогового сигналу $U_{вх}(t)$ від нуля до величини, що відповідає повній шкалі АЦ перетворювача вихідний цифровий сигнал утворює ступінчату кусково-постійну залежність. При відсутності апаратних похибок середні точки сходинок розміщені на ідеальній прямій, якій відповідає ідеальна передатна характеристика. Реальна передатна характеристика може істотно відрізнятись від ідеальної розмірами і формою сходинок, а також розміщенням на площині координат.

Абсолютна похибка визначається як максимальне відхилення від ідеальної прямолінійної реальної передатної характеристики. Мінімальна абсолютна похибка дорівнює похибці квантування 1/2 молодшого розряду.

Можна виділити наступні параметри АЦ перетворювача, що визначають його динамічну точність: максимальна частота дискретизації та час перетворення.

Для АЦ перетворювача Монте-Карло частота перетворення визначається динамічними характеристиками ЦА перетворювача і компаратора. Час перетворення є постійною величиною та дорівнює $t_{пр} = 2^n T$, де n – розрядність АЦ перетворювача, T – період слідування тактових імпульсів, що відповідає часу формування одного кванта.

Особливістю інтегруючих АЦ перетворювачів, до яких відноситься зазначений АЦ перетворювач, є їх висока стійкість до періодичних завад, наприклад до завад, що створюються мережею змінного струму 50 Гц. Якщо вибрати час інтегрування більшим, або рівним періоду завади (T=1/50=20мс), то синусоїдне значення завади проінтегрується і усередниться до нуля.

Висновки

При використанні методу Монте-Карло вхідний сигнал інтегрується на визначеному інтервалі часу, що дозволяє подавити заваду на фазі перетворення. Високі показники лінійності, стійкість до завад, метод перетворення, що не потребує застосування пристроїв вибірки і зберігання, вказують на переваги розробки методу АЦ перетворення Монте-Карло та перспективу його використання в інформаційно-вимірювальних системах.

Література References

[1] Кондалев А.И. и др. Высокопроизводительные преобразователи формы информации. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 280.

[2] Гитис Э.И. "Преобразователи информации для электронных цифровых измерительных устройств" – М.:"Энергия", 1970, – С. 400.

[3] Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Под ред. Г.Д. Бахтиарова. Аналого-цифровые преобразователи.– Издательство М.: Сов. радио, 1980. – С. 277.

[4] Интегральные микросхемы: Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа Вып. 1. — М.: ДОДЭКА, 1996.

[5] Соболь И.М. Метод Монте-Карло. – М.: Наука, 1985 г.

[6] Соболь И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973 г.

[7] Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1988 г.

[8] Иванов М.А. И.В. Чугунков Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. –М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003 г.

[9] Бусленко Н.П. Метод статистических испытаний. Под ред. Ю.А. Шрейдера. – М.: СМБ, 1962 г.

[10] Петришин Л.Б., Лаврів М.В. Патент №86941 на винахід "Спосіб генерування псевдовипадкових чисел та пристрій для його здійснення".

[11] Петришин Л.Б., Лаврів М.В. Повідомлення про завершення формальної експертизи за заявкою а 2006 05878 29.05.2006 р. на винахід "Спосіб генерування псевдовипадкових чисел та пристрій для його здійснення".

[12] Лаврів М.В. Аналіз ефективності та застосування методу аналого-цифрового перетворення Монте-Карло // Тези доповідей першої Міжнародної науково-практичної конференції "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації" – Вінниця: ВНТУ, 2007. - С. 123-124.

Модифікація Циклічних Кодів на Основі Автоматних Моделей

Василь Семеренко, Олександр Войналович
кафедра обчислювальної техніки,
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
vpsemerenko@ukr.net

Modification of Cyclic Codes Based on Automaton Models

Vasyl Semerenko, Oleksandr Voinalovich
Department of Computer Technique
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine,
vpsemerenko@ukr.net

***Анотація*—Розглянуто методи модифікації циклічних кодів на основі теорії скінчених автоматів в двійкових полях Галуа. Показано, що операції звуження та поповнення коду реалізуються відповідно множенням та діленням на заданий поліном. При звуженні коду також збільшується коректувальна здатність модифікованого коду, а при поповненні коду ця здатність зменшується.**

***Abstract*—Methods for modifying cyclic codes based on the theory of finite automaton in Galois binary fields are considered. It is shown that the operations of code narrowing and code replenishment are realized by multiplication and division by a given polynomial. When the code are narrowed, the correction capability of the modified code also increases, and when the code are replenished, this ability decreases.**

Ключові слова—циклічні коди; модифікація кодів; лінійний автомат; коректувальна здатність

Keywords*—cyclic codes; *modification of codes; linear automaton; error-correction capability

I. Вступ

Для реалізації в конкретних системах передачі даних завадостійких (n,k)-кодів часто виникає потреба в узгодженні параметрів n і k з наперед заданими форматами даних. Іноді, внаслідок змін характеристик фізичних каналів зв'язку, бажано здійснити в реальному часі корекцію зазначених параметрів коду [1]. Це особливо актуально в безпровідному та мобільному зв'язку.

Для розв'язання таких задач використовуються різні операції модифікації кодів.

Найчастіше розглядається клас лінійних кодів і відповідні їм способи задання цих кодів: перевіряльна H або породжувальна G матриці. Для цих матриць можна задати шість базових модифікацій лінійних кодів [2, 3].

Але на практиці найчастіше використовуються циклічні коди і для цього підкласу лінійних кодів важливо дослідити особливості їх модифікацій.

II. Інтерпретація модифікації циклічних кодів на основі автоматних моделей

Розглянемо детально задачі, в яких при збереженні довжини n коду розмірність коду може або зменшуватись на k розрядів ($k-h$), або збільшуватись на k розрядів ($k+h$). Першу задачу називають звуженням коду, а другу задачу – поповненням коду. Ці задачі можуть мати різну математичну інтерпретацію при використанні різних способів задання циклічних кодів (породжувального поліному, матриці H). Однак ці інтерпретації не показують залежність між параметрами коду і його коректувальною здатністю.

Більш детальну картину зміни коректувальної здатності модифікованого коду при його звуженні або поповненні можна отримати за допомогою теорії лінійних послідовнісних схем (ЛПС) [4]. ЛПС – це скінчений автомат в двійкових полях Галуа, який описується функцією переходів

$$S(t+1)=A\times S(t)+B\times U(t),\quad GF(2)$$

і функцією виходів

$$Y(t)=C\times S(t)+D\times U(t),\quad GF(2),$$

де A, B, C, D – характеристичні матриці ЛПС; $S(t)$ – слово стану; $U(t)$ – вхідне слово; $Y(t)$ – вихідне слово.

Зручнішим для аналізу є автоматно-графова модель циклічних кодів. Така автоматна модель в двійкових полях Галуа представляє собою граф G_{FA}, в якому в кожну вершину входять і виходять по одній нульовій дузі (відповідають розряду "0" кодового слова) та по одній

одиничній дузі (відповідають розряду “1” кодового слова). Вершини графа G_{FA} утворюють за допомогою нульових дуг нульові цикли (НЦ), які розташовуються на окремих рівнях (першому, другому, третьому, …).

Як було показано в [5], саме структура графа G_{FA} циклічного коду визначає коректувальну здатність цього коду: кількість рівнів та кількість НЦ на них визначають кількість випадкових помилок, які можуть бути виправлені. В свою чергу структура графа G_{FA} залежить від типу породжувального поліному циклічного коду. Наприклад, граф G_{FA} найпростішого коду (циклічного коду Хемінга) з примітивним породжувальним поліномом $g(x)$ має лише один рівень і містить на ньому один НЦ з ($n-1$) вершинами. Відповідно, такий код Хемінга може виправити лише одну випадкову помилку. Циклічні коди з непримітивними породжувальними поліномами формують граф G_{FA} складнішої структури, що збільшує коректувальну здатність коду.

Що ж відбувається при модифікації циклічних кодів, зокрема, при звуженні циклічного (n,k)-коду? Ця операція має різні інтерпретації.

Якщо початковий породжувальний поліном $g(x)$ (n,k)-коду помножити на інший поліном $p(x)$

$$g_m(x) = g(x)\,p(x), \qquad (1)$$

тоді у модифікованому коді зросте кількість перевіряльних розрядів r та відповідно зменшиться кількість інформаційних розрядів k . Зростання кількості розрядів r надає модифікованому коду потенційну можливість збільшити свою коректувальну здатність. Чим більше складових частин має породжувальний поліном, тим більшу коректувальну здатність має код – на цій властивості базуються всі коди БЧХ. Побачити цю можливість можна також з позицій автоматного представлення циклічних кодів. Будь-яке множення поліномів призводить до збільшення кількості НЦ та їх рівнів у графі G_{FA}.

Наприклад, якщо в (1) міститься породжувальний поліном (63,57)-коду Хемінга

$$g(x)=(1+x+x^6), \qquad (2)$$

тоді граф G_{FA} модифікованого (63,56)-коду (коду Абрамсона) з поліномом

$$g(x)=(1+x)(1+x+x^6)$$

матиме два НЦ довжини 63, що дозволить йому виправляти поодинокі і подвійні суміжні пакети помилок. Мінімальна кодова відстань модифікованого коду зросте від 3 до 4.

Варто відмітити, що саме автоматно-графова структура модифікованого циклічного коду, а не мінімальна кодова відстань, найкраще показує зміну коректувальної здатності коду.

Якщо в (1) міститься породжувальний поліном (2), (63,57)-коду Хемінга, тоді граф G_{FA} модифікованого (63,55)-коду (коду Міласа-Абрамсона) з поліномом

$$g(x)=(1+x+x^2)(1+x+x^6)$$

матиме 4 НЦ довжини 63, що дозволить йому виправляти поодинокі, подвійні та потрійні суміжні пакети помилок.

Загальне правило підвищення коректувальної здатності циклічного коду таке: (n,k)-код здатний виправити m класів помилок, якщо для нього в графі G_{FA} є не менше, ніж m НЦ довжини n .

Операція поповнення коду є протилежною операції звуження коду: породжувальний поліном $g_m(x)$ модифікованого коду можна отримати в результаті ділення породжувального поліному $g(x)$ початкового коду на деякий поліном $p(x)$. В результаті поповнення коду його коректувальна здатність зменшується.

III. Висновки

Розглянуті методи модифікації двійкових циклічних кодів дозволяють збільшувати або зменшувати коректувальну здатність кодів при збереженні існуючих форматів даних. Це полегшує впровадження запропонованих методів в різноманітних системах передавання даних, зокрема, в системах з використанням кодів CRC [6].

Дуже цікаві і перспективні різні модифікації кодів Ріда-Соломона [7].

Література References

[1] Г. О. Мелентьев, Теоретические аспекты передачи данных по каналам с группирующимися ошибками. М. : Горячая линия-Телеком, 2007. 232 с.

[2] George C. Clark, Jr. and J. Bibb Cain. Error-Correction for Digital Communications. Plenum Press. New York and London. 1981. 435 p.

[3] R. H. Morelos-Zaragosa, The Art of Error Correcting Coding. – Jon Wiley & Sons. 2002. 278 p.

[4] А. Гилл, Линейные последовательностные машины. М.: Наука, 1974, с. 288.

[5] V. P. Semerenko, “Estimation of the correcting capability of cyclic codes based on their automation models,” in *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, issue 9 (74), 2015, pp. 16–24.

[6] V. P. Semerenko, “The Theory of Parallel CRC Codes Based on Automaton Models,” in *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, issue 9 (84), 2016, pp. 45–55.

[7] Р. Блейхут, Теория и практика кодов, исправляющих ошибки. М. : Мир, 1986. 576 с.

Особливості Підготовки Спеціалістів з Медіадизайну

Олена Смалько
кафедра інформатики
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Кам'янець-Подільський, Україна
smalko.olena@kpnu.edu.ua

Features of Training Media Design Specialists

Olena Smalko
dept. of Computer Science
Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National University
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
smalko.olena@kpnu.edu.ua

***Анотація*—у статті йдеться мова про особливості підготовки фахівців, що можуть працювати в сфері медіадизайну в якості дизайнерів-верстальників, розробників інформаційного контенту, мультимедійних презентацій, цифрових історій, рекламних публікацій тощо. Автор звертає увагу на важливості формування у майбутніх медіадизайнерів знань про психологічні особливості зорового сприйняття та візуального інтелекту людей, а також про основи розумового моделювання, що допомагатимуть їм передбачати негативні й позитивні наслідки сприйняття цільовою аудиторією пропонованого мультимедійного контенту та запобігатиме інформаційному перевантаженню.**

***Abstract*—the article is devoted to the description of the features of training specialists who can work in media design as layout designers, developers of information content, multimedia presentations, digital stories, advertising publications, and the like. The author draws attention to the importance of the formation for future media designers of knowledge about the psychological characteristics of visual perception and visual intelligence of people, as well as about the basics of mental modeling, which will help them envisage the negative and positive consequences of the target audience's perception of the proposed multimedia content and prevent information overload.**

Ключові слова—медійний дизайн; інформаційний дизайн; фахівці з медіадизайну; підготовка медіадизайнерів.

Keywords— media design; information design; media design specialists; training of media designers.

I. Вступ

Динамічний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій і засобів розробки програмного забезпечення привів до значного урізноманітнення сучасного медіапростору, вдосконалення форм і прийомів представлення інформації. Усі належні передумови формування нового, підтримуваного комп'ютерними системами медіаполя склалися в останні роки 1980-х років, а ближче до кінця 1990-х із збільшенням швидкості передавання даних мережами в провідних країнах світу вже взялися за розвиток нових медіатехнологій та почали з активізації діяльності по підготовці спеціалістів з дизайну нових засобів масової інформації.

Спираючись на якісну підготовку фахівців нової медіагалузі, можна домогтися її швидкого розквіту та захоплення широкого загалу витворами медіамистецтва. Саме тому слід ґрунтовно займатись навчанням здобувачів освіти відповідних спеціальностей та підвищенням кваліфікації вже працюючих митців, збагачуючи їх новітніми знаннями й формуючи у них потрібні їм компетентності.

II. Медіадизайн і психологія

Сучасні форми відображення інформації спричинили розвиток революційних психологічних теорій, втілення в дизайнерську практику яких у свою чергу привело до формування новітніх підходів у комп'ютерній мистецькій діяльності. Зокрема, з'явились і швидко завойовують своїх прихильників численні новітні засоби масової інформації.

Нові медіа – це сучасні форми комунікації виробників контенту з його споживачами, що базуються на використанні цифрових технологій та різноманітних комп'ютерних платформ як для їх створення, так і для поширення. Це поєднання вже існуючих культурних традицій представлення даних, способів доступу до них і маніпулювання ними, а також нових цифрових форматів подання інформації та прогресивних прийомів її опрацювання [1].

Піонерами інформаційної візуалізації, що заклали теоретичні основи інформаційного дизайну, вважають

Жака Бертена, Майкла Френдлі та Едварда Тафті [2]. Більш докладно сферу сучасного інформаційного дизайну наразі досліджує, зокрема, Діно Карабег [3-4] з колегами. Він, наприклад, розвиваючи ідеї Ернста фон Глазерсфельда, Стівена Тулміна, Ніла Постмана, Ричарда Сола Вурмена та інших вчених, розробив методологію поліскопічного моделювання, яка може служити прототипом планування інформаційного матеріалу [5-6] в різнопланових виданнях, у тому числі в Web. Поліскопічне структурування інформації в дизайні передбачає використання ефективних візуальних елементів, шаблонів, ідеограм, невеликих керованих модулів, які в своїй сукупності покликані формувати у користувача цілісне, узгоджене бачення та запобігати перевантаженню інформацією [7-8].

В медійному дизайні дуже важливу роль відіграють психологічні особливості зорової перцепції людини. Саме тому дуже помічними для медіадизайнерів є випробувані часом наукові праці когнітивних психологів, які ґрунтовно вивчають зорове сприйняття та візуальний інтелект людей [9], а також результати інших сучасних досліджень того, як комп'ютерні користувачі сприймають, розпізнають, інтерпретують і когнітивно опрацьовують пропоновану їм інформацію [10].

Корисним буде й вивчення основ розумового моделювання [11], що допомагатиме медіадизайнеру в подальшій його роботі передбачати негативні та позитивні наслідки сприйняття людьми пропонованого ним мультимедійного контенту, оцінювати ймовірні емоції та різноманіття критичних думок.

III. Цифрові навички медіадизайнерів

Щоб успішно працювати в цифрових і мережевих медіа, крім знань про організаційні, правові та етичні засади роботи з мультимедійним контентом, необхідно розуміти й уміти застосовувати в роботі основні положення графічного, типографського та мультимедіа дизайну, бути спроможним працювати в усіляких програмних і вебзастосунках, призначених для роботи з растровою та векторною графікою, відео, анімацією, звуком, а також мати розвинену художньо-естетичну компетентність.

Здійснюючи підготовку фахівців відповідного профілю, потрібно навчати їх створювати ефективні й надихаючі презентації різних новітніх форматів, привабливі цифрові історії та лонгріди, вражаючі глядача відеоролики та приголомшливі рекламні публікації. Формування корисних навичок слід доповнювати роз'ясненнями теоретичних основ розробки подібних проєктів [12-13]. І при цьому обов'язково ознайомлювати здобувачів освіти з усім різноманіттям сучасного програмного інструментарію для комп'ютерної верстки.

Висновки

Сфера медійного дизайну надзвичайно цікава та захоплива в наш час, а кваліфіковані спеціалісти, здатні її розвивати й збагачувати, вельми цінуються. З плином часу та розвитком інформаційних технологій постійно вдосконалюються форми, методи й засоби опрацювання інформації, зростає функціональність та зручність людино-машинних інтерфейсів і одночасно зростає попит на якісний інформаційний контент, а отже й на розробників, здатних такий створювати.

Підготовка фахівців з медіадизайну є актуальною задачею сьогодення. Але дуже важливо не лише грамотно формувати у них всі необхідні навички по створенню та опрацюванню мультимедійного контенту, а й розвивати креативність і витонченість під час виконання професійних завдань, вдосконалювати естетичні й художні смаки, а також неодмінно у своїй роботі керуватися корисними психологічними порадами щодо створення ефективної інформаційної візуалізації та дбайливого ставлення до її споживача.

Література References

[1] L. Manovich, "New Media from Borges to HTML," in *The new media reader*, vol. 1(2), edited by Noah Wardrip-Fruin and Nick Montfort, The MIT Press, 2003, pp. 13-25 [Online]. Available: http://manovich.net/content/04-projects/033-new-media-from-borges-to-html/30_article_2001.pdf

[2] Interaction Design Foundation. (2017). "*Information Visualization – A Brief 20th and 21st Century History*" [Online]. Available: https://www.interaction-design.org/literature/article/information-visualization-a-brief-20th-and-21st-century-history

[3] D. Karabeg, "Designing Information Design," *Information Design Journal*, vol. 11(1), pp. 82-90, Jan., 2002.

[4] D. Karabeg, "Information design – informing for the 21st century," Keynote speech, in Proc. *IPSI-2004 Conference*, Stockholm, Sweden, Sept., 2004.

[5] D. Karabeg, "Design is the Alternative to Tradition," in Proc. *European Academy of Design Conference, EAD06*, Bremen, Germany, March, 2005.

[6] D. Karabeg, "Information design – a new paradigm in creation and use of information," in Proc. *IPSI-2003 VIP Scientific Forum*, Sveti Stefan, Monte Negro, Oct., 2003.

[7] A. Karabeg, D. Karabeg, "Polyscopy – a New Paradigm in Design for the Web," in Proc. *IEEE Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05)*, London, UK, vol. 1, pp. 730-736, July, 2005.

[8] D. Karabeg, "Ideograms in Polyscopic Modeling," in Proc. *IEEE InfoVision 2000 Conference*, London, UK, July, 2000.

[9] D. D. Hoffman, *Visual Intelligence: How We Create What We See*. New York: W. W. Norton&Company, 2000.

[10] A. Karabeg, M. N. Akkøk, "Towards Language for Talking about Visual and Spatial Reasoning," in Proc. *Eighth International Conference on Information Visualisation*, London, UK, July, 2004.

[11] J. E. Escalas, "Imagine Yourself in the Product: Mental Stimulation, Narrative Transportation, and Persuasion," *Journal of Advertising*, vol. 33(2), pp. 37-48, 2004.

[12] N. Duarte, *DataStory: Explain Data and Inspire Action Through Story*. USA: Ideapress Publishing, 2019.

[13] G. Reynolds, *Presentation Zen: Simple Ideas on Presentation Design and Delivery. (Voices That Matter)*, 2nd Edition, Berkeley: New Riders, 2012.

Доменне Тестування як Техніка Тест-Дизайну

Антон Бровді
кафедра кібернетики і прикладної математики
Ужгородський національний університет
Ужгород, Україна
anton.brovdi@gmail.com

Іван Половко
кафедра кібернетики і прикладної математики
Ужгородський національний університет
Ужгород, Україна
polovko99v@gmail.com

Маріанна Шаркаді
кафедра кібернетики і прикладної математики
Ужгородський національний університет
Ужгород, Україна
ORCID: 0000-0002-1850-996X
marianna.sharkadi@uzhnu.edu.ua

Domain Testing as a Test Design Technique

Anton Brovdi
dept. of Cybernetics and Applied Mathematics
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
anton.brovdi@gmail.com

Ivan Polovko
dept. of Cybernetics and Applied Mathematics
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
polovko99v@gmail.com

Marianna Sharkadi
dept. of Cybernetics and Applied Mathematics
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
ORCID: 0000-0002-1850-996X
marianna.sharkadi@uzhnu.edu.ua

***Анотація*—Доменне тестування (domain testing, domain analysis) - техніка створення ефективних і результативних тест-кейсів (тестових випадків) в разі, коли кілька змінних можуть або повинні бути протестовані одночасно.**

***Abstract*— Domain testing (domain testing, domain analysis) - a technique for creating effective and efficient test cases in the case where several changes can be tested simultaneously.**

Ключові слова— тестування, техніки тест-дизайну, доменне тестування

Keywords—testing, test design techniques, domain testing.

I. Вступ

Доменне тестування (domain testing) - це вид тестування, спрямований на аналіз значень та взаємозв'язку елементів. Доменний аналіз в тестуванні також відомий як:

- Тестування поділом (partitioning testing);
- Аналіз еквівалентності (equivalence analysis);
- Аналіз граничних значень (boundary analysis).

У доменному тестуванні вхідні дані вважаються еквівалентними, якщо програма проходить один і той же шлях виконання для їх обробки.

Клас еквівалентності (equivalence class) - це набір тестів, повне виконання яких є надмірним і не призводить до виявлення нових дефектів. Іншими словами, якщо ми очікуємо однакового результату від виконання двох і більше тестів, ці тести еквівалентні. Такі множини тестів називаються класами еквівалентності.

Доменне тестування (domain testing, domain analysis) - техніка створення ефективних і результативних тест-кейсів (тестових випадків) в разі, коли кілька змінних можуть або повинні бути протестовані одночасно.[1]

II. Основна частина

Доменне тестування: ознаки еквівалентності.

Ідея цього методу полягає в тому, щоб розділити набір умов тестування на, які можна вважати однаковими (тобто система повинна обробляти їх однаково), таким чином, ознаками еквівалентності можна вважати (кілька тестів еквівалентні, якщо):

- вони спрямовані на пошук однієї і тієї ж помилки;
- якщо один з тестів виявляє помилку, інші її теж, швидше за все, можуть виявити;
- якщо один з тестів НЕ виявляє помилку, інші її теж, швидше за все, НЕ можуть виявити;
- тести використовують схожі набори вхідних даних;
- для виконання тестів ми здійснюємо одні і ті ж операції;
- тести генерують однакові вихідні дані або призводять додаток в один і той же стан.

Основна мета доменного тестування - це надати стратегію по вибору мінімального набору показових тестів. Звичайно, повинен залишитися не один тест, але мінімум, при саме показові тести.

Domain testing: підхід до досягнення мети

Якщо окреслити підхід до досягнення мети доменного тестування, то можна виділити наступні кроки:

- визначити набір функцій;
- визначити змінні;
- розділити простір значень на групи;
- вибрати значення, що представляють кожну групу;
- особливу увагу звернути на граничні значення груп;
- сформувати кінцевий набір «найбільш показових» значень і провести тести з їх використанням.[2]

Потрібно визнати, що доменне тестування має як переваги так і недоліки, тому давайте їх перерахуємо.

Плюси:

- Виявлення помилок при мінімальній кількості тестів.
- Інтуїтивно зрозумілий, універсальний підхід.

Мінуси:

- Низька вірогідність виявлення помилок НЕ на граничних умовах.
- Низька вірогідність виявлення помилок в складних взаємодіях.
- Простір значень часто буває складно формалізувати.[3]

III. Висновки

Аналіз граничних значень - один з найбільш популярних різновидів доменного тестування, тому наведемо приклад. Основною метою доменного аналізу є перевірка, чи приймає система вхідні дані в допустимих межах і видає необхідні вихідні дані. Крім того, він перевіряє, що система не повинна приймати вхідні дані, умови і індекси за межами зазначеного або дійсного діапазону.

Наприклад існує поле пароля, яке може містити не менше 6 і не більше 10 символів. Це означає, що результати для значень в множинах 0-5, 6-10, 11 і більше символів повинні бути еквівалентні.

ТАБЛИЦЯ 1. ТЕСТОВІ ВИПАДКИ

Тестовий випадок	**Опис сценарію тесту**	**Очікуваний результат**
1	Введіть від 0 до 5 символів у поле паролю	Система не повинна приймати
2	Введіть від 6 до 10 символів у поле паролю	Система повинна приймати
3	Введіть від 11 і більше символів у поле паролю	Система не повинна приймати

Таким чином, нам немає необхідності перевіряти всі можливі значення, тому що, якщо це буде зроблено, число тестів збільшиться. Щоб вирішити цю проблему, використовується техніка еквівалентного поділу, де тестуються можливі значення з кожної групи, як показано вище, де поведінку системи можна вважати однаковою.

Такий поділ і є класами еквівалентності. Потім обирається тільки одне значення з кожного класу для тестування. Техніка тест-дизайну, що лежить в основі цього методу, полягає в тому, що якщо одна умова / значення в класі проходить, всі інші також будуть проходити. Аналогічно, якщо одна умова в класі не виконується, всі інші умови в цьому класі не будуть виконані.[4]

Аналіз граничних значень - це техніка тест-дизайну, згідно якої тести розроблено таким чином, щоб включати представників граничних значень в класах еквівалентності.[2] У нашому прикладі, замість перевірки одного значення для кожного розділу будемо перевіряти крайові значення в таких розділах, як 0-5, 6-10, 11 і більше. Значення будуть перевірятися як на допустимих, так і на недопустимих межах.

Поділ еквівалентності і аналіз граничних значень тісно пов'язані між собою і можуть використовуватися разом на всіх рівнях тестування.

Література (References)

[1] S. Kulikov, Software testing. Basic course, Minsk, 2017

[2] R. Savin, Testing DOT COM or Handbook of Bugs Abuse in Internet Startups, 2007

[3] S. Kaner, J. Folk, E. K. Nguyen, Software Testing, 2001.

[4] S. Sinitsyn, N. Nalyutin, Software Verification, M: MIFI, 2006.

СЕКЦІЯ 3.
Системний аналіз

SECTION 3.
System analysis

Information System for Analysis of Solar Activity Data

Danylo Ivantyshyn
Department of Information Systems and Networks
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
danylo.ivantyshyn@gmail.com

Інформаційна Система Аналізу Даних Сонячної Активності

Данило Івантишин
кафедра інформаційних систем та мереж
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
danylo.ivantyshyn@gmail.com

***Анотація*—В роботі представлено інформаційну систему аналізу сонячної активності, яка забезпечує зберігання, упорядкування та обробку даних проявів сонячної активності та геофізичних збурень для вивчення взаємозв'язків геліо- та геофізичних явищ.**

***Abstract*—Presented the information system for analysis of solar activity, which provides storage, arrangement and processing of datasets manifestations of solar activity and geophysical disturbances to study helio- and geophysical phenomena relations.**

Ключові слова—інформаційна система; сонячна активність; сонячно-земні зв'язки; база даних.

Keywords— information system; solar activity; solar-terrestrial connections; database.

I. INTRODUCTION

As per today one of the important areas of solar-terrestrial physics is the study of the geoeffective manifestations of solar activity [1-3]. The key issue in such studies are the connections between events occurring on the Sun, their impact on the parameters of the solar wind, magnetosphere, ionosphere and near-Earth space.

Despite the fact, in general the pattern of the solar-terrestrial connections seems quite clear, far from all the links in the chain of these connections are equally studied. To solve these problems, researchers are faced with the processing of large amounts of data on the manifestations of solar activity and geophysical disturbances.

Solar activity and related processes in near-Earth space are displayed in the form of certain cyclical changes, which are superimposed on powerful and difficult to predict sporadic disturbances.

Despite the almost constant radiation of the Sun in visible light, there is a variable component in its impact on the Earth, which causes significant changes in geophysical conditions in near-Earth space and on Earth itself. During bursts of activity in the corona of the Sun, intense fluxes of X-rays and energy-charged particles are generated, also known as solar cosmic rays along with huge masses of plasma and magnetic fields are emitted into interplanetary space.

Studies of the Sun and solar-terrestrial connections are conducted by a significant number of both terrestrial and space-based means of observation. Up to date, data on indices of solar activity, indices of geophysical perturbations, information on galactic cosmic rays come from different sources and are stored in different formats, which complicates working with such data.

The goal of the work is to create an information system for analysis of indices of solar activity and geophysical disturbances to study helio- and geophysical phenomena relations.

II. FUNCTIONAL MODEL OF THE SYSTEM

The functional information system model was designed using the methodology of DFD (data flow diagrams), including

model of contextual and decomposition diagrams. External entities of the system are "Solar- and geophysical data" and the “User” of the system, which is able to select the data indices of solar activity and geophysical disturbances and get information about them.

On the first level DFD showed the functions entrusted to the information system and data repository (Fig. 1).

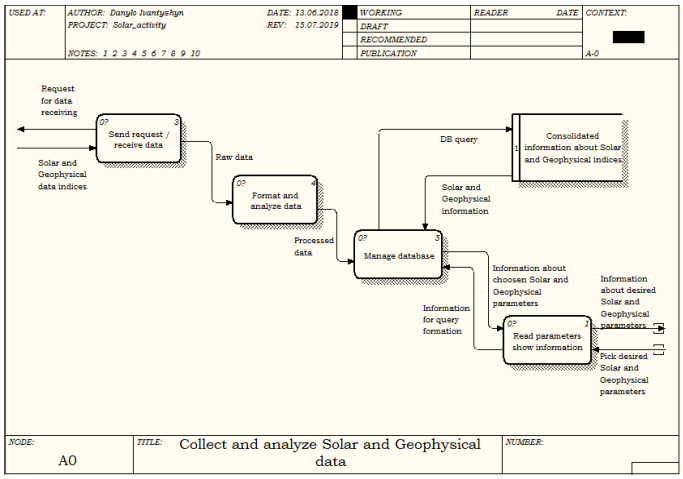


Рис. 1. The first level data flow diagram of the "accounting and analysis of solar activity" information system.

The information system provides listed functionality:

- send request and receive data from a server,
- formatting and data analysis,
- database management,
- obtaining information on the indices of solar activity and geophysical disturbances.

III. Conceptual Model Database

A system analysis of the subject area allowed us to build a conceptual model of an information system database using ER-modeling. The first stage of construction of ER diagrams is selection of the entities. ER diagram of subject area represent plurality of entities, attributes and relationships. ER diagram of the described information system shown in Fig. 2.

In this diagram separately outlined (red) three tables - they characterize indicators of near-Earth space:

- Earth's magnetic field - depends on interplanetary magnetic field and solar wind parameters,
- atmospheric electric field (AE) - depends on interplanetary magnetic field, coronal mass ejection and parameters of the solar wind,
- atmospheric infrasound (AI) - depends on interplanetary magnetic field, coronal mass ejection and parameters of the solar wind.

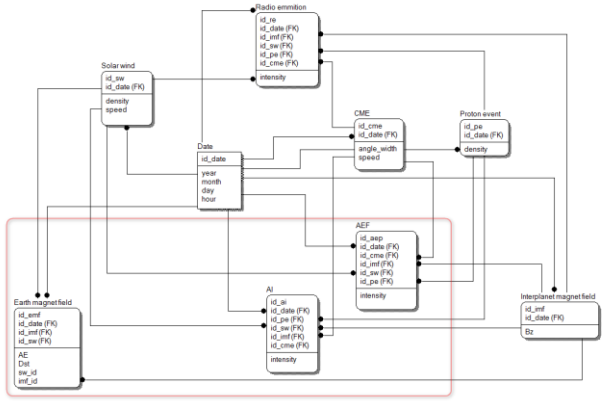


Рис. 2. ERD data model information system.

As shown on the scheme – all entities have a common dependence on the table Date by which you can query data by date and time. Also easily to notice that all entities of nature are not characterize the state of near-Earth space contain a common dependence on the entity of Radio emission. Since all these parameters are indicators of solar emission, though in our system, we consider them as separate parameters influence the Earth's atmosphere.

IV. Information System Development Technologies

Structurally, the information system for analysis solar activity data consists of a database and two interrelated parts: Spring MVC / AngularJs. The frontend is based on Angular and Lodash while backend consists of JSON REST web services based on Spring MVC / JPA.

V. Conclusions

In order to conduct research on the problems of solar-terrestrial physics are used large arrays of observed data (indices of solar activity, indices of geophysical perturbations, information about galactic cosmic rays, geomagnetic data, etc.) coming from different sources and stored in different formats which make such data difficult to maintain and process. Therefore, creation and implementation of information system for analysis of solar activity carry out practical significance and is supposed to solve a topical problem.

A functional model of the information system with the use of DFD methodology has been developed, which made it possible to determine its main functions.

Designed conceptual model of the database of the information system, reflecting the main entities and the relationship between them.

References

[1] N. Gopalswamy. Solar connections of geoeffective magnetic structures //Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. Vol. 70, Issue 17, 2008, pp. 2078-2100.

[2] R.P. Kane. Strong solar flares, weak geo-effectiveness. Indian Journal of Radio & Space Physics. Vol 41, 2012, pp. 575-578.

C. Scolini, M. Messerotti, S. Poedts, L. Rodriguez. Halo coronal mass ejections during Solar Cycle 24: reconstruction of the global scenario and geoeffectiveness. / J. Space Weather Space Clim. Vol. 8, 2018.

Моделювання Процесу Експертного Оцінювання Альтернатив Рішень Методом Парних Порівнянь

Надія Недашківська
кафедра математичних методів системного аналізу
Інститут прикладного системного аналізу НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
n.nedashkivska@gmail.com

Modeling the Process of Expert Assessment of Decision Alternatives Using Pairwise Comparison Method

Nadezhda Nedashkovskaya
dept. of Mathematical Methods of System Analysis
Institute for Applied System Analysis of NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
n.nedashkivska@gmail.com

***Анотація*—Розвинуто методику моделювання процесу експертного оцінювання парних порівнянь альтернатив рішень. З використанням розробленої методики отримано чисельні оцінки ефективності різних методів оцінювання і підвищення узгодженості матриць парних порівнянь – складових методології підтримки прийняття рішень на основі ієрархічних та мережевих моделей критеріїв**.

***Abstract*—A technique for modeling the process of expert evaluation of pairwise comparisons of decision alternatives has been improved. Using the developed technique, numerical assessments of the effectiveness of various methods for estimating and increasing the consistency level of pairwise comparison matrices have been obtained. These methods are components of the decision support methodology based on hierarchical and network models of criteria**.

Ключові слова—неузгодженість; парні порівняння; система підтримки прийняття рішень; аналіз ієрархій та мереж

Keywords—inconsistency; pairwise comparison matrix; decision support system; analytic hierarchy and network processes

I. Вступ

Методи підтримки прийняття рішень на основі ієрархічних та мережевих моделей [1–13] використовуються для розв'язання слабо структурованих і неструктурованих задач вибору альтернатив рішень, оцінювання альтернатив на основі множини критеріїв та цілей, розподілу ресурсів, оцінювання ризиків, сценаріїв розвитку, прогнозування, знаходження суттєвих для прийняття рішень факторів, передбачення, планування та інших [1]. Ці методи застосовуються в промисловості, медицині, політиці, військовій справі, соціальній сфері, економіці, зокрема для оцінювання ефективності функціонування підприємств, оцінювання проектів, планування випуску нової продукції, у фінансах та банківській справі тощо [2]. Один з основних етапів методології підтримки прийняття рішень на основі ієрархічних та мережевих моделей [1] – це експертне оцінювання елементів моделей за процедурою парних порівнянь. За результатами формуються матриці парних порівнянь (МПП), що мають властивості додатності та оберненої симетричності. Дослідження останніх років направлені на розробку методів оцінювання і підвищення узгодженості МПП отриманих від експертів [1–8] та розробку методів розрахунку ваг елементів ієрархій та мереж на основі МПП [10–13].

II. Неузгодженість матриць парних порівнянь та її вплив на результуючі ваги

У методах «лінія» ваги n альтернатив обчислюються на основі мінімально необхідної кількості n–1 експертних оцінок парних порівнянь у шкалі. При використанні «лінії» аксіоматично покладається повна узгодженість знань експерта. Методи «трикутник» для обчислення ваг потребують надлишкової кількості $n(n–1)/2$ оцінок, що в подальшому застосовуються при аналізі узгодженості знань експерта.

Пропоновані засоби оцінювання узгодженості МПП [2 - 6] визначають небажане для багатьох практичних задач порушення порядкової транзитивності МПП та наявність циклу у множині оцінок експертів. Цикл у МПП свідчить про те, що не існує ранжування альтернатив, яке

задовольняє усім елементам МПП. Ця проблема тісно пов'язана з проблемою пошуку вектору ваг на основі експертної емпіричної МПП, який найбільш наближений до невідомого реального вектору ваг.

Емпіричний вектор ваг відображає переваги, визначені експертом на множині порівнюваних альтернатив рішень. Розробляються різні методи розрахунку вказаного вектору [9-13]. Проблема полягає в тому, що різні методи на основі однієї і тієї ж емпіричної МПП можуть призвести не лише до різних векторів ваг, а й до різних ранжувань альтернатив рішень. Під ранжуванням тут розуміється результат впорядкування елементів вектору ваг за спаданням їх важливості. Як наслідок, виникає невизначеність вибору найкращої альтернативи рішень. В задачах розподілу ресурсів та інших задачах підтримки прийняття рішень також можна отримати неоднозначний розв'язок для окремих вхідних МПП. У [4-6] причиною невизначеності ранжувань альтернатив рішень на основі векторів ваг та емпіричних МПП було встановлено присутність циклу та пов'язане з цим порушення транзитивності елементів МПП.

Засоби оцінювання і підвищення узгодженості МПП [2-6] розширюють сферу застосування методів розрахунку ваг на більш широку множину неузгоджених МПП, призводять до більш достовірних розв'язків задач підтримки прийняття рішень на основі ієрархічних та мережевих моделей критеріїв.

III. ОПИС МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ

У роботах [3, 4, 6] розроблено елементи моделювання процесу експертного оцінювання альтернатив рішень методами парних порівнянь. З їх використанням, в [4] отримано оцінки помилок ваг, що знайдені методами парних порівнянь «трикутник» і «лінія». Встановлено, що умова повної узгодженості експертних оцінок парних порівнянь у шкалі може ввести додаткову помилку при побудові МПП і, як наслідок – у результуючі ваги. З використанням моделювання на основі тестових МПП різного рівня неузгодженості, в [3, 6] отримано оцінки ефективності декількох методів [2, 4, 5, 7-9] аналізу узгодженості МПП.

У даній роботі методика моделювання процесу експертного оцінювання парних порівнянь набула подальшого розвитку. Зроблено спробу змоделювати узагальнені МПП різного рівня неузгодженості, які крім традиційних мультиплікативних експертних оцінок парних порівнянь включають також адитивні та нечіткі оцінки. В даній роботі також виявлено нові випадки та множини експертних оцінок парних порівнянь, для яких мають місце суперечливі результати про допустиму неузгодженість при використанні різних відомих показників узгодженості.

Суть методики моделювання в тому, що спочатку генеруються тестові множини допустимо неузгоджених МПП без циклів. На наступному етапі у кожну з матриць вводиться шум і додається цикл (цикли), так що рівень неузгодженості МПП збільшується залежно від рівня введеного шуму. Далі кожна зашумлена МПП подається на вхід різних методів оцінювання і підвищення узгодженості. Відповідно до того чи іншого методу, оцінюється допустимість неузгодженості МПП або шукається найбільш неузгоджений її елемент, здійснюється коригування цієї матриці з метою підвищення рівня її узгодженості. На останньому етапі оцінюється ефективність використаних методів.

Для реалізації пропонованих етапів моделювання процесу експертного оцінювання парних порівнянь альтернатив рішень розроблено програмний комплекс, який використано для отримання оцінок ефективності відомих та пропонованих методів оцінювання та підвищення узгодженості МПП.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Н.І. Недашківська, "Системний підхід до підтримання прийняття рішень на основі ієрархічних та мережевих моделей", Системні дослідження та інформаційні технології, №1, с.7 – 18, 2018.

[2] Н.І. Недашківська, "Методологія та інструментарій підтримки прийняття рішень на основі ієрархічних і мережевих моделей", дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2018.

[3] N.I. Nedashkovskaya, "Investigation of methods for improving consistency of a pairwise comparison matrix", Journal of the Operational Research Society, vol. 69, no.12, pp. 1947 – 1956, 2018.

[4] Н.И. Недашковская, "Принятие решений при согласованных экспертных оценках парных сравнений", Системні дослідження та інформаційні технології", no. 4, с. 35 – 44, 2014.

[5] Н.І. Недашківська, "Метод узгоджених парних порівнянь при оцінюванні альтернатив рішень за якісним критерієм", Системні дослідження та інформаційні технології, no. 4, с. 67 – 79, 2013.

[6] N.D. Pankratova, N.I. Nedashkovskaya, "Methods of evaluation and improvement of consistency of expert pairwise comparison judgements", International Journal «Information Theories and Applications», vol.22, no.3, pp. 203-223, 2015.

[7] S. Siraj, L. Mikhailov, J. Keane, "Contribution of individual judgments toward inconsistency in pairwise comparisons", European Journal of Operational Research, vol. 242, no. 2, pp. 557– 567, 2015.

[8] S. Siraj, L. Mikhailov, J. Keane, "A heuristic method to rectify intransitive judgments in pairwise comparison matrices", European Journal of Operational Research, vol. 216, no. 2, pp. 420–428, 2012.

[9] N. I. Nedashkovskaya, "Method for Evaluation of the Uncertainty of the Paired Comparisons Expert Judgements when Calculating the Decision Alternatives Weights", Journal of Automation and Information Sciences, vol. 47, no. 10, pp. 69 – 82, 2015.

[10] V. Tsyganok, S. Kadenko, O. Andriychuk, P. Roik, "Usage of multicriteria decision-making support arsenal for strategic planning in environmental protection sphere", Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, vol. 24, no. 5-6, pp. 227 – 238, 2017.

[11] V. Tsyganok, S. Kadenko, O. Andriichuk, "Usage of Scales with Different Number of Grades for Pair Comparisons in Decision Support Systems", International Journal of the Analytic Hierarchy Process, vol. 8, no. 1, pp. 112 – 130, 2016.

[12] F. Liu, S.-C. Zou, Q. Li, "Deriving priorities from pairwise comparison matrices with a novel consistency index", Applied Mathematics and Computation, vol.374, 2020.

[13] S. Bozóki, J. Fülöp, "Efficient weight vectors from pairwise comparison matrices", European Journal of Operational Research, vol. 264, no.2, pp. 419 – 427, 2018.

Потокові Підходи до Визначення Спільнот у Складних Мережевих Системах

Олександр Поліщук
Лабораторія моделювання та оптимізації складних систем, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача, Національна академія наук України,
Львів, Україна
od_polishchuk@ukr.net

Flow Approaches to Community Detection in Complex Network Systems

Olexandr Polishchuk
Laboratory of Modeling and Optimization of Complex Systems, Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
od_polishchuk@ukr.net

***Анотація*— Стаття присвячена дослідженню проблеми пошуку спільнот у складних мережевих системах, виявлення яких сприяє кращому розумінню законів їх функціонування. Для вирішення цієї проблеми пропонуються два підходи, які базуються на використанні потокових характеристик складної мережі. Перший із цих підходів полягає в обчисленні параметрів впливу окремих підсистем мережевої системи, сформованих за принципами впорядкування або підпорядкування, а другий – у використанні поняття її потокової серцевини. На підставі пропонованих підходів сформульовані надійні критерії пошуку спільнот та розроблені ефективні алгоритми їх виявлення у складних мережевих системах. Показано, що пропоновані підходи уможливлюють пошук спільнот у випадках, коли не спрацьовують відомі чисельні та візуальні методи.**

***Abstract*— The paper investigates the problem of finding communities in complex network systems, the detection of which allows a better understanding of the laws of their functioning. To solve this problem, two approaches are proposed based on the use of flows characteristics of complex network. The first of these approaches consists in calculating the parameters of influence of separate subsystems of the network system, distinguished by the principles of ordering or subordination, and the second, in using the concept of its flow core. Based on the proposed approaches, reliable criteria for finding communities have been formulated and efficient algorithms for their detection in complex network systems have been developed. It is shown that the proposed approaches make it possible to detect communities in cases in which the existing numerical and visual methods turn out to be disabled.**

Ключові слова*— *складна мережа, мережева система, потік, серцевина, вплив, спільнота

Keywords*— *complex network, network system, flow, core, influence, community

I. INTRODUCTION

One of the important problems that is studied in the theory of complex networks is the search for groups of interconnected nodes (clicks, clusters, communities). Identification of such groups contributes to a better understanding of the principles of organization of complex networks (CN) and the operation processes of relevant systems. In real network systems (NS), the most widespread groups are the so-called communities – subnets, the connections between the nodes of which are more numerous and stronger than between them and other nodes of the CN [1]. Examples of communities in human society are public organizations, political parties, religious denominations, national diasporas, etc., which often play a significant role in the life of their states. Many communities exist in social networks, biological and physical systems [2-4], etc.

Among the first methods for communities detection in complex network are the smallest cut, hierarchical clustering and click-based methods [5]. Algorithms based on the modularity estimation (Newman-Girvan, Blondel, Radicchi [6-8]), the spectral properties of the graph (Donetti-Munoz [9]), the estimation of network entropy (structural and dynamic methods of Rosvall-Bergstrom) and others are now widely used [10]. The main disadvantage of above mentioned algorithms for identifying communities in CN, along with computational complexity and resource consumption [11], is the lack of reliable theoretically sound criterion that defined by any of them a group of nodes actually forms a community [5, 12]. The "unreliability" of above algorithms has made popular the methods of visual search for communities [13, 14], especially in large networks. These methods are based on visual identification of CN's components, in which the density of

connections is definitely higher than the density of connections in the surrounding parts of network. Obviously, the results of such search are quite subjective. The large number of existing methods for communities detection confirms the great interest to this issue and its importance.

II. Integral Flow Adjacency Matrix and Flow Core of Network System

Complex networks are usually described as graphs in the form $G=(V,E)$, where *V* is the set of network nodes and *E* is the set of connections between them. The mathematical model of CN structure is a binary adjacency matrix $\mathbf{A}=\{a_{ij}\}_{i,j=1}^{N}$, where *N* is the number of network nodes. The values a_{ij} of matrix A are equal to 1 if there is connection between nodes n_i and n_j, and equal to 0 if there is no such connection. Determine the integral flow adjacency matrix V(*t*) of the volumes of flows that have passed through the network edges for the period $[t-T,t]$ up to the current time *t*

$$\mathbf{V}(t)=\{V_{ij}(t)\}_{i,j=1}^{N},\ V_{ij}(t)=\frac{\tilde{V}_{ij}(t)}{\max\limits_{m,l=1,N}\{\tilde{V}_{ml}(t)\}},$$

$$\tilde{V}_{ij}(t)=\int_{t-T}^{t}v_{ij}(\tau)d\tau,$$

where $v_{ij}(t)$ is the volume of flow that is on the network edge (n_i,n_j) at the time $t\geq T>0$, $i,j=\overline{1,N}$.

Matrix **V**(*t*), the structure of which is identical to the structure of matrix **A**, is based on empirical data about the movement of flows through the network and gives a sufficiently clear quantitative view about NS operation, allows us to analyze features and predict the behavior of this process, and evaluate its effectiveness and prevent existing or potential threats [15].

Introduce the concept of flow λ-core of the network system [16], as the largest subnet of source network, for which all elements of the integral flow adjacency matrix **V**(*t*) have values

$$V_{ij}(t)\geq\lambda,\ i,j=\overline{1,N},\ t\geq T,\lambda\in[0,1].$$

Among other things, the flow λ-core of the NS allows us to determine in its structure the most important from a functional point of view components [16].

III. Communities Detection Based on System Hierarchies

In real systems, the first "candidates" in the communities are the subsystems of different hierarchical levels, built on the principles of ordering or subordination [17, 18]. Let us the source network system *S* is divided into *M* subsystems

$$S_m\subset S=\bigcup_{m=1}^{M}S_m,$$

the sets of nodes $H_{Sm}=\{n_i^m\}_{i=1}^{N_m}$ of which do not intersect, $m=\overline{1,M}$. Denote by $G_{S_m}^{out}$ the set of all nodes-generators of flows, which are included in the set H_{Sm}. Determine by means of parameter

$$\xi_{S_m}^{out}(t)=\sum_{i\in G_{S_m}^{out}}\xi_i^{out}(t)/s(\mathbf{V}(t))$$

the strength of influence of subsystem S_m on NS at a whole. Here $\xi_i^{out}(t)$ is a volume of output flows generated in the node n_i from the set $G_{S_m}^{out}$ and

$$s(\mathbf{V}(t))=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}V_{ij}(t)$$

is the total volume of flows that have passed through the network per period [*t*–*T*, *t*]. Let us

$$R_{S_m}^{out}=\bigcup_{i\in G_{S_m}^{out}}R_{m,i}^{out}$$

is a set of numbers of nodes which are the final receivers of flows generated in the nodes belonging to the set $G_{S_m}^{out}$. Divide the set $R_{S_m}^{out}$ into two subsets, namely

$$R_{S_m}^{out}=R_{S_m,int}^{out}\bigcup R_{S_m,ext}^{out},$$

where $R_{S_m,int}^{out}$ is the subset of nodes $R_{S_m}^{out}$ belonging to H_{Sm}, and $R_{S_m,ext}^{out}$ is the subset of nodes $R_{S_m}^{out}$ belonging to addition to H_{Sm} in the source network. The set $R_{S_m,ext}^{out}$ will be called the domain of output influence of the subsystem S_m on NS at a whole. The external and internal output strength of influence of the nodes-generators of flows belonging to the set $G_{S_m}^{out}$ on the subnets $R_{S_m,ext}^{out}$ and $R_{S_m,int}^{out}$ determine using the parameters

$$\xi(t)_{S_m,ext}^{out}=\sum_{i\in R_{S_m,ext}^{out}}\xi_i^{out}(t)/s(\mathbf{V}(t)),$$

$$\xi(t)_{S_m,int}^{out}=\sum_{i\in R_{S_m,\text{int}}^{out}}\xi_i^{out}(t)/s(\mathbf{V}(t))$$

Then the value

$$\omega_{S_m}^{out}(t)=\xi_{S_m,ext}^{out}(t)\Big/\xi_{S_m,int}^{out}(t)$$

determines the relative strength of influence of subsystem S_m on the network system as a whole. Namely, the smaller the value of parameter $\omega_{S_m}^{out}$, the smaller the strength of influence of subsystem S_m on the NS, $m=\overline{1,M}$.

Denote by $R_{S_m}^{in}$ the set of all nodes – final receivers of flows, which are included in the set H_{S_m}. Determine by means of parameter

$$\xi_{S_m}^{in}(t)=\sum_{i\in R_{S_m}^{in}}\xi_i^{in}(t)/s(\mathbf{V}(t))$$

the strength of influence of network system on subsystem S_m, $m=\overline{1,M}$. Here $\xi_i^{in}(t)$ is a volume of input flows received in the node n_i from the set $R_{S_m}^{in}$ per period [*t*–*T*, *t*]. Let us

$$G_{S_m}^{in}=\bigcup_{i\in R_{S_m}^{in}}G_{m,i}^{in}$$

is a set of numbers of nodes-generators from which flows are directed to nodes belonging to the set $R_{S_m}^{in}$. Divide the set $G_{S_m}^{in}$ into two subsets, namely

$$G_{S_m}^{in}=G_{S_m,int}^{in}\bigcup G_{S_m,ext}^{in},$$

where $G_{S_m,int}^{in}$ is the subset of nodes $G_{S_m}^{in}$ belonging to H_{S_m}, and $G_{S_m,ext}^{in}$ is the subset of nodes $G_{S_m}^{in}$ belonging to addition to H_{S_m} in the source network. The set $G_{S_m,ext}^{in}$ will be called the domain of input influence of the network system on subsystem S_m. The external and internal input strength of influence of the nodes – final receivers of flows belonging to the set $R_{S_m}^{in}$ on the subnets $G_{S_m,ext}^{in}$ and $G_{S_m,int}^{in}$ determine using the parameters

$$\xi_{S_m,ext}^{in}(t)=\sum_{i\in G_{S_m,ext}^{out}}\xi_i^{in}(t)/s(\mathbf{V}(t)),$$

$$\xi_{S_m,int}^{in}(t)=\sum_{i\in G_{S_m,int}^{out}}\xi_i^{in}(t)/s(\mathbf{V}(t))$$

Then the value

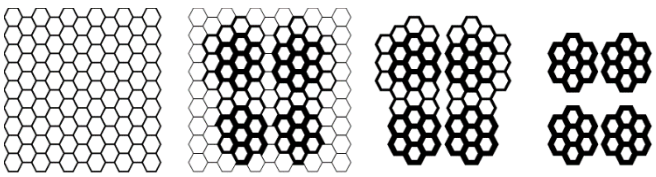
$$\omega_{S_m}^{in}(t)=\xi_{S_m,ext}^{in}(t)\Big/\xi_{S_m,int}^{in}(t)$$

determines the relative strength of influence of network system on subsystem S_m. Namely, the smaller the value of parameter $\omega_{S_m}^{in}$, the smaller the strength of influence of NS on subsystem S_m, $m=\overline{1,M}$.

The pair of parameters $(\omega_{S_m}^{out},\omega_{S_m}^{in})$ forms an objective criterion of whether the subsystem S_m forms a community in the network system. Indeed, the smaller the value of these parameters, the smaller the external interaction of the subsystem S_m with the system as a whole and the greater the interactions within the subsystem, which is, in essence, the definition of community. We can also use the betweenness parameters of subsystem S_m to build an objective criterion and corresponding algorithm for detection of communities-subsystems in the source network system, $m=\overline{1,M}$, [15].

IV. Communities and Flow Cores of Network Systems

Obviously, one of the most objective indicators of connection strength between two network nodes is the volume of flows that pass through the edge connected them over a period of time $[t-T,t]$, or in other words, the values of elements of integral flow adjacency matrix $\mathbf{V}(t),t\ge T$. This means that if during the construction of λ-core of the source NS (Fig. 1a – source CN, 1b – source NS with the reflected λ-core) with a consistent increase of value λ at a certain value $\lambda=\lambda_1$ the flow λ-core is divided into unconnected components (Fig. 1c) , then the largest communities in the network system are detected. Importantly, the structure and consist of the nodes and connections of these communities are clearly determined from the matrix $\mathbf{V}(t),t\ge T$.



a) b) c) d)

Fig. 1. Use of flow λ-cores for communities detection in complex network system

If with further growth λ at a certain value $\lambda=\lambda_2$ detected in the previous step communities are again divided into unconnected components, we obtain sub-communities of these communities (Fig. 1d), etc. In contrast to the first approach, the use of flow cores of network system allows us not only to identify a particular subsystem as a community, but to perform a global search of all communities in the network system.

V. Conclusions

The paper determines the importance of problem of communities detection in complex network systems and briefly analyzes the shortcomings of known numerical and visual methods of solving this problem. Examples are shown that

demonstrate the inefficiency of their use due to the lack of mathematically sound search criteria. The integral flow adjacency matrix of complex network system, parameters of influence of its separate subsystems and the concept of its flow core are defined which allowed to formulate objective criteria of communities detection in complex network and to develop effective algorithms of such detection.

REFERENCES

[1] M. E. J. Newman, “Communities, modules and large-scale structure in networks”, Nature Physics, vol. 8, pp. 25–31, Aug. 2012.

[2] M. E. J. Newman, “Detecting community structure in networks”, European Physical Journal B, vol. 38 (2), pp. 321–330, Feb. 2004.

[3] A. D. Polishchuk, “Simple and double layer potentials in the Hilbert spaces”, Proceedings of 8th International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory DIPED 2003, pp. 94-97, Sept. 2003.

[4] B. S. Khan & M. A. Niazi M. A., “Network community detection: A Review and Visual Survey”, arXiv: 1708.00977 [cs.SI], Jun 2017.

[5] M. I. Kolomeichenko et all, “Communities detection in graph of interacting objects”, Fundamental and applied mathematics, vol. 21 (3), pp. 131-139, Jul 2016.

[6] M. Girvan & M. E. J. Newman, *“*Community structure in social and biological networks”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, vol. 99, pp. 7821-7826, Oct. 2002.

[7] V. D. Blondel et all, “The Louvain method for community detection in large networks”, Journal of Statistical Mechanics. Theory and Experiments, pp. 108-121, Dec 2008.

[8] F. Radicchi et all, “Defining and identifying communities in networks”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, vol. 101 (9), pp. 2658-2663, Aug. 2004.

[9] L. Donetti & M. A. Mu˜noz, “Improved spectral algorithm for the detection of network communities”, arXiv: physics/0504059 [physics.soc-ph], May 2005.

[10] M. Rosvall & C. T. Bergstrom, “An information-theoretic framework for resolving community structure in complex networks”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, vol. 104 (18), pp. 7327-7331, Oct. 2007.

[11] O. Polishchuk, M. Tyutyunnyk, and M. Yadzhak, “Quality evaluation of complex systems function on the base of parallel calculations”, Information Extraction and Processing, vol. 26 (102), pp. 121-126, Dec. 2007.

[12] R. Lambiotte & M. Rosvall, “Ranking and clustering of nodes in networks with smart teleportation”, Physical Review E, vol. 85 (5), 056107, May 2012.

[13] F. Babak & M. Naghmeh, “Growing multiplex networks with arbitrary number of layers”, arXiv: 1506. 06278v2 [physics.soc-ph], Jun 2015.

[14] M. I. Kolomeichenko & A. M. Chepovsky, “Large graph visualization and analysis”, Business Informatics, vol. 30 (4), pp. 7-16, Aug. 2014.

[15] O. D. Polishchuk & M. S. Yadzhak, “Network structures and systems: I. Flow characteristics of complex networks”, System research and informational technologies, no. 2, pp. 42-54, Apr. 2018.

[16] O. D. Polishchuk & M. S. Yadzhak, “Network structures and systems: II. Cores of networks and multiplexes”, System research and informational technologies, no. 3, pp. 38-51, Sept. 2018.

[17] O. Polishchuk, “Choice of optimal regimes for functioning of complex dynamical systems”, Mathematical Methods and Physicomechanical Fields, vol. 48 (3), pp. 62-67, Sept. 2005.

[18] O. D. Polishchuk & M. S. Yadzhak, “Network structures and systems: III. Hierarchies and networks”, System research and informational technologies, no. 4, pp. 82-95, Dec. 2018.

Про Розв'язання Задачі Пошуку Максимальної Кліки

Шило Володимир, Рощин Валентина, Шило Петро, Боярчук Дмитро, Мороз Валерій
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
petershylo@gmail.com

Solving Maximum Clique Problem

Shylo Vodolymyr, Roshchyn Valentyna, Shylo Petro, Boyarchuk Dmytro, Moroz Valeriy
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
petershylo@gmail.com

***Анотація*—У роботі запропоновано алгоритм локальної оптимізації для розв'язання задачі пошуку максимальної кліки. Досліджено його ефективність та проведено порівняння з одним із кращих відомих алгоритмів.**

***Abstract*—A local optimization algorithm for solving the maximum clique problem is proposed. The comparative analysis of the best known algorithm from the literature and the algorithm**

Ключові слова—задача пошуку максимальної кліки; алгоритм локальної оптимізації; експериментальне дослідження

Keywords—maximum clique problem; local optimization algorithm; experimental research

I. Вступ

Комбінаторна задача оптимізації пошуку максимальної кліки (Maximum Clique Problem, MCP) є однією з відомих NP-важких задач теорії графів. Вона має широкий спектр практичних застосувань у багатьох галузях, зокрема в біоінформатиці, соціальних та фінансових мережах, економіці, теорії розкладів, при аналізі передачі сигналів, автоматизації проектування радіоелектронної апаратури тощо.

Із MCP тісно пов'язані дві відомі задачі комбінаторної оптимізації: задача пошуку максимальної незалежної множини вершин графу (MIS) і задача знаходження мінімального покриття його вершин (MVC). Неважко переконатися, що розв'язок однієї із названих трьох задач дає змогу визначати розв'язки інших.

З огляду на теоретичну і практичну важливість MCP зусилля вчених спрямовані на побудову різних алгоритмів її розв'язання. Дана робота присвячена розробці алгоритму локального пошуку для MCP, дослідженню його ефективності та порівнянню з одним із кращих відомих алгоритмів.

II. Постановка задачі

Нехай $G = (V, E)$ – неорієнтований граф з множиною вершин V і множиною ребер E. Клікою C неорієнтованого графу G називається підмножина множини V, де кожні дві вершини є суміжними, тобто для будь-яких двох вершин в C існує ребро, що їх з'єднує. Це означення еквівалентне твердженню, що підграф, породжений клікою C, є повним. Максимальна кліка – це кліка, яка не може бути розширена шляхом включення додаткових суміжних вершин, тобто немає кліки більшого розміру, що включає всі вершини даної кліки.

Задача пошуку максимальної кліки полягає у знаходженні для даного графу $G = (V, E)$ найбільшої підмножини C множини V вершин, такої, що $(u,v) \in E$ для будь-яких $(u,v) \in C$. Іншими словами треба знайти в графі G кліку (повний підграф) максимальної потужності.

Найпростіша модель задачі пошуку максимальної кліки в термінах булевого програмування описується таким чином: знайти

$$max \sum_{n=1}^{n} x_i$$

з урахуванням обмежень

$$x_i + x_j \le 1, (i,j) \in \overline{E},$$

$$x_i \in \{0,1\}, \; i = 1,...,n,$$

де $x_i = 1$, якщо i-та вершина знаходиться в кліці, $x_i = 0$ у протилежному випадку, $\overline{E}$ – множина ребер доповнення графу $G = (V, E)$. Відомі також інші моделі цієї задачі.

Більшість точних методів розв'язання MCP базуються на використанні загальної схеми методу гілок і меж. В основному вони відрізняються способами побудови верхніх і нижніх оцінок (меж) максимальної кліки та стратегіями розгалуження.

Проте через обчислювальну складність МСР точні методи потребують великих витрат машинного часу і часто можуть бути використані тільки для задач малої розмірності. Крім того, на практиці часто необхідно оперативно розв'язувати МСР в реальному масштабі часу. В цих умовах наближений розв'язок задачі, отриманий за прийнятний час, більш цінний, ніж точний розв'язок, знайдений через значний проміжок часу.

Детальний огляд точних та наближених методів розв'язання МСР можна знайти в [1].

Найбільш популярним і ефективним методом наближеного розв'язання задачі знаходження максимальної кліки є локальний пошук [2]. Для розробки алгоритму локального типу важливо визначити такі його компоненти: область пошуку, систему околів, цільову функцію, стратегію переміщення і правило побудови початкового розв'язку.

III. Алгоритм

Для розв'язання задачі пошуку максимальної кліки розроблено рандомізований алгоритм локального типу, який є деякою модифікацією алгоритму [3]. Його особливістю є використання елементів алгоритму табу на фазі інтенсифікації пошуку, перезапуску алгоритму та більш динамічного налаштування параметрів.

Пошук максимальної кліки починається з порожньої кліки ($I=\varnothing$) та задання кількості спроб знаходження розв'язку. Далі формується початковий розв'язок шляхом поступового рандомізованого включення (додавання) в кліку деяких вершин з множини впорядкованих за кількістю ребер вершин. Цей процес повторюється до тих пір, поки всі максимально зв'язані вершини не будуть розглянуті.

Далі випадковим чином видаляється з кліки r вершин (з початку $r = 1$) і додаються нові вершини до виконання критерію на кількість спроб. При цьому використовується певний механізм заборони для виконаних ходів. У випадку виконання критерію на кількість спроб покладаємо $r = r + 1$ і повторюємо процес до тих пір, поки $r < \frac{1}{2}|I|$, де $|I|$ - потужність множини I. Якщо ця умова не буде виконана, формуємо новий початковий розв'язок. Процес продовжується до знаходження відомого рекордного розв'язку або до використання виділеного часу.

IV. Результати експериментальних досліджень

Для оцінки ефективності алгоритмів розв'язання МСР у літературі відомі популярні тести DIMACS, http://www.cs.hbg.psu.edu/txn131/clique.html, і більш нові тести BHOSLIB, http://www.nlsde.buaa.edu.cn/~kexu/benchmarks/graph-benchmarks.htm. У табл. 1 наведено деякі результати порівняльного експериментального дослідження (воно виконувалось приблизно в однакових умовах) розробленого алгоритму RLSA та одного з кращих алгоритмів SBTS [4] для ряду складних задач із множин DIMACS та BHOSLIB. У ній прийнято такі позначення: *success* – число знайдених відомих рекордів при 100 незалежних спробах розв'язання задачі; t_{avg} і t_{best} – відповідно середній і мінімальний час (в сек.) знаходження відомого рекорду (якщо він досягнутий) при 100 спробах розв'язання задачі; *tenure* – значення змінної заборони табу. Кожна спроба розв'язання задачі була обмежена 1800 сек.

TABLE I. Результати експериментальних розрахунків

	success		t_{avg}		t_{best}		***tenure***
Алгоритм / Задача	***RLSA***	***SBTS***	***RLSA***	***SBTS***	***RLSA***	***SBTS***	
C4000.5	100		295		1.18		0
C4000.5	99	100	240	950	4.85	8	10
C2000.9	2	2	826	897	494	-	0/10
keller6	100		16		1.9		0
keller6	100	100	14	456	1.7	1.9	10
frb53-24-2	11		783		0.35		0
frb53-24-2	20	34	827	247	52	6	10
frb53-24-4	49		804		28		0
frb53-24-4	49	23	892	168	47	4	10
frb56-25-1	15		746		12		0
frb56-25-1	17	22	912	253	346	7	10
frb56-25-2	2		1232		1176		0
frb56-25-2	7	12	881	271	95	68	10
frb56-25-3	42		853		77		0
frb56-25-3	44	22	941	612	53	60	10
frb59-26-3	18		688		96		0
frb59-26-3	25	1	938	392	98	392	10
frb59-26-4	9		887		336		0
frb59-26-4	16	3	919	155	51	14	10

Наведені дані демонструють непогані можливості алгоритму RLSA, хоча використання техніки табу не завжди приводить до кращих результатів. Аналіз цих та відомих з літератури результатів експериментальних досліджень свідчить про те, що складні тестові задачі, побудовані за різними методиками, не можуть бути однаково успішно розв'язані будь яким кращим відомим алгоритмом, оскільки кожен із них має сильні і слабкі сторони. У зв'язку з розвитком багатопроцесорних обчислювальних комплексів важливими показниками є *success* і t_{best}, які свідчать про здатність алгоритму хоча б один раз успішно розв'язати задачу при p спробах за мінімальний час.

Література References

[1] Qinghua Wu, Jin-Kao Hao. A review on algorithms for maximum clique problems. European J. of Oper. Res. 2015. Vol. 242(3). P. 693-709,.

[2] Сергиенко И.В., Шило В.П. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. Киев: Наукова думка, 2003. 264 с.

[3] Градинар И. П. Приближенный алгоритм решения задачи нахождения максимального независимого множества вершин графа. Компьютерная математика. Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2010. № 2. С. 138–148.

[4] Yan Jin, Jin-Kao Hao. General swap-based multiple neighborhood tabu search for the maximum independent set problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2015. Vol. 37. P. 20–33.

СЕКЦІЯ 4.

Глибинний аналіз та організація даних, Big Data, системи штучного інтелекту, Smart додатки

SECTION 4.

Deep analysis and data organization, big data technologies, artificial intelligence systems, smart applications

Manipulator Deep Learning Models for Object Finding

Dmytro Myroniuk
Department of Radiophysics and Computer Technologies Ivan Franko Lviv's National University
Lviv, Ukraine
myronyukdmytro@gmail.com

Bohdan Blagitko
Department of Radiophysics and Computer Technologies Ivan Franko Lviv's National University
Lviv, Ukraine
blagitko@gmail.com

Ihor Zajachuk
Centre of Mathematical Modeling Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics Ukrainian Academy of Science
Lviv, Ukraine
igorzaj@gmail.com

***Abstract*— This article analyzed the base concepts of convolutional neural network construction. Modern deep learning architectures to solve image classification tasks are describing. The prototype manipulator for the object finding realizes by using the Raspberry Pi 4 platform and TFLite framework. The manipulator prototype for the object finding was realizing.**

Keywords*— **convolutional neural networks, deep learning, modeling, image classification***

I. INTRODUCTION

Nowadays, elements of AI systems became one of the most discussed problems in the world of science. Modern systems based on deep learning concepts and neural networks of different types can solve difficult generalizing tasks of a wide range, especially in image processing [1]. Modern NN architectures are using in different spheres effectively [2]. They are demonstrating excellent results in a task of different classes. It's from image classification and object detection to image generation and real-time recognition. Although, many modern architectures used to solve these tasks are very computationally expensive. One of the popular solving problems is training to model optimization for using mobile platforms like smartphones or Raspberry Pi. In the last years, a new class of special devices for AI is forming. Intel AI kits and the Nvidia Jetson series are the most significant of them. There CUDA-compatible cores for mobile boosting are using. General-purpose devices are using for their tasks also. Boosting is realizing via graph parameters optimization. The converting from non-optimized float32 graph is uses float16 graph to optimized ARM chips or even quantization them to uint8 graph. In this article, modern building optimized network methodologies are analyzing. A prototype of the object classifier, based on the mobile Raspberry Pi 4 platform, is realized.

II. USED SOFTWARE AND HARDWARE

Here all prototype algorithms with Python programming language are realized. It is one of the most used tools for machine learning and data science. It contains a wide range of modules and frameworks for the effective model training process and deployment processes. It ease runs on most modern platforms and supports most of the tools on each of them. Most modern deep learning frameworks include special modules for graph data types optimization and deploy them to mobile platforms. This work for mobile model construction and converting modules of the deep learning framework Tensorflow are used (TorchScript and Tensorflow Lite). These frameworks provide functionalities for reducing the model size and RAM usage with minimized influence on result-optimized model accuracy. Result models can run on various mobile device types (e.g., microcontrollers, mobile microcomputers, smartphones) with good precision and inference time.

Tensorflow Lite (or TFLite) – open-source deep learning framework for on-device inference is part of the deep learning TensorFlow ecosystem. It includes the functionality of deep learning model optimization and a divided Interpreter for running converted models on various types of platforms with single models format. As input, TFLite can take high-level models from Keras or TensorFlow models, universal ONNX format models. These features (especially ONNX support) make it easier to work with trained using other framework models. TFLite framework consists of: - The TensorFlow Lite interpreter runs specially optimized models on many different hardware types, including mobile phones, embedded Linux devices, and microcontrollers [3]; - The TensorFlow Lite converters TensorFlow models into an efficient form using an Interpreter and can introduce optimizations to improve binary size and performance [3].

For model construction, we use the PyTorch framework. The main advantage of that library over other is that models in PyTorch had dynamic computational graph. So, we can change our computational graph without recompilation. Moreover, PyTorch has many optimized pre-trained fine-tuning models, which can be using as a base for powerful custom models. Computational graphs and learning process plots can visualize via a compatible tensor board interface. The main data type used in computations is tensor optimized for GPU using a multi-dimensional array.

The platform for training and models fine-tuning, notebook on an Intel processor, and Nvidia GTX 1050 GPU is using as a base. The controller for the prototype Raspberry Pi 4 is using as the main. Raspberry Pi is an outstanding platform for robotics, smart home, IoT, etc. It uses an ARM-architecture-based CPU with four cores and includes all peripheral for using it as a "brain" of robotic systems.

III. USED MODELS AND CONVOLUTIONAL CLASSIFIER

Every convolutional classifier consists of two main parts. First - feature extractor (convolutional layers that transform our RGB image array to maps). Second - that represents some features, which are founding our image. A classifier network

uses fully connected layers of the special architecture. 2-3 layers with classic sigmoid activation functions on the first layers and softmax function on the last layer.

The benchmarks for popular models are in 2021. They can be including models embedded libraries or not. Scientists are used to choosing optimal models by many parameters. It's the model accuracy, the model complexity computational, the hardware requirements, etc. For 2021, one used MS COCO (Microsoft Common Objects in Context) [5] and PASCAL VOC 2012 as the top list of used models. Besides, the benchmark [6] is analyzing.

The base architecture uses a simple sequential model type with one main flow and the flops in the convolutional block (like in ResNet architectures). Every CNN architecture can be separating into some blocks. Each consists of 2 types of layer – Convolution operation using a non-linear function and pooling operation.

-- **Convolution operation**. A typical convolution block consists of two main parts. First - entire convolution, where input image in RGB matrix representation multiplies with a list of filters. Second - matrixes, which represent classic weights and improve during learning. After that, we have an output feature map that highlights the importance of some pixels of features. It can use as identifiers for certain classes of images. Convolution operation realizes three principles, different from ANN: 1) Sparse interactions. The special convolution kernels are using in this type of network. It helps to reduce the dimension of weights compare to the input tensor. This feature reduces the computational complexity of a task and the memory volume in RAM or GPU memory. 2) Parameters sharing – every parameter is using only ones to compute neuron output in classic networks. In convolution, one kernel uses the computing output in every region of an input image. This feature helps to reduce the computational complexity of the network. 3) Eqvariance to broadcast – if input function transformed, then output function transform with the same method.

- **Pooling operation**. The operation **Pooling** applies a function of maximum function (Max Pooling), average (average pooling), l2 –norm, or weighted the average on feature maps. The functions of this layer are: 1) Reduce the size of input tensor (list of feature maps after convolution can use large volumes of memory); 2) Release independence from minor changes of the input tensor; 3) Distinguish the entire entity rather than the location of the entity; 4) Help to disassociate local signs in favor of global signs.

IV. Convolutional Neural Classifier Learning Process

There are two main techniques based on convolutional neural networks. They used to learn deep learning system:

- **Training from scratch.** Model weights with random values and train models are initializing. This method helps to train the best and most specific model for the concrete task. One should use the extremely large dataset of about 1000 images per one class with powerful hardware in training. It can be expensive.

- **Transfer learning**. One can use the pre-trained model with weights, which is orienting on recognition of some features. The method uses for the adjacent task. The model is proposing for using and retraining only classifier layers without training convolution kernels from scratch. This feature is using to improve the general accuracy of this model. It reduces the computational complexity of solutions and reduces the number of labeled images for training.

There are three techniques of transfer learning method: 1) Using completed models from the library. We use a model from the pre-trained model list and replace the standard classifier with custom (based on our number of output classes of images) just. 2) Design own model based on described architecture. One can design a model with specialized architecture and use pre-trained weights from popular competitions like MS COCO, ImageNet, Pascal VOC, etc. These can found on the official competition site. 3) Combining several models and use several archives of weights.

V. Prototype Specification

As a base prototype of the arm platform, variations of Uarm from Ufactory are used [3]. In this article, variations of Uarm from Custom Electronics are used for prototype construction [4]. The arm is basing on five servomotors (3x MG 996R and 2x MG 90 S). As a power supply parallel scheme with 2x3 serial-connected 18650 batteries (3.6V, 2200mAh). Raspberry Pi Camera ver.1.3 is used as the camera of the prototype. Fine-tuned models YOLO V5 small and MobileNet V3 are using as the main models for the prototype [8, 9]. These models demonstrate good recognition results with Raspberry Pi 4 and image size 224x224 P. It's enough to recognize correctly and classify objects on images. Strategies with quantization to float16 and uint8 are using to reduce the time recognition learning.

The manipulator prototype "Object classifier" is used as the main idea. The manipulator detects objects of irregular limited shape with deep learning models by using image processing algorithms. The maximum object dimensions are 200x90x90 mm. Ultrasonic sensor HC-SR04 measures the distance up the object to catch it and moves to a special garbage box. The maximum mass of the object finding is 200g.

References

[1] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. Deep Learning. An MIT Press Book //Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. - MIT Press, 2016. - 716 p.

[2] Benchmark Analysis of Representative Deep Neural Network Architectures. Retrieved from: https://www.groundai.com/project/benchmark-analysis-of-representative-deep-neural-network-architectures/1.

[3] TensorFlow Lite guide. Retrieved from: https://www.tensorflow.org/lite/guide.

[4] Post-training quantization. Retrieved from: https://www.tensorflow.org/lite/performance/posttrainingquantization.

[5] Ufactory Offical Website. Retrieved from: https://www.ufactory.cc/#/en/support/download/products.

[6] Custom Electronics Robo-arm. Retrieved from: http://www.customelectronics.ru/robo-ruka-chast-1-o.pisanye/

[7] COCO – Common Objects in Context. Retrieved from: http://cocodataset.org/#home.

[8] Simply explain YOLOv5. Retrieved from: https://www.programmersought.com/article/20545272716/.

[9] MobileNet Review. Retrieved from: https://lixinso.medium.com/mobilenet-c08928f2dba7.

Інформаційна Технологія Інтелектуального Моніторингу на Основі Поліагентних Функціоналів

Сергій Голуб
кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
s.holub@chdtu.edu.ua

Світлана Куницька
кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
kunitskaya33@gmail.com

Template Information Technology of Intelligent Monitoring Based on Polyagent Systems

Serhii Holub
dept. of Automated Systems Software
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
s.holub@chdtu.edu.ua

Svitlana Kunytska
dept. of Automated Systems Software
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
kunitskaya33@gmail.com

***Анотація*— Інформаційна технологія інтелектуального моніторингу призначена для забезпечення інформацією та знаннями процесів прийняття рішень у кризових умовах. Застосований агентний підхід до видобування знань із результатів моніторингу. Кожен агент виконує окреме завдання моніторингу. В умовах кризи об'єкти моніторингу набувають нових властивостей. Знижується інформативність результатів спостережень. Часу на проведення нових спостережень немає. Тому підсилюється потужність засобів видобування знань. Моніторингова інформаційна система будує із кількох агентів агентні функціонали. У поліагентного функціоналу агенти мають сумісні вхідні ознаки. Розроблені методи координації агентів у структурі поліагентного функціоналу. Для формування структури поліагентного функціоналу будуються додаткові агенти. Додаткові агенти мають завдання утворити структуру поліагентного функціонала. Створені методи побудови поліагентних функціоналів для розв'язання задач класифікації, ідентифікації, прогнозування.**

***Abstract*—Intelligent monitoring information technology is designed to provide information and knowledge of decision-making processes in crisis conditions. An agent approach to extracting knowledge from monitoring results has been applied. Each agent performs a separate monitoring task. During the crisis, the objects of monitoring acquire new properties. The informativeness of the results of observations decreases. There is no time for new observations. Therefore, the power of the means of extracting knowledge is increasing. The monitoring information system builds agent functionalities from several agents. In the polyagent functional, the agents have compatible input features. Methods of coordination of agents in the structure of polyagent functional are developed. Additional agents are built to form the structure of the polyagent functional. Additional agents have the task of forming the structure of the polyagent functional. Methods of constructing polyagent functionalities for solving problems of classification, identification, forecasting have been created.**

Ключові слова — інформаційна технологія, інтелектуальний моніторинг, агентний функціонал, інформативність, результати спостережень

Keywords— information technology, intellectual monitoring, agent functional, informativeness, observation results

I. Вступ

Використання агентного підходу при створенні інформаційних технологій інтелектуального моніторингу (ІТІМ) викликане необхідністю забезпечити моніторинговим інформаційним системам (МІС) нові властивості, які при попередньому підході реалізувати не удавалось. У процесі програмної реалізації ІТІМ у формі МІС забезпечується їх здатність виконувати нові моніторингові завдання на основі вже існуючих результатів спостережень [1]. Така необхідність виникає в умовах кризового моніторингу, коли об'єкти набувають нових властивостей а на організацію нових спостережень для виявлення цих властивостей часу не вистачає.

У роботі подані результати досліджень, направлених на побудову нової методології створення інформаційних технологій інтелектуального моніторингу та їх програмної реалізації, для роботи у кризових умовах.

II. Інтелектуальні агенти у моніторингових інформаційних системах

У кризових умовах інформативність первинного опису (ПО) об'єктів моніторингу різко знижується і виникає необхідність у підвищенні потужності засобів синтезу моделей. Було запропоновано у процесі побудови ІТІМ використати агентний підхід [2].

Для виконання головних моніторингових завдань будуються інтелектуальні агенти. Кожен агент виконує своє моніторингове завдання шляхом перетворення інформації від форми масиву чисельних характеристик результатів спостереження до моделей та їх ієрархічного поєднання у базі модельних знань (БМЗ). Моніторинговий агент забезпечує обробку результатів спостережень, видобування із них інформації та знань з метою забезпечення процесів прийняття рішень у кризовій ситуації. БМЗ забезпечує формування висновків про стан і властивості об'єкта моніторингу та можливі наслідки застосування керуючих впливів, перетворюючи результати спостережень. Основними елементами структури агента є синтезатор моделей, база модельних знань, інтелектуальний класифікатор масивів вхідних даних, контролер, агентна база даних, модуль зовнішніх комунікацій.

Інтелектуальні агенти є елементами структури МІС. МІС забезпечує організацію, проведення та збереження результатів спостережень, керує процесами побудови агентів, реалізує комунікації між агентами, забезпечує зовнішню взаємодію із особою, що приймає рішення (ОПР). Моніторингові агенти виконують два типи завдань у МІС: головне моніторингове завдання та структурне завдання.

III. Поліагентні функціонали

У кризових умовах з'являються потужні впливові фактори, які змінюють властивості об'єктів моніторингу. Об'єкти моніторингу переходять у стани, які відрізняються від попередніх. Знання про закономірності розвитку ситуацій, які утворюються взаємодіями об'єктів у попередніх станах, стають неадекватними. Агенти виводяться із стану «Агент використовується» і переходять у стан «Агент виведений у запас». МІС перестає видавати потрібну для ОПР інформацію.

Для виконання своїх завдань у нових умовах МІС підвищує потужність засобів видобування знань із чисельних характеристик результатів спостережень. Використання агентного підходу до побудови ІТІМ дозволяє підвищувати потужність засобів видобування інформації із результатів спостережень шляхом утворення агентних функціоналів. Агентний функціонал це функція від функцій агентів, що входять до її структури. За необхідності МІС будує агентні функціонали із багатоешелонною структурою. Інформативність результатів спостереження зростає за рахунок збільшення кількості ознак – сигналів із виходів агентів, що мають різні головні моніторингові завдання.

Зважаючи на відомий постулат про системне влаштування світу, була висунута гіпотеза, що сигнали на виході агентів із різними головними завданнями є інформативними при побудові агентних функціоналів. У процесі перевірки висунутої гіпотези було виявлено, що агентні функціонали, які утворені агентами із різними вхідними ознаками та агентами із сумісними вхідними ознаками відрізняються. Тому було запропоновано класифікувати агентні функціонали за сумісністю вхідних ознак. Функціонали, які містили агенти із сумісними вхідними ознаками, запропоновано поєднати у клас поліагентних функціоналів (ПАФ) [3].
Досліджуються процеси узгодження взаємодій агентів у структурі ПАФ. Створені методи побудови ПАФ для розв'язання задач класифікації, ідентифікації, прогнозування [4]. Запропоновано методи побудови поліагентних функціоналів у МІС шляхом створення агентів із структурними завданнями [4]. МІС будує додаткові агенти, для виконання структурних завдань із побудови ешелонів у ПАФ. Експериментально доведено, що похибка сигналу на виході поліагентного функціоналу знижується у на понад 34% по відношенню із сигналом на виході агента.

IV. Висновки

Описано інформаційну технологію інтелектуального моніторингу, яка здатна працювати у кризових умовах за рахунок підвищення потужності процесів видобування знань із результатів моніторингу. Знання про властивості об'єктів моніторингу і закономірності зміни ситуацій зберігаються у базі модельних знань інтелектуальних агентів. Потужність процесу видобування знань підвищується шляхом побудови агентних функціоналів – . надагентних утворень у структурі моніторингової інформаційної системи. Експериментально підтверджено покращення характеристик сигналів на виході поліагентних функціоналів.

Література References

[1] Kunytska S., Holub S. Multi-agent Monitoring Information Systems. In: Palagin A., Anisimov A., Morozov A., Shkarlet S. (eds) *Mathematical Modeling and Simulation of Systems*. MODS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1019. pp 164-171. Springer, Cham.

[2] Holub Serhii, Kunytska Svitlana. The concept of multi-agent intellectual monitoring systems. *Projekt interdyscyplinarny projektem XXI wieku* - Tom 2. Processing, transmission and security of information. Monogrpahia: Wydawnictwo naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Bialej. – 2019. – S. 183-188

[3] Holub C.V., Kunyts′ka S.YU. Poliahentni funktsionaly v informatsiynykh tekhnolohiyakh intelektual′noho monitorynhu. *Matematychni mashyny ta systemy*. 2020. № 4. S. 11-19.

[4] Holub C.V., Kunyts′ka S.YU. Pobudova esheloniv u poliahentnykh funktsionalakh dlya prohnozuvannya zakhvoryuvanosti na kovyd-19 v Ukrayini. *Matematychni mashyny ta systemy*. 2021. № 2. S. 45-51.

Машинне Навчання та Прийняття Рішень

Василь Горбачук, Геннадій Голоцуков, Максим Дунаєвський, Дмитро Ніколенко
відділ інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
GorbachukVasyl@netscape.net

Machine Learning and Decision Making

Vasyl Gorbachuk, Gennady Golotsukov, Maxym Dunaievskyi, Dmytro Nikolenko
Department of Intelligent Information Technologies
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics, National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
GorbachukVasyl@netscape.net

Анотація **− Результати комп'ютерних програм Deep Blue 1997 р. та AlphaGo 2016 р. свідчать про необхідність зміни парадигми, пов'язаної з традиційним машинним навчанням. Ці результати показали переваги машиинного прийняття рішень відносно прийняття рішень людиною, включаючи традиційні системи підтримки прийняття рішень.**

Abstract **− The results of the Deep Blue computer program in 1997 and the AlphaGo computer program in 2016 indicate the need for a paradigm shift associated with a traditional machine learning. These results showed the advantages of machine decision making over human decision making, including traditional decision support systems.**

Ключові слова − нейронні мережі; системи підтримки прийняття рішень; градієнтне онлайн-оновлення

Keywords − neural networks; decision support systems; gradient online update

I. Вступ

Багатошарові нейронні мережі, навчені алгоритмом зворотного поширення (back-propagation), є найкращим прикладом успішного методу навчання на основі градієнтів. Для заданої підходящої мережевої архітектури, градієнтні алгоритми навчання можуть використовуватися для синтезу складної поверхні рішень, яка може класифікувати такі образи високої вимірності, як рукописні букви при мінімальній попередній обробці. Порівняння різних методів, що застосовуються до розпізнавання рукописних символів, на стандартному завданні розпізнавання рукописних цифр показує перевагу згорткових (convolutional) нейронних мереж, спеціально розроблених для аналізу мінливості двовимірних (2-D) фігур.

II. Класифікація та навчання

Реальні системи розпізнавання документів складаються з багатьох модулів, включаючи виділення поля (field extraction), сегментацію, упізнавання, моделювання мови. Глибоке навчання включає модель трансформатора з механізмами уваги та зважування впливу різних частин вхідних даних, яка використовується переважно для обробки природних мов і застосовується для розуміння візуальних даних. Підхід мереж графічних трансформаторів (graph transformer networks, GTNs) дозволяє навчати такі багатомодульні системи глобально, використовуючи градієнтні методи для оптимізації загальної міри продуктивності системи.

З 1990-х років методи машинного навчання (machine learning, ML), особливо застосовані до нейронних мереж (neural networks, NNs), відіграють важливу роль у розробці систем розпізнавання образів (РО): наявність методів навчання стала вирішальним фактором успішного застосування РО для розпізнавання неперервної мови та почерку [1]. У 1997 р. програма Deep Blue для гри в шахи перемогла чемпіона світу Гаррі Каспарова.

Завдяки прогресу у ML і комп'ютерних технологіях можна створювати кращі системи РО з автоматичним навчанням замість інтуїтивно вбудованої евристики. На кейсі розпізнавання букв можна показати, що виділення ознак (feature extraction) вручну вигідніше замінювати ретельно розробленими навчальними машинами, які працюють безпосередньо на піксельних зображеннях. Кейс розуміння документів показує, що традиційний спосіб побудови систем РО шляхом ручної інтеграції окремо розроблених модулів можна замінювати уніфікованою та принциповою парадигмою проектування GTN, яка

допускає навчання всіх модулів для оптимізації глобального критерію продуктивності.

Від самому початку розвитку РО було відомо, що мінливість і різноманіття природних даних мови, (ієро)гліфів та інших типів образів майже унеможливлюють побудову системи точного розпізнавання виключно вручну. Тому більшість систем РО будуються, поєднуючи методи автоматичного навчання та евристичні алгоритми. Звичайний (традиційний) метод розпізнавання окремих образів полягає у поділі системи на два основні модулі − модуль виділення ознак (вхід − первинні дані, вихід − вектор ознак) і модуль здатного до навчання класифікатора (вхід − вектор ознак, вихід − числові характеристики відповідних класів). Модуль виділення ознак називають екстрактором. Вектори ознак мають задовольняти таким вимогам: 1) низька вимірність векторів чи рядків символів; 2) висока здатність до порівняння між собою; 3) відносна інваріантність відносно перетворень і спотворень вхідних образів (даних) без зміни їхньої суті. Доволі специфічним є процес виділення ознак, бо враховує багато попередніх знань і проектувальних зусиль, які часто здійснюються вручну. З іншого боку, класифікатор є модулем загального призначення, здатним до навчання. Однією з головних проблем традиційного методу розпізнавання є те, що точність розпізнавання значною мірою визначається здатністю проектувальника запропонувати підходящий набір ознак. Це виявляється складним завданням, яке доводиться виконувати для кожної задачі розпізнавання окремо: багато літератури з РО присвячена опису та порівнянню відносних переваг різних наборів ознак для окремих задач [2]..

Історично потреба у підходящих екстракторах була пов'язана з тим, що методи навчання, які використовуються класифікаторами, обмежувалися просторами низької вимірності з нескладно розділюваними класами. На зміну такого погляду вплинуло поєднання кількох факторів наприкінці минулого століття. По-перше, наявність недорогих машин з швидкими арифметико-логічними пристроями дозволяє більше покладатися на потужніші чисельні процедури, ніж на алгоритмічні вдосконалення. По-друге, наявність великих баз даних з великими ринками і широкими сферами застосування, включаючи розпізнавання почерку, дозволяє проектувальникам систем розпізнавання більше розраховувати на реальні дані, ніж на виділення ознак вручну. По-третє, наявність потужних методів ML, які можуть обробляти вхідні дані високої вимірності та генерувати складні функції рішень на цих даних, дозволяє розробляти універсальні класифікатори. Можна стверджувати, що прогрес у точності систем розпізнавання мови та почерку пояснюється значною мірою більшим застосуванням сучасних ML і великих навчальних наборів даних: велика частина сучасних комерційних систем оптичного розпізнавання букв (optical character recognition, OCR) використовує деяку форму багатошарових нейронних мереж (neural networks, NNs), навчених за допомогою алгоритму зворотного поширення.

III. Постановка задачі прийняття рішень

Серед підходів до автоматичного ML одним з найуспішніших у спільноті NNs вважається чисельне або градієнтне навчання на даних: навчальна машина обчислює функцію $Y^p = F(Z^p, W)$, де Z^p − p-й вхідний образ, W − набір настроюваних параметрів у системі. У постановці РО вихід Y^p інтерпретується як розпізнана мітка (label) образу Z^p, числова характеристика чи ймовірність, пов'язана з кожним класом. Функція втрат $E^p = D(D^p, F(Z^p, W))$ вимірює розбіжність (discrepancy) між коректним або бажаним результатом D^p для образу та виходом Y^p, виробленим системою, $p = 1,...,P$, де P − число навчальних вибірок (образів). Функція середніх втрат $E_{train}(W)$ є середнім значенням похибок (errors) E^p на наборі помічених прикладів (labeled examples) $\{(Z^1, D^1),(Z^2, D^2),...,(Z^P, D^P)\}$, який називають навчальною (training) множиною. У найпростішій постановці задача навчання полягає у знаходженні значення W, яке мінімізує $E_{train}(W)$. На практиці продуктивність системи на навчальній множині не є визначальною: прийнятнішим показником є рівень похибки системи в області, яка практично використовуватиметься. Цей показник оцінюється шляхом вимірювання точності на наборі вибірок, відокремлених від навчальної множини, − тестовій множині. Багато теоретичних та експериментальних робіт показали, що розрив між сподіваним рівнем $E_{test}(W)$ похибки узагальнення на тестовій множині та рівнем $E_{train}(W)$ похибки на навчальній множині $E_{test}(W) - E_{train}(W) = k(P^{-1}h)^{\alpha}$, де h − міра ефективної спроможності чи складності машини [3], k − деяка константа, $\alpha \in (0.5,1)$. Цей розрив завжди зменшується з ростом P. Оскільки з ростом h зменшується $E_{train}(W)$, то збільшується розрив і з'являється питання оптимального значення h, що мінімізує $E_{test}(W)$ [4].

Література References

[1] Le Cun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE. 1998. 86 (11). P. 2278–2324.

[2] Горбачук В.М., Макаренко О.С. Особливості прийняття рішень людиною для розв'язання складних міждисциплінарних проблем. Системні дослідження та інформаційні технології. 2017. № 3. С. 73–87

[3] Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М: Наука, 1979. 448 с.

[4] Гайворонский А.А., Горбачук В.М. Субградиентный метод решения детерминированных и стохастических задач оптимального управления. Вычислительные аспекты в пакетах программ и опыт решения оптимизационных задач. К.: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1981. С. 41–46.

Засади Розвитку Хмарних Технологій

Василь Горбачук, Сергій Гавриленко, Геннадій Голоцуков, Максим Дунаєвський
відділ інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
GorbachukVasyl@netscape.net

Principles for Development of Cloud Technologies

Vasyl Gorbachuk, Serge Garvilenko, Gennady Golotsukov, Maxym Dunaievskyi
Department of Intelligent Information Technologies
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics, National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
GorbachukVasyl@netscape.net

***Анотація*—Успішне широке застосування сучасних хмарних технологій передбачає глибоке розуміння засад розвитку цих технологій на локальних і глобальних мережах. Такий розвиток бере початок від перших операційних систем і систем з поділом часу на основі рекурсивних обчислень.**

***Abstract*—The successful broad application of modern cloud technologies assumes the profound understanding of principles for development of these technologies on local and global networks. That development originates from the first operating systems and time-sharing systems on the basis of recursive computing.**

Ключові слова—глобальні мережі; системи з поділом часу; рекурсивні обчислення

Keywords—global networks; time-sharing systems; recursive computing

I. Вступ

Особливістю сучасної цифрової ери є поширення так званих хмарних технологій. У 2020 р. в кожного користувача інтернету є широкий вибір хмарних рішень та опцій, яких не було у 2010 р. Такі послуги, як завантаження застосунків, зберігання фотографій і відеофільмів, базуються на хмарних хостингах. У 2000 р. парламент Естонії визнав доступ до інтернету невід'ємним правом людини, позаяк у 2003 р. в Україні зберігалася плата за вхідні дзвінки на мобільні телефони. Державна політика Естонії сприяла успішному соціально-економічному розвитку: за даними Міжнародного валютного фонду, у 2019 р. номінальний валовий внутрішній продукт на душу населення Естонії (25523 дол.) у понад 7 разів перевищував цей показник України (3592 дол.); якщо у 1991 р. цей показник в Естонії та України був однаковим, то протягом наступних 28 років середньорічний темп економічного зростання в Естонії був на понад 7% більший, ніж в України.

II. Передумови розвитку хмарних технологій

Хмарну технологію визначають три фундаментальні поняття: надання послуг обчислення чи зберігання інформації як громадських або спільних; поділ одного й того самого комп'ютерного ресурсу між багатьма людьми через технологію віртуалізації; доступ до послуг через створення мереж.

У 1960 р. американський комп'ютерний науковець Маккарті (McCarthy, 1927–2011) опублікував мову програмування LISP (LISt Processor; рекурсивні функції символічних виразів та їх обчислення машиною), яка стала поширеною в застосуваннях штучного інтелекту (artificial intelligence, AI). LISP базується на так званому лямбда-численні – формальній системі в математичній логіці для вираження обчислень на основі функцій лямбда-абстракції та аплікації, використовуючи зв'язування (binding) змінної та заміну (substitution). Таке числення у 1930-х роках запропонував американський математик і логік Чарч (Church, 1903–1995), щоб уникати парадоксів теорії множин (скажімо, парадоксу Расселла (Russell, 1872–1970), Нобелівського лауреата 1950 р. з літератури). Таке числення дає універсальну модель обчислень, здатну імітувати будь-яку машину Тюрінга (Turing, 1912–1954). Маккарті був членом спеціального комітету Асоціації обчислювальної техніки (Association for Computing Machinery, ACM) з мов програмування, який взяв участь у проектуванні мови ALGOL 60 (ALGOrithmic Language). У 1959 р. Маккарті запропонував рекурсію з умовними виразами для ALGOL і методи збирання сміття (garbage collection) для спрощення ручного управління пам'яттю в LISP.

Маккарті також сприяв створенню проекту «Комп'ютер множинного доступу» (Multiple Access Computer, MAC) в Массачусетському технологічному інституті

(Massachusetts Institute of Technology, MIT), лабораторії AI в Стенфорді (Stanford), найперших систем з поділом часу – сумісної системи з поділом часу (Compatible Time-Sharing System, CTSS), розробленої американським комп'ютерним науковцем Корбато (Corbato, 1926–2019) і вперше продемонстрованої на MIT IBM 709 у 1961 р., системи з поділом часу BBN (BBN (Bolt, Beranek, Newman) Time-Sharing System) [1], вперше продемонстрованої на PDP-1 у 1962 р., системи з поділом часу Дартмутського коледжу (Dartmouth Time-Sharing System, DTSS), вперше продемонстрованої на GE-225 та DATANET-30 у 1964 р.

Поява систем з поділом часу сприяла розвитку інтернету. Подібні системи стали називатися серверами і провайдерами хмарних послуг. У свої доповіді на тижневій конференції 1961 р., присвяченій 100-річчю MIT, Маккарті висунув ідею обчислень як сервісів (utility computing) на основі комп'ютерної технології з поділом часу та бізнес-моделі громадських послуг подібно до постачання води чи електрики [2]: споживачам можна продавати такі сервіси, як надання обчислювальних потужностей і конкретних комп'ютерних застосунків. Ця ідея комп'ютерної чи інформаційної громадської послуги стала популярною. З розвитком персональних комп'ютерів та індивідуальних засобів телекомунікацій цю ідею використовують: провайдери послуг застосунків (application service providers, ASPs) – підприємства, які надають послуги на базі комп'ютерів через мережу (наприклад, доступ до конкретного застосування програмного забезпечення (скажімо, менеджмент зв'язків з клієнтами), використовуючи стандартний протокол (для прикладу, протокол HTTP (HyperText Transfer Protocol) для передачі гіпертекстових документів у комп'ютерних мережах – здебільшого веб-сторінок (текстових файлів з розміткою на мові HTML (HyperText Markup Language))); мережеві (grid) комп'ютерні системи, що використовують широко розподілені комп'ютерні ресурси для досягнення спільних цілей і діють як розподілені системи неінтерактивних завантаженостей (non-interactive workloads) з багатьох файлів; провайдери хмарних сервісів – негайного надання ресурсів комп'ютерних систем (як правило, для зберігання даних та забезпечення обчислювальної потужності) за запитами без прямої активної участі користувачів у менеджменті цих сервісів і ресурсів. Однією з перших комп'ютерних операційних систем з поділом часу була Мічиганська система терміналів (Michigan Terminal System, MTS), яку розробили 8 університетів США, Канади, Великої Британії у складі консорціуму на чолі з Мічиганським університетом (University of Michigan) у м. Енн-Арбор (Ann Arbor). MTS працювала у 1967–1999 рр. на IBM S/360-67, S/370 та сумісних мейнфреймових комп'ютерах з властивістю віртуальної пам'яті. Мейнфрейми (mainframes) використовувалися, в основному, для важливих питань у великих організаціях, для обробки об'ємних даних (перепису населення, статистики підприємств і домогосподарств, планування ресурсів), обробки трансакцій (наприклад, у торговельних мережах); мейнфрейми потужніші, ніж мінікомп'ютери, сервери чи робочі станції. Завдяки поділу часу в MTS багато користувачів могли користуватися спільним ресурсом.

III. Глобальні мережі

У 1969 р. Міністерство оборони США (US Department of Defense) ввело в дію комп'ютерну мережу Агентства передових дослідницьких проектів ARPANET (Advanced Research Projects Agency NETwork) на базі протоколу TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) [1]. Дослідження віртуалізації ресурсів, застосування операційних систем, зберігання інформації, властивостей мереж у 1970-х роках мали практичний результат для фінансових установ – електронні грошові перекази (wire transfers, bank transfers, credit transfers) через комп'ютерні мережі замість телеграфних (перший грошовий переказ через телеграфну мережу здійснив у 1872 р. заснований у 1851 р. американський банк Western Union).

У 1973 р. було засновано Товариство світової фінансової телекомунікації (Society for Worldwide Financial Telecommunication, SWIFT) на базі мережі, яку проектувала заснована у 1969 р. британська консалтингова фірма Logica і реалізувала заснована у 1886 р. американська корпорація Burroughs. Почалося вивчення питання передачі даних через незайняті (unused) телевізійні сигнали. 26 березня 1976 р. англійська королева Єлизавета II надіслала повідомлення електронною поштою через ARPANET за допомогою британського комп'ютерного науковця Кірштайна (Kirstein, 1933–2020). У 1978 р. адміністрація президента США Картера (Carter), лауреата Нобелівської миру 2002 р., встановила у Білому домі комп'ютер Hewlett Packard 3000, з'єднаний з терміналами службовців Білого дому. У 1980-х роках створювалися локальні мережі між комп'ютерами. На 1985 р. комп'ютерні стрічки для зберігання інформації містили близько 200 мегабайтів даних (звичайний сучасний смартфон має значно більшу память), а близько 100 тис. комп'ютерів були поєднані глобальною мережею.

На 2020 р. глобальною мережею поєднані мільярди індивідуальних засобів зв'язку і комп'ютерів, створюючи нові соціальні мережі та нові форми організації суспільства, передбачені засновником Інституту кібернетики Академії наук України академіком В.М.Глушковим [3].

Література References

[1] Горбачук В.М. Постіндустріальна організація державних замовлень у розвитку AUTODIN, ARPANET, PRNET, NSFNET та Інтернету. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. Т. 21. Вип. 8. С. 116–122. 2016.

[2] Горбачук В.М. Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства. К.: А.С.К., 2010. 224 с.

[3] Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд. 2-е, испр. М.: Наука, 1987. 552 с.

Ідеальна Мова Програмування

Кондратенко Вікторія Олександрівна
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
vitalyot@ukr.net

Ideal Programming Language

Kondratenko Victoria
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
vitalyot@ukr.net

***Анотація*—Феномен вавилонського стовпотворіння в програмуванні комп'ютерів уже дуже давно зіграв позитивну роль, і тепер повинен піти з театру інтелектуалізації комп'ютерів, поступившись своє місце мові класичної математики. Ціль доповіді: окреслити перспективні можливості й проблеми на шляху вдосконалювання обчислювальної техніки.**

***Abstract*— The phenomenon of Babylonian pandemonium in computer programming has long played a positive role, and now it must leave the theater of computer intellectualization, giving way to the language of classical mathematics. The purpose of the report: to outline promising opportunities and problems on the way to improving computer technology.**

Ключові слова— програмування, аксіоматичне моделювання, штучний інтелект

Keywords—programming, axiomatic modeling, artificial intelligence

I. Вступ

Підстави класичної математики та її фундаментальні математичні структури, включаючи обчислювальну математику (усього 1500 математичних структур), є джерелами для науки та практики штучного інтелекту (ШІ), його теоретичним фундаментом і єдиною мовою комунікації зі своїм дитям – комп'ютерами [1]. Історія становлення ШІ також, як історія становлення всіх природніх наук, неминуче підпорядкована двом принципам теорії пізнання природи, які є компонентом матеріалістичної філософії:

«Реальний світ – це не зібране з окремих кубиків спорудження, це єдине ціле. Всесвіт складається не з речей, а з процесів. Об'єктивне пізнання неможливе, бо неможна виключити того, хто спостерігає з процесу спостереження. У всесвіті немає нічого фундаментального або другорядного. Світ – це павутиння взаємозалежних рівно важливих процесів. Тому пізнання іде не від приватного до цілого, а від цілого до приватного». Ф. Капра.

«Природа спочатку єдине по своєї суті, кінцева безліч форм існування матерії в ній є результат поляризації, розщеплення цього початкового єдиного. В природі єдине в усьому і все в одному. Виразом єдності матерії є симетрія, асиметрія – породжує і висловлює множинність форм існування матерії». Проте, реальний шлях до наукового пізнання природи, через надмірну складність або простоту єдиного, стає можливим тільки тоді, коли здійснюється початковий рух в її пізнанні – від множинності до цілого, а від цілого знов до множинності. Тобто від фактів до побудови єдиної теоретичної моделі, а від моделі знов до множинності, щоб пояснити та зрозуміти її».

Виразом симетрії та єдиної теоретичної моделі, в сфері комунікації природного інтелекту з породженим їм штучним інтелектом, є єдина мова – мова класичної математики, яка гарантовано забезпечить комунікацію природнього інтелекту не тільки з механізмами, а й з усіма природніми мовами, природніми та прикладними науками. Досить згадати, що усі електронні компоненти комп'ютерів усього лише в точності реалізують математичні об'єкти, операції над ними, концепції алгоритмів і аксіоматичний метод підстав математики [2]. Це дає привід відкинути всякі сумніви в можливості безпосередньої апаратурної реалізації мови класичної математики. Епоха ж позитивної ролі багатомовності комунікації природнього й штучного інтелекту завершилася з виходом у світ монографії академіка Г.І. Марчука «Методи обчислювальної математики» у далекому 1977 році, у якій був підведений підсумок становлення обчислювальної математики, як науки та її складової частини класичної математики.

II. Алгоритм

Метою доповіді є окреслення перспективних можливостей на шляху удосконалення обчислювальної техніки.

Формальна мова є єдиною мовою, для всіх природніх та прикладних наук у таких сферах.

Мінімізації кількості символів для передавання навіть самих складних хитромудрих смислів.

Оптимальної структуризації функціональних задач дослідження, проектування та реалізації проектів у сферах пізнання природи, побудови рукотворних об'єктів в ній, а

також в усіх видах діяльності у суспільстві. В класичній математиці сьогодні нараховується лише 1500 стереотипів задач та побудованих виключно для них математичних структур. Лише в одній з 4600 мов програмування, в мові С++, їх нараховується більше 50 тисяч.

Структурування даних, що призначені для обробки вказаними функціональними задачами класичної математики та форм їх представлення: вектор, список, матриця, таблиця, графік, географічні координати, база даних та таке інше. Дані представляються в одному контексті з математичними структурами. Тоді як кількість структур даних в мові С++, наприклад, більше 30 тисяч.

Побудова методологій, методів, алгоритмів та операцій, що призначені для вирішення вказаних функціональних задач. Ця інформація є в наявності також виключно в контексті конкретних математичних структур.

Створення математичних інструментарієв для оцінки якості вирішення стереотипних задач для кожної з математичних структур. Визначення умов та обмежень на рішення для кожного з стереотипів задач.

Використання формальної мови - це на сьогодні єдиний шлях інтелектуалізації.

Розуміння фізіологічних процесів, пов'язаних з мисленням людини, а також вочевидь відсутність глобальної стратегії розвитку обчислювальної техніки, вселяє впевненість в необхідності радикальних змін. Багатомовність в згаданій комунікації обов'язково завершиться тим же результатом, що й вавилонське стовпотворіння, наносячи тим часом великого масштабу інтелектуальну, матеріальну, освітню моральну шкоду світовому співтовариству. У порівнянні з парадигмою мови класичної математики всі традиційні мови програмування являють собою негативні знання, які з'явилися у світовому співтоваристві на догоду незрілості й капризам творців електронної апаратури для комп'ютерів. У справжній період розвитку біологічної науки й наук про фізіологію людини необхідно змінити не тільки погляд на програмне забезпечення обчислювальної техніки, але й на напрямок розвитку технічного забезпечення для розв'язку проблемних задач у різних сферах життєдіяльності суспільства в цілому.

Парадигма аксіоматичного моделювання відкриває нові можливості для свіжого погляду на ефективність та витратність процесу вирішення проблемних задач у будь-якій предметній області технічними засобами, шлях боротьби з «багатомовністю» і неоднозначністю здобутого рішення цих задач. Теорія штучного інтелекту, фундаментальна частина якої викладена в книзі автора «Штучний інтелект», перетворює згадані вище можливості в науку. Як і будь-яка інша наука, наука про штучний інтелект розбудовується, збагачуючись найсучаснішими знаннями про фізіологію людського мозку. У широкої перспективи є завжди зворотна сторона - вузькість устояного мислення й неминучий опір, обумовлений філософськими законами нашої природи. І проте, неминуче й рух уперед.

Претензії мов програмування на роль паралельної фундаментальної математики у світовому співтоваристві завдають величезних економічних збитків, збитків в освіті підростаючого покоління, збитків у пізнанні законів природи, збитків в пізнанні та розвитку прикладних наук. Якщо б мова класичної математики посіла свого законного місця в потоці цивілізаційного розвитку обчислювальної техніки та інтелектуалізації виробництва в цілому, то вже готові до використання математичні моделі, збудовані професіоналами, спеціалістами природніх, гуманітарних та прикладних наук не потребували б переформатування або перевизначення вузько спеціалізованими спеціалістами у традиційних мовах програмування, які неминуче вносять спотворення в предметну сутність вихідних математичних моделей, до яких (спотворень) їх спонукає функціональна неповнота традиційних мов програмування. Таким чином, чим раніше будуть викреслені з людської пам’яті будь-які мови програмування, тим раніше людство досягне очікуваних «проривів» в природніх, гуманітарних та прикладних науках.

III. Висновки

Для досягнення декларованої в доповіді мети необхідно:

Використовуючи досягнення авторської Теорії аксіоматичного моделювання, штучного інтелекту та праці автора з дослідження природнього інтелекту на межі фізіології людини та математичних дисциплін, докласти злагоджених зусиль фахівців у кібернетиці задля вироблення генеральної стратегії щодо розвитку кібернетики в найближчий та віддалений період. З цією метою провести незалежну дискусію щодо поглядів на цей напрям розвитку кожної з суміжних дисциплін, щодо способів співпраці. Але цього недостатньо. Необхідний постійний моніторинг досягнень у суміжних областях: фізиці, біології, фізіології людини, психології… Обов'язково постійне співробітництво фахівців у цих галузях знань і щоденна практична робота, проведення експерименту. Усе це вимагає організаційних зусиль по створенню платформи для такого співробітництва, здатної до постійної спільної роботи й оперативним діям, продуманої перспективної стратегії. Прикладом такого плідного співробітництва може служити багаторічне співробітництво нашого Інституту кібернетики НАН України з Національним медичним університетом ім. О.О. Богомольця.

Література References

[1] Глушков В.М. Введение в кибернетику. Киев: Изд-во АН УССР, 1964. 324 с.

[2] Кондратенко В.А., Кондратенко А.И. Теория и практика искусственного интеллекта в автоматическом доказательстве теорем. Киев: Полиграфкнига, 2006.100 с.

Deep Learning and the Optimal Regression Model

Dmytro Moroz
Faculty of Math, Physics and IT
Odesa National University
Odesa, Ukraine
dmytro@coherentmind.com

***Abstract*— Optimal models of the functional relationship between the target variable and the set of predictor variables are very important because they allow us to predict and understand data behavior. Approaches to the construction of such models are considered. A comparative analysis of two deep learning algorithms for the problem of predicting cryptocurrency volatility is performed. The advantage of GMDH-like algorithm in comparison with RNN LSTM algorithm is proved. Such advantages are the preservation of complex patterns and phenomena in the data, fairly accurate prognostic estimates in a short time, finding the best solution when searching all the variants of the model in a given class of functions.**

Keywords—model of optimal structure, polynomial regression, neural network, deep learning

I. INTRODUCTION

One of the most urgent and difficult problems of financial mathematics is the problem of forecasting asset prices. Analysis of the field of economic and financial forecasting shows that with the advent of electronic money, interest in the problem is only growing.

Cryptocurrencies, which have emerged through scientific and technological progress and computerization, are a subspecies of electronic money. Cryptocurrencies such as Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) and others, in contrast to traditional currencies such as USD and EUR, are decentralized digital currencies based on open-to-peer (P2P) Internet protocols. BTC and ETH use blockchain technology [1].

Regression analysis is used to predict, analyze time series, test hypotheses and find hidden patterns that may be present in the data. Predictions based on regression analysis methods are used for short-term and medium-term forecasting. But it does not allow adaptation, ie with the receipt of new data, the procedure for constructing a forecast must be repeated first. The optimal length of the lead period is determined separately for each time series, taking into account its statistical instability.

Cryptocurrencies are highly volatile, due to which their value changes significantly over time, unlike, for example, equity, and low correlation with traditional assets. There are also no clear basic principles for cryptocurrency assets on which to base fundamental trading strategies (for example, value-based strategies).

Therefore, for the development of strategies / forecasting of cryptocurrency trading it is necessary to apply more effective models based on deep learning, which will allow:

- *keep complex patterns and phenomena in the data and make more accurate prognostic estimates;*
- *do not miss the best solution when searching through all variants of the model in a given class of functions;*
- *automatically find relationships in the data and select effective input variables.*

Deep learning algorithms use neural networks that associate inputs and outputs with intermediate layers to model nonlinear connections. Each unit of the layer uses a certain representation of the data; for example, for time series data, the input level may correspond to a vector of numerical values or a matrix containing auxiliary data.

Given the specific architecture of the neural network, you need to find the right scales that connect different neurons (nodes). Choice of NN (Neural Network) architecture depends on the problem to be solved. Sequence-sequence modeling is mostly used for regression analysis.

The most widely used such models are models based on artificial intelligence and artificial neural networks ANN (Artificial Neural Network). The first work in this direction combined AR models and their modifications with ANN, which resulted in the model NNAR (Neural Network Autoregression). Analysis of the results of NNAR application showed that this model with revaluation at each stage can be used in hourly and minute-by-minute forecasts [12].

A technique using logistic regression and the method of support vectors SVM (Support Vector Machine) to predict the price of bitcoin is proposed in [3]. The model based on BNN (Bayesian Neural Network) is studied in [4], and in [5] the use of an ensemble of neural networks is proposed. Also, in [6] investigated the prediction of bitcoin using a technique based on the artificial neural network ANN (Artificial Neural Network) in combination with the use of market technical indicators - technical analysis. However, the results were unacceptable due to low productivity and training time.

II. Deep Learning Algorithms

A. Dilated Convolution Neural Network (DCNN)

DCNN is a specific type of convolutional NN (CNN) that allows you to return to historical data for a longer time by connecting an exponential number of input values to the output (using extended convolutional layers of different sizes). This provides better performance over long time series with strong historical dependencies.

B. Long short-time Memory (LSTM)

LSTM is a type of RNN (Recurrent Neural Network) that also studies input-output mappings over time, but the mapping is no longer fixed, as in a standard RNN. In the case of backpropagation, one problem that arises is the disappearance and explosion of gradients (which leads to 'bad' results due to division errors to zero). To solve this problem, LSTMs use "computational gates" to control the flow of information over time, allowing them to forget less useful historical information. Therefore, LSTMs cope better with long-term dependencies.

LSTM can be interpreted as a general form of another subtype of RNN - closed recurrent unit (GRU - Gated Recurrent Unit). The GRU has only an input gateway and a reset gateway. The latter also selectively forget historical information.

C. Group Method Data Handling (GMDH)

A distinction must be made between the original GMDH algorithms and GMDH-like algorithms. The original GMDH algorithms find a minimum of external criteria and thus implement an objective choice of the optimal model. This method is based on the inductive approach: the optimal models are found by searching for possible options and evaluating them by external criteria. It is calculated on a separate part of the data sample that was not used to build the models. The optimal model can be selected according to two criteria: the first (internal criteria) selects the best models on each row of search for structural identification, and the second (external criteria) finds the optimal model. The selection procedure stops when the minimum value of the criterion is reached.

A characteristic feature of other GMDH-like algorithms is the principle, which can be expressed as 'the more complex the model, the more accurate it is'. This requires the introduction of certain thresholds or the determination of the weighting factor in the formula of the internal criterion for finding the model in a subjective way. But real data is more often represented by short or noisy data samples. Unfortunately, almost all programs such as GMDH (NeuroShell2, ModelQuest, ASPN) and research in the US and Japan use this deductive approach, which is not effective for this type of data.

III. Inductive Algorithm GMDH

The inductive algorithm for finding the model of the optimal structure consists of the following steps.

A. Data Preprocecing

Suppose a given sample $D = \{(\mathbf{x_n}, y_n)\}$, $n = 1, \ldots, N$, $\mathbf{x} \in R^m$, which is divided into two training and test sub-samples.

B. Base Model Definition

We use Kolmogorov-Gabor's polynomial for the base model. The number of elements of the vector of the independent variable can be increased by adding nonlinear transformations of individual variables.

C. External Criteria Selection

We choose an external criterion for assessing the quality of the model - the objective function. As an external criterion, we choose the criterion of regularity based on metrics L_1 or $L2$.

D. Inductive Generation of Models

Each polynomial model can be uniquely defined by a set of indices s of its monomials, which make it up:

$$y = w_0 + w(s) \cdot a(s),\ s \subseteq \{1, \ldots, F_0\} \qquad (1)$$

where $\boldsymbol{w}$ is coefficients of the Kolmogorov-Gabor polynomial, and $\boldsymbol{a}$ is the result of the product of the independent variables of the corresponding monomials, F_0 – is the result of the product of the independent variables of the corresponding monomials. The generated models are given by linear combinations of elements (w_i, a_i).

E. Model Parameter Fitting

Model parameter fitting using an internal criterion MSE (Mean Square Error). To do this, use the training sample obtained in stage *A*. The result is a matrix $\mathbf{A}$ of column vectors $\boldsymbol{a_i}$. We construct a system of equations $\mathbf{y} = \mathbf{Aw}$, from which we find the vector of parameters vector of parameters $\mathbf{w}$.

The vector of parameters is found using MSE:

$$\mathbf{w} = argmin\ |\ \mathbf{Aw} - \mathbf{y}\ |^2$$

$$\mathbf{w} = (\mathbf{A}^T\ \mathbf{A})^{-1}\ \mathbf{A}^T\ \mathbf{y}.$$

Due to the fact that the matrix ($\mathbf{A}^T\mathbf{A}$) is ill-conditioned matrix, the inverse Moore-Penrose mapping and the singular decomposition were used for its inversion.

F. Optimal Model Selection

Choice of model by external criterion.

IV. Results And Conclusion

GMDH has advantages when there is no or almost no a priori information about the structure of the model and the distribution of its parameters, and when the data of observations are very small, or the parameters of the model are even greater than the number of observations.

The research was performed with the support of the company CoherentMind.

Then this approach allows is the best to select a model of optimal complexity from a given class of models to describe a given set of data.

The conclusions of the research are as follows:

- the predictive properties of regression analysis were applied to predict the price of cryptocurrency;
- describes the most common deep learning architectures, which are currently successfully used to predict time series, highlighting their advantages and limitations;
- recurrent neural networks of LSTM type and inductive neural network GMDH are considered;
- discussed and provided practical aspects related to the establishment of values for network hyperparameters and the choice of the optimal regression model;
- the results of comparative analysis of deep learning networks, which confirmed the advantages of the inductive neural network GMDH in terms of speed-accuracy of the forecast.

In order to improve the forecast in the future, it would be useful to conduct research with nonlinear models and the criterion of comparison and selection of models based on the related Bayesian conclusion.

REFERENCES

[1] S. Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [online] Available: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf.

[2] Khashei, M. and Bijari. "A novel hybridization of artificial neural networks and ARIMA models for time series forecasting." Applied Soft Computing, Vol. 11, No. 2, pp. 2664–2675, 2011.

[3] H. Jang and J. Lee. "An Empirical Study on Modeling and Prediction of Bitcoin Prices With Bayesian Neural Networks Based on Blockchain Information," *IEEE ACCESS, vol. 6*, pp. 5427–5437, 2018.

[4] A. Radityo, Q. Munajat, and I. Budi, "Prediction of Bitcoin exchange rate to American dollar using artificial neural network methods," *in Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 2017 International Conference on, pp. 433–438, 2017.

[5] E. Sin and L. Wang, "Bitcoin Price Prediction Using Ensembles of Neural Networks," *in 2017 13th International conference on natural computation, fuzzy systems and knowledge discovery (ICNC FSKD)*, pp. 666–671, 2017.

Критерій Оптимальності Регулярного Логічного Дерева на Основі Поняття Подібності

Повхан Ігор Федорович
кафедра програмного забезпечення систем
ДВНЗ "Ужгородський національний університет"
Ужгород, Україна
igor.povkhan@uzhnu.edu.ua

Optimality Criterion for a Regular Logical Tree Based on the Concept of Similarity

Igor Povkhan
department of software systems
UzhNU University
Uzhgorod, Ukraine
igor.povkhan@uzhnu.edu.ua

Анотація. **Дана робота піднімає питання пов'язані з логічними деревами класифікації, які використовуються в задачах розпізнавання дискретних об'єктів, а саме проблему вибору ефективного критерію оптимальності регулярного логічного дерева. Результати даного дослідження дозволяють забезпечити ефективний механізм остаточної мінімізацію результуючих схем розпізнавання дискретних об'єктів. Так-як логічне дерево представляє собою певне правило класифікації, то знаходження його мінімальної форми дозволяє забезпечити економію пам'яті, процесорного часу, значно підвищити швидкість розпізнавання об'єктів та ефективність системи класифікації в цілому. Зауважимо, що робота актуальна для всіх методів розпізнавання образів в яких отримана функція класифікації може бути представлена у вигляді логічного дерева.**

Abstract. **This paper raises issues related to logical classification trees used in discrete object recognition problems, namely, the problem of choosing an effective criterion for the optimality of a regular logical tree. The results of this study provide an effective mechanism for the final minimization of the resulting recognition schemes of discrete objects. Since the logical tree is a certain classification rule, finding its minimum form allows to save memory, CPU time, significantly increase the speed of object recognition and the efficiency of the classification system as a whole. Note that the work is relevant for all methods of pattern recognition in which the resulting classification function can be represented as a logical tree.**

Ключові слова: задачі розпізнавання образів; логічне дерево; граф-схемні моделі, критерій оптимальності.

Keywords: pattern recognition problems, logical tree, graph-scheme models, optimality criterion.

I. ВСТУП

Дана робота продовжує цикл робіт [1,2,3,4] в яких піднімаються принципові питання пов'язані з логічними деревами класифікації (в даному випадку під логічних деревом будемо розуміти деяке граф-схемне представлення результуючої схеми розпізнавання образів), як питання мінімізації логічних дерев, дослідження стійкості щодо перестановки ярусів, оцінки складності найбільшого дерева, загальний алгоритм побудови самого складного логічного дерева. Тут досліджується особливість генерації узагальнених ознак (вершин) схем класифікації, які конструюються в процесі навчання системи розпізнавання (логічне дерево класифікації фактично представляє собою згенеровану функцію розпізнавання) у вигляді граф-схемних моделей.

Так в роботах [5,6] було показано, що побудовану схему розпізнавання (у вигляді логічного дерева класифікації) можна записати або в ДНФ, або в КНФ формі. Так дерево розпізнавання, яке являє собою певне правило класифікації, можна представити за допомогою відповідної логічної функції $y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$. Також відомо, що результуюче правило класифікації, яке побудоване довільним методом або алгоритмом на основі логічного дерева, має деревоподібну логічну структуру. Воно складається з вершин (ознак), які групуються по ярусам і які отримані на певному кроці (етапі) побудови дерева розпізнавання.

На відміну від існуючих методів, головною особливістю систем розпізнавання (які базуються на основі логічних дерев) є те, що важливість окремих ознак (групи

ознак) визначається відносно функції, яка задає розбиття об‘єктів на класи. Причому слід пам‘ятати, числова величина вказаної важливості характеризує собою помилку розподілу об‘єктів на класи (це стосується наприклад методу розгалуженого вибору ознак).

II. ПОДІБНІСТЬ ЛОГІЧНОГО ДЕРЕВА

На першому етапі, нехай є деяке логічне дерево (довільної структури), яке представляє функцію $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ для $k-$ значної логіки від n змінних. Далі визначимо кількість характеристичних функцій $L_{\text{дуж}}(f)$ у дужковій формі функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, яка отримана за допомогою даного логічного дерева.

Відмітимо, що переходи логічного дерева (ребра графа) відповідають характеристичним функціям у дужковій формі, але через те, що існують подібні вершини та тотожність $\varphi_i(x) * 0 = 0$, то кількість міток (атрибутів) у дереві буде менше ніж кількість ребер (переходів у структурі логічного дерева). Тоді будемо мати наступне:

$$L_{\text{дуж}}(f) = \frac{k^{n+1} - k}{k - 1} - S_n.$$

Зауважимо, що $\frac{k^{n+1}-k}{k-1}-$ загальна кількість ребер логічного дерева функції $k-$ значної логіки від n змінних, величину S_n назвемо подібністю логічного дерева відповідної функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, де $S_n > 0$. Очевидно, що оптимальним є таке логічне дерево, для якого буде виконуватися $S_n = \max(S_{n_i})$.

Зауважимо, що величина подібності S_n може слугувати критерієм оптимальності логічного дерева (графа).

III. МЕТОДИ ЗНАХОДЖЕННЯ ПОДІБНОСТІ СТРУКТУР ЛОГІЧНИХ ДЕРЕВ

На наступному етапі дослідження розглянемо два можливі підходи знаходження подібності логічного дерева S_n.

Метод (А) знаходження подібності S_n для логічного дерева.

Нехай маємо логічне дерево функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При цьому можливі два випадки:

а) Верхня вершина (вершина першого ярусу) логічного дерева є подібною. В цьому разі логічне дерево можна представити піддеревом, лівою гілкою початкового дерева. Нехай верхня вершина логічного дерева відповідає змінній x_i. Тоді має місце наступна формула:

$$L_{\text{дуж}}(f) = L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_0}(x_i)\right) = \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_0^i}. \quad (1.(a))$$

Зауважимо, що $S_{n-1}^{\varphi_0^i} -$ подібність піддерева, яке представляє ліву гілку (піддерево) початкового логічного дерева.

Тобто в цьому випадку будемо мати наступне:

$$S_n = k^n + S_{n-1}^{\varphi_0^i}. \quad (1.(b))$$

b) Верхня вершина логічного дерева (вершина першого ярусу) не є подібною, тоді будемо мати наступне:

$$L_{\text{дуж}}(f) = L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_0}(x_i)\right) + L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_1}(x_i)\right) + \cdots$$
$$\dots + L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_{k-1}}(x_i)\right) + k. \quad (1.(c))$$

Зауважимо, що формула (1.(c)) має місце в тому випадку, якщо на деякому ребрі логічного дерева є функція $\equiv 0$, тоді з (1.(a)) та (4), отримаємо, що $L_{\text{дуж}}(f \equiv 0) = -1$.

Відмітимо, що кількість міток кожного з піддерев початкового логічного дерева визначається наступним чином:

$$L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_0}(x_i)\right) = \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_0^i},$$
$$L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_1}(x_i)\right) = \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_1^i},$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$L_{\text{дуж}}\left(f_{\varphi_{k-1}}(x_i)\right) = \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_{k-1}^i}.$$

Зауважимо, що $S_{n-1}^{\varphi_0^i}, S_{n-1}^{\varphi_1^i}, \dots, S_{n-1}^{\varphi_{k-1}^i}$ – подібність відповідних піддерев (підграфів) початкового логічного дерева.

Остаточно будемо мати наступне:

$$L_{\text{дуж}}(f) = \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_0^i} + \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_1^i} + \cdots + \frac{k^n - k}{k-1} - S_{n-1}^{\varphi_{k-1}^i} + k =$$
$$= \frac{k^n - k}{k-1} * k + k - S_{n-1}^{f_i} = \frac{k^{n+1} - k^2 + k^2 - k}{k-1} - S_{n-1}^{f_i} = \frac{k^{n+1} - k}{k-1} - S_{n-1}^{f_i}.$$

Отже, на виході отримаємо:

$$S_{n-1}^{f_i} = \sum_{j=1}^{k-1} S_{n-1}^{\varphi_j^i}. \quad (2)$$

З (2) отримаємо $S_n = S_{n-1}^{f_i}$.

Далі, об‘єднавши результати пунктів (a) та (b), можна представити наступне:

$$S_n = \begin{cases} k^n + S_{n-1}^{\varphi_0^i}, & \text{верхня вершина подібна;} \\ S_{n-1}^{f_0^i}, & \text{верхня вершина не є подібною.} \end{cases} \quad (3)$$

На наступному етапі, розглядаючи піддерево, яке складається з однієї вершини нижнього ярусу дерева, приходимо до величини $S_0 -$ подібності кінцевого ребра логічного дерева, причому:

$$S_0 = \begin{cases} 1, & \text{кінцеве ребро відповідає нулю;} \\ 0, & \text{кінцеве ребро не відповідає нулю.} \end{cases} \quad (4)$$

IV. ПОВНА ПОДІБНІСТЬ ЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ

Метод (В) знаходження подібності S_n для логічного дерева.

Визначення 1. Сукупність комірок діаграми Венна, відповідає наборам змінних:

$$x_1^{\sigma_1}, x_2^{\sigma_2}, \dots, x_{i-1}^{\sigma_{i-1}}, 0, x_{i+1}^{\sigma_{i+1}}, \dots, x_n^{\sigma_n};$$
$$x_1^{\sigma_1}, x_2^{\sigma_2}, \dots, x_{i-1}^{\sigma_{i-1}}, 1, x_{i+1}^{\sigma_{i+1}}, \dots, x_n^{\sigma_n};$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$x_1^{\sigma_1}, x_2^{\sigma_2}, \dots, x_{i-1}^{\sigma_{i-1}}, k-1, x_{i+1}^{\sigma_{i+1}}, \dots, x_n^{\sigma_n}.$$

Будемо називати її повною системою $x_i -$ порівнюваних комірок.

Запис $x_l^{\sigma_l}$ означає, що змінна x_l на даному наборі приймає відповідне значення σ_l, $(\sigma_l \in \{0,1,\dots,k-1\})$.

Так, якщо в усіх комірках $x_i -$ порівнюваної системи комірок записано одне і те саме число, тобто одне і те саме значення функції, то будемо говорити, що вони є $x_i -$ подібними. Кількість $x_i -$ подібних систем комірок у таблиці Венна логічної функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ назвемо $x_i -$ подібністю функції. Позначимо цю величину через S_f^i.

Визначення 2. Повною подібністю деякої логічної функції будемо називати наступну величину:

$$S_f = k * \sum_{i=1}^{n} S_f^i. \quad (5)$$

Далі введемо для розгляду наступну величину:

$$R_i = k * \sum_i S_{f_{r_i}}^i. \quad (6)$$

Зауважимо, що індекс f_{r_i} означає, що береться вихідна функція $i -$ ої вершини (тобто вершини, в якій записано x_i). Верхній індекс і означає, що для функції f_{r_i} є подібність тільки за x_i.

Відмітимо, що тут $f_{r_i} -$ вихідна функція $i -$ ої подібної вершини. Сумування ведеться по всіх подібних вершинах, які не входять у ліві гілки особливих піддерев.

Уведемо ще одну величину:

$$R_j = k * \sum_j S_{f_{r_j}}^j. \quad (7)$$

Аналогічно $f_{r_i} -$ вихідна функція $j -$ ої вершини, яка не є подібною і в яку записано j. Сумування ведеться по всім вершинам, які не є подібними.

Подібність на основі кінцевих ребер логічного дерева позначимо через Q. Іншими словами, $Q -$ це кількість нульових ребер у логічному дереві, які враховуються при підрахунку подібності за вказаним вище методом.

Лема 1. Повну подібність логічної функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ можна визначити з наступного співвідношення:

$$S_f = k * \sum_{l=1}^{n} \sum_{f_{r_l}} S_{f_{r_l}}^l. \quad (8)$$

Зауважимо, тут $f_{r_l} -$ вихідна функція $l -$ ої вершини логічного дерева. Сумування ведеться в усіх вершинах логічного дерева (графа).

Доведення. Нехай у верхній вершині логічного дерева знаходиться деяка змінна x_{i_1}. Вихідна функція верхньої вершини логічного дерева співпадає з самою функцією $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, тому $S_f^{i_1}$ функції та логічного дерева співпадають.

Нехай у лівій гілці другого ярусу логічного дерева знаходиться змінна x_{i_2} (у вершині відповідного піддерева). Тоді жоден із наборів, які відповідають вихідним функціям вершин x_{i_2}, розташованих в інших піддеревах початкового дерева, не може бути $x_{i_2} -$ порівнюваним із наборами лівого піддерева, оскільки вони відрізняються змінною x_{i_1}.

Аналогічно набори, які відповідають вихідним функціям різних вершин дерева, в яких записано x_{i_2}, відрізняються хоча б тією змінною, яка знаходиться у вершині, де зустрічаються дані вихідні функції. Тобто деяка вершина логічного дерева є вершиною, де сходяться вихідні функції двох інших вершин логічного дерева, якщо при руху вверх по ребрах від двох останніх вершин цих функцій першою їх спільною вершиною (через яку вони пройдуть) буде вищевказана вершина.

Отже, було показано, що набори, які відповідають вихідним функціям різних вершин даного логічного дерева не можуть бути $x_{i_2} -$ порівнюваними, а тому не можуть бути і $x_{i_2} -$ подібними. Отже, можна записати наступне:

$$S_f^{i_2} = \sum_{f_{r_{i_2}}} S_{f_{r_{i_2}}}^{i_2}.$$

Відмітимо, що тут сумування ведеться за всіма вихідними функціями вершин логічного дерева, в яких записано i_2.

Отже, на наступному етапі, міркуючи аналогічним чином для вершин логічного дерева, які відповідають довільній x_l, приходимо до затвердження леми:

$$S_f = k * \sum_{l=1}^{n} S_f^l = k * \sum_l \sum_{f_{r_l}} S_{f_{r_l}}^l.$$

Звідси робимо висновок, що лему доведено.

Теорема 1. Для довільного логічного дерева, яке представляє деяку фіксовану логічну функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ $k -$ значної логіки маємо наступне:

$$S_n = S_f - R_i - R_j + Q. \quad (9)$$

Доведення. Відмітимо спочатку, що вираз $R_i + R_j$ дорівнює сумі $x_i -$ подібності за всіма вихідними функціями всіх вершин логічного дерева, крім тих його вершин, які беруть участь у підрахунку подібності, тобто крім вершин, які входять у ліві гілки особливих піддерев (це слідує з визначення величин R_i та R_j).

Але подібність S_n дорівнює подібності за рахунок вершин плюс величина Q. Позначимо подібність за рахунок подібних вершин через S_n^1. Тоді будемо мати наступне:

$$S_n = S_n^1 + Q. \quad (10)$$

Але з іншого боку відомо:

$$S_n^1 + R_i + R_j = S_f. \quad (11)$$

Далі з (11) отримаємо наступне:

$$S_n^1 = S_f - R_i - R_j. \quad (12)$$

На останньому етапі, підставляючи (12) у (10), будемо мати наступне:

$$S_n = S_f - R_i - R_j + Q.$$

Отже, можна зробити висновок, що теорему доведено.

Таким чином, вище було представлено два методи визначення подібності функції S_n. При підрахунку подібності за допомогою логічного дерева раціонально використовувати перший спосіб.

V. Прикладна частина

Для пояснення вищевикладених методик розглянемо приклад визначення подібності функції, яка задана у вигляді таблиці Венна (табл. 1).

Відмітимо, що при підрахунку подібності враховуються тільки ті подібні вершини логічного дерева, які не входять у праві гілки особливих піддерев та такі ж нулі. Тут використовувався перший спосіб (Метод (А) для логічного дерева) визначення подібності.

Зауважимо, що на рисунку нулі, які враховувались при підрахунку подібності, позначено нижніми рисками (підкреслюванням).

Визначимо кількість характеристичних функцій у дужковій формі логічної функції:

$$L_{дуж}(f) = \frac{k^{n+1} - k}{k - 1} - S_n = \frac{3^5 - 3}{2} - 89 = 120 - 89 = 31.$$

Таблиця 1. Таблиця Венна функції $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ трьох-значної логіки.

x_4^0	x_4^1	x_4^2	x_4^0	x_4^1	x_4^2	x_4^0	x_4^1	x_4^2	
0	0	1	2	2	2	0	0	0	x_2^0
0	0	1	2	2	2	0	0	0	x_2^1
0	0	1	2	2	2	0	0	0	x_2^2
1	1	1	0	0	1	2	2	2	x_2^0
1	0	2	1	0	2	1	0	2	x_2^1
0	0	2	0	0	0	1	1	0	x_2^2
2	2	2	0	0	0	2	1	0	x_2^0
1	0	1	1	0	1	1	0	1	x_2^1
0	2	1	0	2	1	0	2	1	x_2^2
x_3^0			x_3^1			x_3^2			

Логічне дерево функції $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ показано на (Рис. 1). Відмітимо, що всі подібні вершини логічного дерева позначено верхньою рискою. Визначивши подібність даного логічного дерева, отримаємо $S_n = 89$.

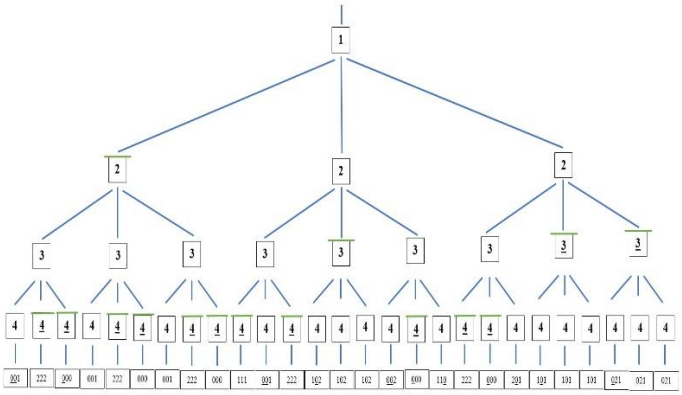


Рис. 1. Логічне дерево функції $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ прикладу.

VI. Висновки

Зважаючи на все вищезазначене в роботі, можна зафіксувати наступне:

1) Відмітимо, що кількість характеристичних функцій у дужковій формі $L_{дуж}(f)$ функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ можна визначити за допомогою формули $L_{дуж}(f) = \frac{k^{n+1}-k}{k-1} - S_n$.

2) Повною подібністю деякої логічної функції будемо називати величину $S_f = k * \sum_{i=1}^{n} S_f^i$.

3) Повну подібність логічної функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ можна визначити за допомогою співвідношення $S_f = k * \sum_{l=1}^{n} \sum_{f_{r_l}} S_{f_{r_l}}^l$.

4) Для довільного логічного дерева, яке представляє деяку фіксовану логічну функцію $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ $k -$ значної логіки, маємо, що $S_n = S_f - R_i - R_j + Q$.

Література References

[1] Повхан І.Ф. Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації / Ф.Г. Ващук, Ю.А. Василенко, І.Ф. Повхан // Науково технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. – 2011. – 6/4(54). – С. 24-28.

[2] Повхан І.Ф. Загальна оцінка мінімізації деревоподібних логічних структур / Ф.Г. Ващук, Ю.А. Василенко, І.Ф. Повхан // Науково технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. – 2012. – 1/4(55). – С. 29-33.

[3] Повхан І.Ф. Мінімізація логічних деревоподібних структур в задачах розпізнавання образів / І.Ф. Повхан, Ю.А. Василенко, Е.Ю Василенко, М.Й. Ковач, О.Д. Нікарович // Науково технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. – 2004. – 3[9]. – С. 12-16.

[4] Повхан І.Ф. Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі метода розгалуженого вибору ознак / Повхан І.Ф., Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю. // Науково технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. – 2004. – №7[1]. – С. 13-15.

[5] Povhan I. Designing of recognition system of discrete objects / Povhan I.F. // 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, pp. 226-231, 2016.

[6] Povhan I. General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects / Povhan I.F. // Збірник наукових праць "Електроніка та інформаційні технології", Львів. – 2019. – Випуск 11. – С. 112-117.

[7] Повхан І.Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибіркив задачах розпізнавання дискретних об‘єктів / І.Ф. Повхан // Вчені записки Таврійськогонаціонального університету. Серия: технічні науки. – 2018. – Том 29(68) №6 2018. – С.217-222.

[8] Повхан І. Ф. Питання структурної складності для випадку регулярного логічного дерева. / І.Ф. Повхан // Scientific and technical progress in European countries and the contribution of higher education institutions: collective monograph. Riga: Izdevnieciba “Baltija Publisher”. 2020. 308 p.

[9] Povhan I. Generation of elementary signs in the general scheme of the recognition system based on the logical tree. / I. Povhan // Збірник наукових праць "Електроніка та інформаційні технології", Lviv. – 2019. Vol. 12. – С. 20–29.

[10] Povhan I. Question of the optimality criterion of a regular logical tree based on the concept of similarity. / I. Povhan // Збірник наукових праць "Електроніка та інформаційні технології", Lviv – 2020. Vol. 13. – С. 19–27. DOI: https://doi.org/10.30970/eli.13.2

[11] Повхан І. Ф. Задача загальної оцінки складності максимального побудованого логічного дерева класифікації. / І.Ф. Повхан // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. пр. Серія: Інформатика та моделювання, – 2019. №13 (1338). – С. 104–117.

[12] Povhan I. Logical classification trees in recognition problems. / I. Povhan // Kwartalnik Naukowo-Techniczny: Informatyka Automatyka Pomiary w gospodarce o ochronie srodowiska. Krakow, - 2020. №2. – P. 12–16. DOI: http://doi.org/10.35784/iapgos.927

[13] Повхан І. Ф. Питання оцінки ефекту перестановки ярусів логічного дерева максимальної складності для бінарного випадку. / І.Ф. Повхан // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, – 2020. №2 (480). – С. 99–107.

Використання Рефлекторного Методу для Прогнозування Результатів Футбольних Матчів

Юрій Тесля
кафедра інформаційних технологій проектування
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
teslyas@ukr.net)

Олексій Єгорченков
кафедра технологій управління
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
alexee@ukr.net

Андрій Хлевний
кафедра технологій управління
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
andlev@ukr.net

Юлія Хлевна
кафедра технологій управління
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
yuliya.khlevna@gmail.com

Євгенія Катаєва
кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
kataevae@ukr.net

Using the Reflex Method to Predict the Results of Football Matches

Iurii Teslia
Department of Information Technology Design
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
teslyas@ukr.net

Iulia Khlevna
Department of Technology Management
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukaraine
yuliya.khlevna@gmail.com

Oleksii Yehorchenkov
Department of Technology Management
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukaraine
alexee@ukr.net

Kataieva Yevheniia
Department of Software of Automated Systems
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
kataevae@ukr.net

Andrii Khlevnyi
Department of Technology Management
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukaraine
andlev@ukr.net

Abstract. The possibility of using reflex intelligent systems to predict the results of football matches is demonstrated. The results of forecasting in the period 2011-2018 are given and it is shown that the developed system surpasses in accuracy the forecast of bookmakers' experts.

Keywords - reflex method, model of non-force (information) interaction, forecasting.

I. Introduction

A very important area of human activity is to predict the results of decisions, the behavior of technical, biological or social systems in a given environment, etc. Many different systems have been created in this area. But… So far, their results, in the vast majority of cases, do not meet the requirements of specialists in various fields. Therefore, there is a need for further research aimed at building effective prediction systems.

II. Analytics of literature data

Creation of prediction systems is carried out in many areas [1-3]. One of the methods of prediction is reflex, which underlies the construction of intelligent systems [4]. Therefore, it is understandable to try to use this method to build systems for forecasting the results of football matches, as an area in which there is enough data to assess the effectiveness of methods and prediction systems [3].

III. Research purpose and objectives

The purpose of the work is to test the possibility of using the reflex method [4] to forecast the results of football

matches. To achieve this purpose, it is necessary to solve the following tasks: to develop a reflex system for forecasting the results of football matches; to test the developed system.

IV. THE PRIMARY RESEARCH MATERIAL

The results of football matches are influenced by many factors. The more information about the upcoming match, about the influences of various factors on it, the more accurate the forecast will be. For *n* factors we have a conditional probability

$$p(R_j / T_{j_1}^1 T_{j_2}^2 ... T_{j_k}^k ... T_{j_n}^n) \quad (1)$$

where $T_{j_k}^k$ – the value of the factor K_k.; R_i – match result.

In [5] it was shown that it is possible to predict the following of linguistic components using the model of non-force interaction. If a given sequence of text fragments in a language $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow \dots a_i \rightarrow \dots a_n \rightarrow \dots$, then using the model of formation of this sequence by processes of non-force (information) interaction it is possible with high probability to predict fragment a_i by known a_{i-1}, a_{i-2}, etc. The results of experiments presented in [5] are based on the proposed method [4], in which the deviation of the conditional probability from the unconditional in stochastic processes (in this case the appearance of fragments of text) is explained by the existence of non-force (information) influence on this process:

$$d(R_i / T_j) = \frac{\pm\sqrt{\frac{p(R_i / T_j)\cdot(1-p(R_i))}{p(R_i)\cdot(1-p(R_i / T_j))} + \frac{p(R_i / T_j)\cdot(1-p(R_i))}{p(R_i)\cdot(1-p(R_i / T_j))}} - 2}{2} \quad (2)$$

where $p(R_i)$ – unconditional probability of the result R_i; $d(R_i/T_j)$ – non-force (information) influence of the factor T_j on the result R_i.

An assessment of the influence of all factors can be obtained from the expression:

$$d(R_i / T_{j_1}^1 T_{j_2}^2 ... T_{j_k}^k ... T_{j_n}^n) = \sum_{k=1}^{n} d(R_i / T_{j_k}^k) \quad (3)$$

where $d(R_i / T_{j_1}^1 T_{j_2}^2 ... T_{j_k}^k ... T_{j_n}^n)$ – summary influence of the factors $T_{j_1}^1 T_{j_2}^2 ... T_{j_k}^k ... T_{j_n}^n$ on the result R_i.

Using the reflex method and the results presented in [5], it is possible to present the forecast of each match as a prediction of the appearance of the final fragment of the sentence text, according to known previous (factors influencing the outcome of the match). Factors taken into account for forecasting are the field on which the match takes place; the number of points scored in the previous match, in 3 previous matches, in 5 previous matches; team rating difference; how they played the previous match. For each factor (text fragment), based on the statistics of previous matches, the magnitude of its influence on the outcome of the match is calculated. The result of the match is selected according to the largest total value of influence (4): win, draw, loss. A system for forecasting the results of UM football matches has been developed. As a result of experimental studies of the system on the results of matches of European championships and international tournaments in 2011-2017, according to which the developers had coefficients on the result of the match of bookmakers (to compare the results of the system with the results of professionals in bookmakers). From information about 37381 matches the following results were obtained: the correct forecast of the result (win, draw, loss) by the system is 20083, by the bookmaker is 20080. 4324 match accounts are correctly forecasted, which is 11.6%. Expert knowledge is very important for forecasting. Therefore, the idea arose to take into account the opinion of experts (factor), invested in the coefficients on the match. The results of forecasting by this method have improved, and amounted to 20142 correctly predicted results. It is clear that with such indicators due to the margin, the reflex system will not be able to win in the tote. But there was a way out. And what if you do not bet on all matches, but only on those where the probability of the result of the system "significantly" differs from the probability, which is laid by experts in the coefficients? Find the "error" in the forecast of experts. The limit at which a win can be obtained has been found. These are matches in which the predicted probability of some result was not less than 0.8 and the product of this probability on the coefficient gave a value of not less than 0.9. There were 2534 such matches. The expected win is 55,000 hryvnias (if you bet 1000 hryvnias per match). Which is 2.17%. A bit. But there is hope…

V. CONCLUSIONS

The field of forecasting the results of football matches gives researchers the opportunity to objectively evaluate new models and methods of forecasting in various areas of human activity. To do this, the authors developed a reflex system for predicting the results of football matches and conducted an experimental test. It is shown that the system of forecasting the results of football matches created on the basis of the reflex method surpasses experts in this field in its efficiency.

VI. REFERENCES

[1] Bidyuk P.I Probabilistic-statistical methods of modeling and forecasting: monograph / PI Bidyuk, OP Gozhiy. - Mykolaiv: BSU Publishing House. Petra Mogili, 2014. - 440 p.

[2] Sineglazov V. M. Intellectual forecasting methods: monograph / V. M. Sineglazov, E. I. Chumachenko, V. S. Gorbatyuk. - K.: Osvita Ukrainy, 2013 .-- 219 p. - Bibliography: p. 209-219.

[3] S.D. Shtovba, V.V. Vivdyuk Predicting the results of football matches based on fuzzy rules. URL: http: //shtovba.vk.vntu.edu.ua/file/bc407aa9b5afed2e9e9a6c8e5a6c6ab7.pdf

[4] Teslia, I., Pylypenko, V., Popovych, N., Chornyy, O. 2014. The Non-Force Interaction Theory for Reflex System Creation with Application to TV Voice Control. 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2014), LERIA, France, pp. 288-296.

[5] Iurii Teclia Experimental Verification of General Validity of Non-force Interaction Formula. URL:https://assets.researchsquare.com/files/rs-138538/v2_stamped.pdf (06/06/2021 last accessed).

СЕКЦІЯ 5.

Захист інформації
в інформаційно-телекомунікаційних системах

SECTION 5.

Information protection in information
and telecommunication system

Система Розпізнавання Відбитків Пальців в Умовах Зашумлених Зображень

Олеся Войтович
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
voytovych.olesya@vntu.edu.ua

Галина Крайнічук (Шелепало)
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
kraynichuk@ukr.net

Михайло Чайкін
Напрямок забезпечення функціонування СУІБ
АТ "Державний експортно-імпортний банк України"
Київ, Україна
mchaikin@outlook.com

В'ячеслав Майстренко
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
slavikmai@gmail.com

Fingerprint Recognition System in Noisy Images

Olesia Voitovych
dept. of chair Information Protection
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine
voytovych.olesya@vntu.edu.ua

Halyna Krainichuk (Shelepalo)
dept. of chair Information Protection
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine
kraynichuk@ukr.net

Mykhailo Chaikin
Direction of ensuring the functioning of the ISMS
JSC "State Export-Import Bank of Ukraine"
Kyiv, Ukraine
mchaikin@outlook.com

Vyacheslav Maistrenko
dept. of chair Information Protection
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine
slavikmai@gmail.com

***Анотація*—робота присвячена питанню розпізнавання відбитків пальців при використанні зашумлених зображень. Запропоновано використовувати послідовність методів оброблення вхідних біометричних зразків на основі нейромереж та цифрової обробки зображень. Завдяки такому підходу, робастність нейронних мереж дозволяє ефективно зменшувати рівень шуму зображення для їх подальшого оброблення за допомогою інших методів, що значно покращує якість розпізнавання.**

***Abstract*— work is devoted to the issue of fingerprint recognition in noisy images. It is proposed to use a sequence of methods for processing input biometric samples based on neural networks and digital image processing. Thanks to this approach, the robustness of neural networks allows to effectively reduce the image noise level for their further processing using mathematical methods, which significantly improves the quality of recognition.**

Ключові слова—кібербезпека; ідентифікація; відбитки пальців; система розпізнавання

Keywords—cyber security; identification; fingerprints; recognition system

I. Вступ

На сьогоднішній день, задача підвищення точності біометричної ідентифікації за відбитками пальців стає все більш актуальною особливо з огляду на все ширше її застосування в різноманітних задачах інформаційної та/або кібербезпеки [1, 2]. Сучасні системи, зазвичай працюють з чистими біометричними зразками, і показують низьку достовірність, якщо біометричний зразок містить значні артефакти, наприклад, відбитки з високим рівнем шумів або сфотографованих під різними кутами. Відновлення якості зображення відбитку пальця є одним із варіантів підвищення точності роботи алгоритмів ідентифікації.

Отже, метою роботи є розробка системи розпізнавання відбитків пальців в системах біометричної ідентифікації при наявності зашумлених біометричних зразків.

II. Аналіз відомих методів

Основна задача відновлення якості відбитку полягає у відсіюванні шуму та виділені основного візерунку пальця з вхідного зображення. Зазвичай, для вирішення цієї задачі, використовують або алгоритми цифрової обробки зображень або апарат нейронних мереж [3].

Приклад зображень, покращення яких розглядається у роботі, з різними видами шуму наведено на рис. 1.

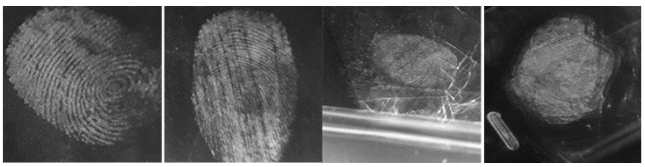


Рис. 1. Приклад зашумлених зображень

Більша частина існуючих алгоритмів знешумлення зображень відбитків пальців зводиться до модифікації лінійного фільтру Габора або інших методів обробки зображень, такі як перетворення Фур'є, Вейвлет перетворення тощо. Однак високий рівень завад або розмитість вхідного зображення ускладнюють роботу математичних алгоритмів. Тому майже всі математичні моделі працюють з малозашумленими зображеннями. Також, більша частина існуючих нейромережевих засобів покращення зображення відбитку не дає ефективного результату на досліджуваних даних, оскільки специфіка їх тренування кардинально відрізняється від необхідного для вирішення поставленої задачі [3].

III. Розробка системи розпізнавання відбитку пальця

Запропонована система відновлення якості зображень відбитків пальців складається з п'яти модулів.

Першим етапом роботи системи є зчитування зображення з вхідного повідомлення та виділення з отриманого зображення області з відбитком пальця.

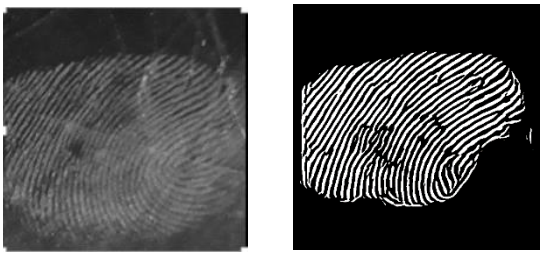
Далі отримане зображення відбитку пальця піддається алгоритму еквалізації гістограми. Модуль виконує обробку зображення за допомогою алгоритму CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [4].

Отримане зображення передається до модулю обробки зображення з використанням знешумлювальної нейронної мережі. За основу взята архітектура FPD-M-net [5].

Далі, знешумлене нейромережею зображення подається до модуля обробки за допомогою алгоритму Річардсона-Люсі [6].

Останнім кроком обробки зображення є остаточне оброблення, тобто детектування і виділення ліній відбитку пальця, за допомогою аналізу направленості вершин [7]. Отримані лінії виділяються білим кольором, а весь інший фон – чорним.

Результат покращення зображення показано на рис.2.



а) вхідне зображення б) кінцевий результат

Рис. 2. Результати роботи системи розпізнавання зображення

Оцінювання роботи системи здійснено методом експертних оцінок за допомогою групи експертів, в результаті точність якості відновлення зображення відбитку пальця склала 73,35 %.

IV. Висновки

Запропоновано використовувати для розпізнавання відбитків пальців з високим ступенем зашумлення комбінацію методів цифрової обробки сигналів та модель нейронної мережі, на основі архітектури FPD-M-net. Задача нейронной мережі полягає у знешумлені і виділені візерунку відбитку пальця з вхідного зображення. Задачами методів цифрової обробки зображень є виділення границь, знешумлення, детектування ліній і виділення відбитку пальця. Для експериментальних досліджень розроблено програмний засіб та здійснено оцінювання якості відновлення зображень, використовуючи метод експертних оцінок. В результаті, достовірність експериментального зразка становить 73.35%. Такий результат є співставним із існуючими системами розпізнавання при зашумлених біометричних зразках та потребує подальших удосконалень.

Література References

[1] D. Thakkar (2020) Importance of Biometric Fingerprinting Technology: Does Your Organization Really Need It? [Online]. Available: https://www.bayometric.com/importance-of-biometric-fingerprinting-technology

[2] A Simplified Guide To Fingerprint Analysis (2013) [Online]. Available:: http://www.forensicsciencesimplified.org/prints/

[3] Mihir NarayanMohanty, Rishi Sikka, oReview on fingerprint-based identification system, Materials Today: Proceedings, 2021, ISSN 2214-7853, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.414

[4] K. Zuiderveld: Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. In: P. Heckbert: Graphics Gems IV, Academic Press 1994, ISBN 0-12-336155-9

[5] Sukesh Adiga V, Jayanthi Sivaswamy (2018). "FPD-M-net: Fingerprint Image Denoising and Inpainting Using M-Net Based Convolutional Neural Networks". arXiv:1812.10191

[6] Lucy, L. B. (1974). "An iterative technique for the rectification of observed distributions". Astronomical Journal. 79 (6): 745–754. Bibcode:1974AJ.....79..745L. doi:10.1086/111605

[7] Lin Hong, Yifei Wan, Anil Jain (1998). "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation". IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 20, NO. 8

Захищеність Інформації та Показники Захищеності для Сучасних ІТС від Витоку Технічними Каналами

Сергій Іванченко
Науково-дослідний центр
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
soivanch@ukr.net

Василь Некоз
Науково-дослідний центр
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
nvs20141987@gmail.com

Олег Рущак
Спеціальна кафедра №4
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
oruschak@gmail.com

Сергій Горліченко
Науково-дослідний центр
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
saturusco@gmail.com

Information Security and Security Indicators For Modern ITS From Leakage Throgh Technical Channels

Serhii Ivanchenko
Research center
Institute for Special Communications and Information Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
soivanch@ukr.net

Vasyl Nekoz
Research center
Institute for Special Communications and Information Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
nvs20141987@gmail.com

Oleh Rushchak
special department №4
Institute for Special Communications and Information Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
oruschak@gmail.com

Serhii Horlichenko
Research center
Institute for Special Communications and Information Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
saturusco@gmail.com

***Анотація* — Здійснено обґрунтування захищеності інформації та показників захищеності для сучасних ІТС від витоку технічними каналами. Зазначені показники представляють собою певну сукупність, яка має ієрархічну структуру. Ризик безпеки є мірилом загальної захищеності інформації на верхньому рівні ієрархії, а відношення сигнал/завада – на нижньому фізичному рівні ієрархії.**

***Abstract* — The substantiation of information security and security indicators for modern ITS from leakage through technical channels is substantiated. These indicators are a set that has a hierarchical structure. Security risk is a measure of the overall security of information at the top level of the hierarchy, and the signal-to-noise ratio is at the bottom physical level of the hierarchy.**

Ключові слова — інформаційна безпека; ризик безпеки; технічний захист інформації; виток інформації; технічний канал витоку; показники захищеності

Keywords — informational security; security risk; technical protection of information; information leakage; technical leakage channel; security indicators

V. Вступ

Одним із пріоритетних напрямків стратегії національної безпеки, що діє на даний час в Україні, є посилення спроможностей національної системи кібербезпеки та ефективної протидії кіберзагрозам у сучасному безпековому середовищі, які з метою набуття повноправного членства країни у Європейському Союзі та НАТО передбачають імплементацію міжнародних стандартів та впровадження відповідних ризик орієнтованих підходів щодо забезпечення інформаційної безпеки держави [1 – 5].

Функціонування сучасних комунікаційних систем, які на сьогоднішній день забезпечують існування кіберпростору та є переважно електронними, за своєю фізичною сутністю практично завжди супроводжуються рядом побічних ефектів, які можуть утворювати технічні канали витоку інформації (ТКВ). Такими ефектами є побічні електромагнітні випромінювання інформаційних сигналів в оточуюче середовище, наведення струмів від зазначених випромінювань на сторонні провідники та технічні засоби, які мають гальванічний зв'язок з навколишнім світом, просочування інформаційних сигналів у відвідні ланцюги будь-якого характеру, ланцюги заземлення, електроживлення, тощо. Посередництвом ТКВ інформаційні сигнали можуть поширюватись за межі електронних систем, де вони циркулюють, на відносно немалі відстані та приводити до порушення конфіденційності інформації [5 – 7].

Інформаційні ресурси, що передбачають використання кіберпростору та циркулюють в сучасних інформаційно-телекомунікаційних системах (ІТС), є публічною інформацією, яка в частині інформації з обмеженим доступом (ІзОД) поділяється на таємну (державну, банківську, професійну та досудового слідства таємниці), службову та конфіденційну інформації. Окремим видом інформації є персональні дані, які також можуть бути віднесеними до ІзОД та вимагають забезпечення конфіденційності. Це розрізнення здійснено на законодавчому рівні, враховує важливість (цінність) і належність відомостей та забезпечує інтереси людини, суспільства і держави [3, 8, 9].

Як правило, захист інформації здійснюється з використанням двох основних принципів:

1) потреба в убезпеченні та міра захисту ІзОД повністю визначається власником інформації, його інтересами та прийнятими до уваги загроз;

2) захист ІзОД доцільний в тому разі, якщо міра захисту не перевищує міри можливо заподіяної шкоди у випадку реалізації загроз: кібератак та кіберіцидентів.

Таким чином, виникає питання, а саме якими показниками мають визначатися ці виміри, якою конкретно має бути достатність цих показників, які б задовольнили власника інформації? Очевидно, що ці показники мають гарантовано забезпечувати заданий ризик безпеки та захищеність інформації з доведеною гарантією достовірності.

VI. Основна частина

Відповідно до міжнародних стандартів щодо менеджменту інформаційної безпеки, наприклад, ISO/IEC 2700x центральним показником інформаційної безпеки є ризик, який визначає потенційну можливість небезпеки, що приводить до збитків, та є поєднанням імовірності реалізації загрози і наслідків від неї. По суті ризик є кількісним показником, який виражає фактичну якість захисту та дозволяє його автоматизовані аналіз, коригування та управління. Визначення власником інформації (інформаційних ресурсів) максимально допустимого значення цього показника виражатиме потрібну ступінь захисту та надаватиме можливість ефективного управління безпекою [4].

Ризик безпеки є початковим, політично встановленим показником, а тому може бути взятим для визначення та розрахунку показників технології захисту або, можна так назвати, технологічних показників захищеності, що мають забезпечувати цей ризик.

Щодо забезпечення конфіденційності та обґрунтування технологічних показників захищеності інформації ризик доцільно розділити на дві складові:

1) імовірність реалізації загрози;

2) наслідок від неї або ціна заподіяної шкоди.

Очевидно, що ціну можливої заподіяної шкоди, має встановлювати власник інформації, оскільки він же встановлює і ступінь її захисту. В залежності від ряду обставин ця ціна може бути і як завгодно високою, і як завгодно низькою, може носити як об’єктивний, так і суб’єктивний характер тощо. Прикладом зазначеного може служити відповідь власника інформації на питання: «Скільки коштує один біт інформації або скільки готовий заплатити Ваш суперник за один біт інформації, що циркулює на вашому об’єкті?»

Імовірність загрози також визначається об’єктивними та суб’єктивними факторами та має враховувати:

1) які має можливості зловмисник щодо перехоплення ІзОД технічними каналами або якою мірою захищена ІзОД від витоку через ці канали;

2) на скільки зацікавлений зловмисник щодо ІзОД, яка циркулює на обєкті інформаційнорї діяльності (ОІД) та може витікати ТКВ або як зловмисник здійснюватиме перехоплення, наприклад, постійно, періодично, фрагмертарно чи зовсім не перехоплюватиме.

Для обґрунтування показників захищеності інформації від витоку технічними каналами, яка має бути належно доведеною з гарантуванням достовірності захисту, використано підхід як для найгіршого випадку з точки зору захищеності. Передбачається, що

3) зловмисник досить зацікавлений у добуванні ІзОД та ознайомленні з нею,

4) перехоплення ІзОД здійснюється постійно,

5) для прийому фізичного носія в технічному каналі зловмисник має необмежену технічну та технологічну можливість.

Встановивши таким чином допустиму межу ризику, власник інформації формулює умову для безпеки ІзОД, яка має бути забезпеченою в ТКВ посередництвом технологічних показників у своїх розрахункових межах.

Сутність зазначених показників полягає у наступному.

Якщо задано гранично допустиму імовірність ризику, то їй можна поставити у відповідність нормовану гранично допустиму пропускну здатність ТКВ – максимум кількості інформації, що в середньому допустимо може витікати через технічний канал [10].

$$C_{\text{гр. доп.}} = p_{r\,\text{гр.доп.}} C_{\max}, \tag{1}$$

де $p_{r\,\text{гр.доп.}}$ – гранично допустима імовірність ризику,

$C_{\text{гр.доп.}}$ – гранично допустима пропускна здатність ТКВ,

$C_{\max}$ – максимальна пропускна здатність ТКВ.

Пропускна спроможність ТКВ визначається їх завадами, які в каналі спричиняють імовірність помилки – p. Якщо ТКВ розглянути як дискретний симетричний канал без пам'яті, то

$$p = h^{-1}(C-1), \tag{2}$$

де C – пропускна здатність каналу,

$h^{-1}(\ldots)$ – обернена функція до ентропійної:

$$h(p) = \frac{1}{p}\log_2\frac{1}{p} + \frac{1}{1-p}\log_2\frac{1}{1-p}. \tag{3}$$

Враховуючи припущення, що зловмисник може вести перехоплення неперервно, всіма можливими способами, то відношення сигнал/завада, що утворюють помилку в каналі зручно знайти з використанням ідеального приймача:

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P_\Delta T}{N_0}} = F^{-1}(p), \tag{4}$$

де P_Δ – потужність різницевого сингалу:

$$P_\Delta = \frac{1}{T}\int_0^T s_\Delta^2(t)dt, \tag{5}$$

$s_\Delta(t)$ – різницевий сигнал:

$$s_\Delta(t) = s_1(t) - s_0(t), \tag{6}$$

$s_0(t)$ та $s_1(t)$ – реалізації логічних «0» та «1»,

N_0 – спектральна щільність білого шуму, що використано в якості завади в каналі,

T – тривалість імпульсу,

$F^{-1}(\ldots)$ – обернена функція до функції Лапласа:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x}\exp\left\{-\frac{\eta^2}{2}\right\}d\eta\ . \tag{7}$$

Таким чином, показниками для убезпечення інформації від витоку технічними каналами є наступними:

6) імовірність ризику безпеки – p_r

7) пропускна здатність ТКВ – C;

8) імовірність помилки в ТКВ – p;

9) відношення сигнал/завада на вході приймача засобів перехоплення – δ.

Зазначені показники представляють собою певну ієрархічну сукупність, де три останні є показниками застосованих технологій захисту. Ризик p_r вирначає загальну захищеніст інформації на верхньому рівні ієрархії. Відношення сигнал/завада δ є показником для конкретного фізичного середовища пощирення небезпечних сигналів на нижньому рівні ієрархії.

Показники нижніх рівнів забезпечують виконання показників верхніх рівнів ієрархії,

$$\delta \to p \to C \to p_r \tag{8}$$

а встановлекні обмеження показників верхніх рівнів створює умови для знаходження допустимих меж показників нижніх рівнів ієрархії.

$$p_{r\,\text{гр.доп.}} \to C_{\text{гр.доп.}} \to p_{\text{гр.доп.}} \to \delta_{\text{гр.доп.}}. \tag{9}$$

Отримані показники мють аналітичний зв'язок, який дозволяє їх розрахунок, та розрахунох граничних значень цих показників на прикладі послідовного представлення даних в ІТС. Для паралельного та іншого представлення

даних або повідомлення структура цих показників не зміниться. Так для паралельного коду замість імовірності може бути використана матриця імовірностей, які визначатимуть переходи комбінацій. Для повідомлень типу мовлення або зображення пропускна здатність може бути заміненою розбірливостю або розпізнанням тощо.

Окремою зручністю використання запропонованої сукупності показників є ще й те, що вони дозволяють використання для захисту інформації від витоку ТКВ не тільки традиційного методу зашумлення, а й інших методів, наприклад, пов'язаних з випадковим кодуванням, рандомізацією тощо.

Показники захищеності інформації з використанням сучасних засобів прийому фізичних носіїв та обробки їх значень під час роботи ОІД дозволяють автоматизацію їх контролю, аналізу та коригування, а управління ризиками – управління інформаційною безпекою в цілому.

VII. Висновки

Обгрунтовано захищеність інформації та її показники для сучасних ІТС від витоку технічними каналами. Зазначені показники представляють собою певну сукупність, де з них три останні мають технологічний характер. Сукупність має ієрархічну структуру, де ризик є миірилом захищеності інформації на ОІД на загальному верхньому рівні ієрархії, а відношення сигнал/завада –на фізичному, нижньому рівні ієрархії. Показники нижніх рівнів забезпечують виконання показників верхніх рівнів ієрархії, а гранична джопустимість показників верхніх рівнів, що встановлює власник інформації, створює умови та дозволяє знаходження міри допустимості показників нижніх рівнів ієрархії. Показники захищеності інформації під час роботи ОІД дозволяють їх автоматизовані контроль, аналіз і коригування та управління інформаційною безпекою в цілому.

Література References

[1] Указ Президента України №392/2020 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року «Про Стратегію національної безпеки України»

[2] Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» (1917р.)

[3] Закон України «Про інформацію» (1992р.)

[4] Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements [ISO/IEC 27001:2013].

[5] Іванченко С.О. Обгрунтування ризику безпеки інформації щодо її захищеності від витоку технічними каналами / Сергій Олександрович Іванченко // Науково-технічний збірник "Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні". – Київ, НТУУ "КПІ" НДЦ "Тезис", 2016. – № 1 (31) – С. 9 – 13.

[6] Ленков С.В. Методы и средства защиты информации. Том I. Несанкционированное получение информации / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко – К.:Арий, 2008. – 464 с.

[7] Kuhn G. Compromising emanations: eavesdropping risks of computer displays. This technical report is based on a dissertation submitted June 2002 by the author for the degree of Doctor of Philosophy to the University of Cambridge, Wolfson College. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www. cl. cam. ac. uk/techreports.

[8] Закон України «Про державну таємницю» (1994р.)

[9] Закон України «Про захист персональних даних» (2010р.)

[10] Іванченко С. О. Обгрунтування захищеності інформації від витоку технічними каналами для сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем/ Сергій Олександрович Іванченко, Олег Андрійович Рущак, Олександр Олександрович Пучков, Анатолій Васильович Голішевський // Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання – 2019", м. Івано-Франківськ, 20 – 25 травня 2019 р., Тези доповідей (Матеріали статей -366 с.). – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2019. – С 179 – 185. **ISBN 978-617-7468-37-9**

Сучасний Стан та Перспективи Розвитку Пірингових Мереж

Кренцін Михайло
Кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
mishatron98@gmail.com

Куперштейн Леонід
Кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
kupershtein.lm@gmail.com

Current State and Prospects of Peer-To-Peer Networks Development

Mykhailo Krentsin
Dept. of Information Security
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
mishatron98@gmail.com

Leonid Kupershtein
Dept. of Information Security
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
kupershtein.lm@gmail.com

***Анотація* — Проаналізовано пірингові мережі, їх особливості, переваги та недоліки, а також прикладне застосування. Наведено порівняння однорангових та багаторангових мереж. Проведено аналіз пірингових мереж та особливостей використання та обгрунтовано перспективні напрямки розвитку.**

***Abstract* — Peer-to-peer networks, their features, advantages and disadvantages, as well as application are analyzed. A comparison of peer-to-peer and multi-peer networks is given. The analysis of peer-to-peer networks and peculiarities of use is carried out and perspective directions of development are substantiated.**

Ключові слова — пірингова мережа; децентралізована архітектура; однорангова мережа, розподілені обчислення.

Keywords — peer-to-peer network; decentralized architecture; distributed computing.

I. Вступ

Використання комп'ютерних технологій починалося з часу, коли ЕОМ займала цілу будівлю. Розвиток комп'ютерів відбувався як у напрямку зменшення розмірів і збільшення потужності, так і у взаємодії комп'ютерів один з одним. Із часом створювались різноманітні програми обміну файлами, що були необхідні різним користувачам. Проте зберігання їх на центральному сервері дуже обмежувало можливості їх передачі, адже пропускна здатність одного сервера була невелика. Це призвело до появи пірингових (peer-to-peer, p2p) мереж [1], суть яких полягає у рівноправності учасників. У таких мережах відсутній виділений сервер і кожен вузол (peer) являється як клієнтом, так і сервером. Така інфраструктура більш стійка до несправностей та обчислювальні ресурси є збалансованими між учасниками мережі [2].

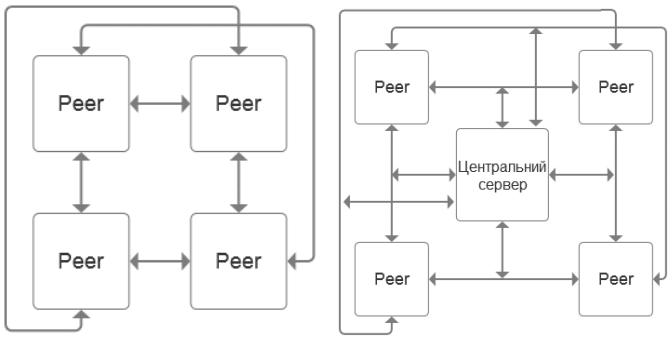
Пірингові мережі знайшли своє застосування у багатьох областях, таких як обмін файлами, повідомленнями, приватними даними, фінансами тощо. Це обумовлено рядом архітектурних та інфраструктурних специфічних особливостей, яка забезпечують привабливість для різних прикладних застосувань.

II. ТИПИ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ

Поняття p2p було вперше використано в 1969 році. Однак першою справжньою реалізацією мережі p2p стала Usenet, розроблена в 1979 р [3]. У Usenet, в той час як клієнти-кінцеві користувачі все ще отримують доступ до ресурсів через сервери, самі сервери взаємодіють між собою як p2p-мережа, надсилаючи повідомлення один одному на вимогу без центрального органу. Тобто суть пірингової мережі полягає у тому, що мережа не має центрального органу управління, а всі її учасники є рівноправними між собою (рис. 1,а) [4].

Учасники мережі повинні певним чином отримувати інформацію про наявність інших учасників цієї ж мережі та спосіб зв'язку з ними. У цьому випадку створюють гібридні пірингові мережі, де присутній центральний сервер, який просто містить інформацію про усіх учасників мережі та дозволяє здійснити пошук необхідного клієнта [5]. А далі клієнти самі встановлюють зв'язок один з одним (рис. 1,б).

Такий центральний сервер не є обов'язковим, адже клієнти можуть знаходити один одного шляхом трансляції дейтаграм «в нікуди», а інші можуть їх прослухати і обробити. Такий підхід працює в невеликій мережі, де учасникам не заважають інші потоки даних.



а) б)

Рисунок 1 – Структура піринговой мережі

III. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БАГАТОРАНГОВИХ ТА ОДНОРАНГОВИХ МЕРЕЖ

Оскільки в основі функціонування p2p мережі може лежати як однорангова архітектура (класична p2p), так і багаторангова (гібридна p2p), доцільним буде дослідити їх основні переваги та недоліки.

Багаторангова мережа – мережа на основі виділеного сервера. В мережу підключається виділений комп'ютер, який працює як сервер, а інші вузли є клієнтами і звертаються до сервера. Такі мережі створюються тоді, коли однорангові мережі є недостатньо продуктивними. Така продуктивність забезпечується за рахунок використання потужніших компонентів комп'ютера та спеціального програмного забезпечення [6].

В одноранговій мережі кожен вузол може працювати як сервер, так і як клієнт. Відсутність сервера, що відповідає за адміністрування всієї мережі забезпечує ряд переваг такої мережі над багаторанговою. Користувачі самі визначають, які ресурси зробити загальнодоступними в мережі.

Кожен з вищенаведених видів мереж має свої переваги і недоліки. У таблиці 1 наведено їх порівняння. Якщо характеристика притаманна мережі, то значення оцінюється в 1, відсутня – 0, а якщо може бути за деяких умов – 0,5.

Аналізуючи вищеописану порівняльну характеристику однорангових та багаторангових мереж, можна зробити висновок, що однорангові (пірингові) мережі є кращими (11 > 6). Проте використанню багаторангових мереж надається перевага тоді, коли необхідна обчислювальна потужність, що не може бути забезпечена піринговою мережею.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика мереж

Характеристика	Однорангова	Багаторангова
Відсутність системного адміністрування	1	0
Відсутність спеціального обладнання	1	0
Дешевизна придбання та експлуатації	1	0
Користувацький контроль ресурсів	1	0
Незалежність вузлів	1	0
Відмовостійкість	1	0,5
Легка масштабованість	1	0
Анонімність та конфіденційність	1	0,5
Об'єднання ресурсів	1	0,5
Балансування навантаження	0,5	1
Високий ступінь доступності інформації	1	0,5
Можливість використання більш слабкого апаратного забезпечення на клієнті	0	1
Організація контролю доступу	0,5	1
Простота створення	0	1
Сума	**11**	**6**

IV. СТАН РОЗВИТКУ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ

Пірингова мережа представлена групою пов'язаних між собою вузлів (учасників), які можуть обмінюватися певними даними і мають однакові копії цих даних. Кожен учасник є самостійним та рівноправним. Зазвичай, всі вузли мають однакову потужність і виконують одні й ті ж задачі. На відміну від традиційних моделей, у p2p мереж відсутня єдина точка відмови, оскільки кожен з вузлів, що приймає участь в обміні даними виступає в ролі сервера і клієнта.

Розвиток однорангових мереж почався зі звичайного обміну файлами. У 1999р. існувала мережа Napster, яка перетворювала комп'ютер користувача у вузол обміну файлами [7]. Така мережа характеризувалась наявністю центрального сервера, який зберігав дані про те, які файли є в учасників мережі та як їм з'єднатись один з одним.

Друге покоління p2p мереж характеризується відсутністю центральних серверів та «хвильовим» алгоритмом пошуку інших учасників мережі. Прикладом такої мережі була Gnutella [8]. Проте розроблений алгоритм пошуку був досить неефективним.

Третє покоління пірингових мереж було також таким, що не використовувало центрального сервера, але при цьому алгоритм пошуку був більш досконалий. Він базувався на використанні розподілених хеш-таблиць, що підтримуються кожним учасником мережі. Клієнтом, що використовував таку мережу був Edonkey2000 [9].

Пірингові мережі розвиваються і до сьогодні. Їх використання необмежене лише обміном файлів. Однорангові мережі використовуються у технології Blockchain [10]. Однорангова архітектура Blockchain надає користувачам безліч переваг. Однією з найбільш важливих є та, що розподіл даних в Blockchain серед великої кількості вузлів робить мережу практично несприйнятливою до атак типу «відмова в обслуговуванні» (DoS), від яких страждає

велика частина систем. В результаті чого, розподілена мережа, в поєднанні з обов'язковим погодженням більшості учасників забезпечує Blockchain системам відносно високу ступінь стійкості до зловмисної активності. На відміну від стандартних банківських рахунків, криптовалютні гаманці не можуть бути заморожені або анульовані урядом.

На сьогоднішній день 70% мережевого трафіку складають p2p мережі. Найбільшого поширення такі мережі набули в тих сферах, де важливий конфіденційний обмін даними між людьми. Це є системи відеозв'язку, трансляції відео, IP-телефонії, системи інтернет-телебачення тощо [11]. Це дозволяє постачальником таких послуг витрачати менше коштів на підтримку всього технічного обладнання, необхідного для традиційного підходу. А це в свою чергу робить вищевказані послуги більш доступними для кінцевого користувача.

Пірингові мережі активно використовуються у системах, що працюють з грошима [12]. Окрім криптовалютних гаманців, p2p мережі знайшли своє місце і в роботі зі звичайними грошима. Вони використовуються в таких операціях, як відправка рахунків, виконання грошових транзакцій, безпечного адміністрування даних тощо. Пірингові мережі також використовуються при роботі з цифровими гаманцями, не пов'язаними з банками (PayPal, Venmo) та в додатках, що призначені для безконтактної оплати (ApplePay, GooglePay).

Незважаючи на відмовостійкість, швидкість, конфіденційність та інші переваги пірингових мереж, вони також піддаються атакам. Захистити децентралізовану структуру набагато складніше, ніж централізовану. Деяка частина інформаційї може передаватись в незашифрованому вигляді (для збільшення швидкості), існує проблема підробки IP-адреси вузла (можлива фальсифікація даних). Також до такої мережі можуть підключатись неавторизовані клієнти і створювати навантаження, що не несе ніякої корисної інформації. Для вирішення вищеописаних проблем безпеки створюють різноманітні методи, що базуються на періодичній зміні ключів, списку контрою доступу, шифруванні даних тощо [13].

За даними досліджень на сьогоднішній день спостерігаються такі тенденції в розвитку пірингових мереж [14]: еволюція існуючих концепцій, а саме відбувається вдосконалення алгоритмів пошуку контенту, застосування нових методів забезпечення безпеки, вдосконалення методів взаємодії вузлів мережі; ажіотаж – переконання в тому, що пірингові мережі є кращими за централізовані. Хоча такі мережі мають велику кількість переваг, але вони часто використовуються без оцінки доцільності їх використання для вирішення конкретної задачі.

Виходячи із вищеописаного, можна визначити такі етапи розвитку однорангових мереж:

- розробка нових стандартів створення пірингових мереж та забезпечення їхньої безпеки;
- підвищення захищеності за рахунок створення нових та вдосконалення старих методів захисту;
- створення глобальних мереж.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано пірингові мережі, визначено два їх типи. Розглянуто основні етапи розвитку p2p мереж, їх особливості та сфери застосування.

Найбільшого поширення однорангові мереж набули в системах, що обробляють великі обсяги даних і забезпечують індивідуальний обмін інформацією між користувачами. Пірингові мережі почали свій розвиток із звичайного обміну файлами, а на сьогоднішній день вони використовуються у чат-системах, банках, криптовалютних системах, для відеозв'язку тощо. Вищеописана технологія і надалі продовжує активно розвиватись, складаючи 70% всього інтернет-трафіку.

Незважаючи на технологічні переваги, пірингові мережі піддаються хакерським атакам. Тому важливим і перспективним є розробка нових та методів та засобів організації їх захисту.

Література References

[1] Secure Peer-to-peer Networks for Trusted Collaboration. [Online]. Available: https://core.ac.uk/download/pdf/192229218.pdf

[2] 2. Гуркин Ю.Н., Семенов Ю.А. "Файлообменные сети P2P: основные принципы, протоколы, безопасность" в "*Сети и системы связи*", 2006, № 11, с. 62

[3] Michael Hauben, Ronda Hauben, and Thomas Truscott. Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet (Perspectives). Wiley-IEEE Computer Society P. ISBN 978-0-8186-7706-9

[4] P2P Networking [Online]. Available: https://nakamoto.com/p2p-networking/

[5] Zhang, H. (2013). Architecture of Network and Client-Server model arXiv preprint arXiv:1307.6665

[6] Datar, M.:. "Butterflies and peer-to-peer networks" in "*ESA 2002, 10th Annual European Symposium*", 2002, pp. 310–32

[7] Giesler, Markus, "Consumer Gift Systems" in *Journal of Consumer Research*, 2006, pp. 283–290

[8] Gnutella Protocol Development [Online]. Available: http://rfc-gnutella.sourceforge.net/src/rfc-0_6-draft.html

[9] W. Saddi, F. Guillemin, "Measurement based modeling of edonkey peer-to-peer file sharing system" in *International Teletraffic Congress*, 2007, pp. 974–985,

[10] Satoshi Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system"., 2009.

[11] Peer-To-Peer VOiP [Online]. Available: https://www.tmcnet.com/voip/0907/feature-articles-peer-to-peer-voip.htm

[12] S. King and S. Nadal,Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake, self-published paper, August, 19 (2012)

[13] G. Ruffo, R. Schifanella, "A peer-to-peer recommender system based on spontaneous affinities" in "*ACM Trans. Internet Technol*", 2009, pp. 1-34

[14] Trends in P2P Networks and Computing. Wittenburg, Website: http://page.mi. fuberlin.de/wittenbu/studies/p2ptrends.pdf.

Three-Keys Cryptographic Algorythm for UAV Network Communication

Maksym Ogurtsov
Department of Combinatorial Optimization Methods and Intelligent Information Technologies
V.M Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
ogurtsov.maksym@incyb.kiev.ua

Триключовий Криптографічний Алгоритм для Комунікації в Мережах БПЛА

Максим Огурцов
Відділ методів комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики імені В.М Глушкова
Київ, Україна
ogurtsov.maksym@incyb.kiev.ua

***Abstract*—the three-keys cryptographic key management algorithm developed that takes into account the features of wireless communication channels in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) networks.**

***Анотація*—розроблено триключовий криптографічний алгоритм керування ключами, що враховує особливості безпровідних каналів зв'язку в мережах безпілотних літальних апаратів (БПЛА).**

Keywords—cryptography; wireless networks; UAV; Kalyna

Ключові слова—криптографія; безпровідні мережі; БПЛА; Калина

I. Introduction

The issue of information security in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) networks has become especially relevant today. In most cases, UAV operator controlling UAV according to the "point-to-point" scheme, but algorithms for cryptographic protection of control commands in the case of communication in UAV networks and taking into account the peculiarities of such networks are developed not well enough [1]-[2]. There are also known cases of successful interception of UAV control in case of insufficient protection of control commands [2] - [3].

Thus, the development and research of new algorithms for protection of data transmission channels in UAV networks is an urgent scientific task.

II. Formulation of the Problem

A. The Goal of the Work

The aim of this work is to develop a three-keys cryptographic algorithm for UAV networks session key management, which will take into account the features of wireless communication channels in UAV networks.

The work of the proposed algorithm will be considered when using as a lower-level algorithm – National Standard of Ukraine 7624:2014 – cryptographic algorithm "Kalyna" with a 512 bits key size [4]. It was chosen as the only official symmetric cryptography government standard that supports 512 bits key size. But the possibility of using other cryptographic algorithms, including asymmetric, should be considered as well.

B. Analysis of Recent Research and Publications

To date, there is a large number of works devoted to the secure communication between UAVs and operators [1] - [2], [6] but they do not sufficiently take into account the peculiarities of UAVs group control. The attempt to fill this gap is shown in this work.

III. Proposed Algorithm

Consider the operation of the algorithm proposed in this paper. In the UAV network (peer-to-peer or hierarchical), each node has its own unique 256 bits long-term **individual key** (randomly generated and distributed by the key control center). The network also has a 512 bits long-term **shared key**, known to all nodes. According to the algorithm, there are two modes of data transmission – broadcast (message is intended for all UAV network nodes) and addressed message (message should be transmitted for just one network node).

A. Broadcast mode

The message consists of two parts. The first part is a 512-bit **session key**, encrypted with a shared key. The second part is actually a useful data, encrypted with a session key. This mode is like a classical use of session keys distribution.

B. Address mode

The message in address mode also consists of two parts. But the first block here is a 256-bit **session key**, encrypted with a long-term shared key. The second half is a useful data

encrypted with a 512-bit **third key** that half consists of a session key and the other half is a unique long-term individual key of this node.

C. Algorithm for transmitting an address message

- The node randomly generates the 256-bit session key.
- The node encrypts that 256-bit session key with the long-term shared key.
- The node encrypts useful data for transmission to the receiving node with a 512-bit key consisting of 256 bits of the session key and 256 bits of the individual key of the receiving node.
- The receiving node decrypts the 256-bit session key with a long-term shared key.
- The receiving node decrypts the useful data using the third key – session key obtained in step 4 and its individual key.
- Steps 3 and 5 are repeated for further transmission.

D. Possible low-level algorithm applications

There are two possible applications – using symmetric or asymmetric cryptographic low-level algorithms. The use of an asymmetric algorithm is recommended in cases where it is necessary to ensure the exchange of messages between all nodes of a large network. If in this case a symmetric algorithm is used, then to send a message to any node, each node must have long-term individual keys of all other nodes. Therefore, in this case, it is better to use asymmetric cryptographic algorithm. With it each node will have to store only shared key – and its own public and private keys. When node will send message to other node, it may use private key as a part of the third key, and to send public key in non-encrypted form. Then, if this node is compromised, the private keys of all other nodes will not be compromised. If the network requires only the exchange of information only with the central node (for example, in the case of a UAVs swarm, exchanging information directly with the operator), it is possible to use a symmetric algorithm – all long-term individual keys in this case will be known only by the operator. Also, a symmetric algorithm is applicable in the case of a small number of nodes in the network, which is a common case when performing a task by a group of UAVs.

IV. Advantages of the Proposed Algorithm

- Information inside the network will be never transmitted without encryption.
- Compared to other session key algorithms, the proposed algorithm requires the transmission of twice less size of the session key (while providing the same level of security against cryptanalysis tools), which reduces time loss before the start of the communication session. This is very important for UAV networks, because when the UAV is moving, the situation can change very quickly, so the transmission initiation speed is crucial.
- Because a long-term shared key encrypts only keys that meet random sequence requirements, there are no vulnerabilities for finding shared key with cryptoanalysis means based on the use of symbol frequency and other properties of plaintext. They can be used to try to pick up only the session key, which will not be of much use.
- Since the requirements for cryptographic algorithms provide that when changing even one bit of the key, the encryption result must be completely different, the use of another 1/2 part of the third key (session key) for every session will provide reliable protection against attempts to pick up a long-term half of the third key.
- This scheme protects against such attacks as "man in the middle", because to obtain any data you need to know the long-term key.

V. Disadvantages of the Proposed Algorithm

- The only disadvantage when using a symmetric algorithm is the compromising one of the network nodes. If an attacker gains unauthorized access to it, he will get the long-term individual key of each other node and the shared key and will be able to decrypt all messages in the network. Using an asymmetric cryptographic algorithm for encrypting a session key will get rid of this vulnerability.
- And the only disadvantage of using an asymmetric cryptographic algorithm for encrypting session keys is the reduction of the encryption speed. Due to the limited computational resources of UAVs this shortcoming is important and should be considered.

VI. Conclusions

The three-keys cryptographic key management algorithm was developed. This algorithm takes into account the features of wireless communication channels in UAV networks. Its operation was considered based on the National Standard of Ukraine 7624:2014 – cryptographic algorithm "Kalyna"with a 512 bits key size. The advantages and disadvantages of using the developed algorithm on the basis of low-level symmetric and asymmetric cryptographic algorithms were studied.

References

[1] H. M. Wang, X. Zhang and J. C. Jiang, "UAV-involved wireless physical-layer secure communications: Overview and research directions," *IEEE Wireless Communications* 26(5), pp. 32-39, 2019.

[2] M. Ogurtsov, "High-Reliability Data Transfer Algorithm with Reduced Transmitters' Power for Use in Special Networks," *International Journal "Information Content and Processing"*, vol. 6, Number 1, 2019, pp. 79-90.

[3] M. Ritchie, F. Fioranelli and H. Borrion, "Micro UAV crime prevention: Can we help Princess Leia?" In *Crime prevention in the 21st century*, Springer, Cham, 2017, pp. 359-376.

[4] Інформаційні технології. Криптографічний захист інфомації. Алгоритм симетричного блокового перетворення: ДСТУ 7624:2014. К.: Держспоживстандарт України, 2015, 238 с.

[5] K. Yoon, D. Park, Y. Yim, K. Kim, S. K. Yang and M. Robinson, "Security authentication system using encrypted channel on UAV network," in *2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, pp. 393-398, April 2017.

Аналіз Вимог Безпеки Federal Information Processing Standards (FIPS)

Аліна Остапенко-Боженова
кафедра захисту інформації
ВНТУ
Вінниця, Україна
ostapenko-bozhenova_a_v@vntu.edu.ua

Ангеліна Сухоребра
кафедра захисту інформації
ВНТУ
Вінниця, Україна
sukhorebraangelina@gmail.com

Analysis of Security Requirements Federal Information Processing Standards (FIPS)

Alina Ostapenko-Bozhenova
dept. of chair Information Protection
Vinnitsa National Technical University,
Vinnitsa, Ukraine
ostapenko-bozhenova_a_v@vntu.edu.ua

Anhelina Sukhorebra
dept. of chair Information Protection
Vinnitsa National Technical University,
Vinnitsa, Ukraine
sukhorebraangelina@gmail.com

***Анотація*—Робота присвячена аналізу вимог безпеки федеральних стандартів обробки інформації (FIPS), що дозволить застосувати такі вимоги для сертифікації криптографічних модулів.**

***Abstract*—This work is devoted to the analysis of security requirements applied in information processing standards, which will allow to apply such requirements for certification of cryptographic modules.**

Ключові слова—кібербезпека, криптографія; FIPS; стандарт

Keywords— cybersecurity,cryptography;. FIPS; standards;

I. Вступ

На початку березня 2021 року Національном координаційним центром кібербезпеки Ради національної безпеки і оборони України схвалено проект Стратегії кібербезпеки України на 2021-2025 рр. [1]. Метою Стратегії кібербезпеки України є покращення умов для безпечного функціонування кіберпростору, його використання в інтересах суспільства та держави. Основою для таких змін є імплементація міжнародних стандартів у сфері захисту інформації та кібербезпеки [1].

Одним із ефективних методів захисту інформації є застосування спеціалізованих криптографічних модулів. За допомогою них можна реалізувати ґкриптосистему, для протидії несанкціонованому доступу на програмному та апаратному рівні. В контексті вищесказаного, актуальною задачею є дослідження критеріїв оцінки роботи криптографічних модулів міжнародних стандартів для подальшої їх сертифікації.

Метою роботи є покращення процесу сертифікації криптографічних модулів шляхом дослідження основних критеріїв оцінки їх роботи, що застосовуються у Федеральних стандартах обробки інформації США [2].

II. Рівні безпеки криптографічних модулів у FIPS

1994 року Національним інститутом стандартів США (National Institute of Standards, NIST) було опубліковано перший примірник стандарту комп'ютерної безпеки для криптографічних модулів (Federal Information Processing Standards, FIPS) для урядових установ США. На даний час налічується 3 покоління стандарту: FIPS 140, FIPS 140-2 та FIPS 140-3. Перший припинив своє існування 2002 р., інші використовуються та тестуються. FIPS 140-3 [3] опублікований 22 березня 2019 р. прийшов на заміну FIPS 140-2.

Стандарти були розроблені для формування вимог безпеки, яким необхідно відповідати криптографічним модулям у відповідній предметній області. Основною метою розробки є створення ефективної криптосистеми, при функціонування якої, здійснення атаки на неї потребуватиме більше витрат, ніж цінність отриманих даних чи нанесених такою атакою збитків.

Спільним для всіх трьох публікацій є розмежування безпеки на 4 рівні та визначення вимог до них [2].

Кожен зі стандартів визначає перший рівень, такий який забезпечує найнижчий рівень захисту, тобто вимагає

мінімальний набір засобів безпеки. Не вимагається фізичного захисту. Єдиною відмінністю є вимоги в стандарті FIPS 140-2: наявність хоча б одної затвердженої функції та алгоритму.

На другому рівні вимоги посилюються: враховується фізичний захист, включаючи фізичний злам. Вимагається наявність спеціальних покриттів, пломб та стійких до зламу фізичних замків. В цей самий час знижені вимоги до автентифікації. Вона є рольовою [4], функцію її виконання приймає на себе криптографічний модуль.

На третьому рівні встановлюється фізичний захист, подібний до встановленого в комерційних продуктах. При потраплянні зловмисника в систему він утримується в пісочниці. Замість рольової – індивідуальна [4] автентифікація. Наявна фізична сепарація портів загальних і тих, якими вводяться критичні параметри системи. FIPS 140-2 на цьому рівні вводить Політику захисту контенту [2].

Четвертий рівень характеризується високим рівнем фізичного захисту – створюється цілісна обгортка навколо криптографічного модуля, що реагує на всі спроби неавторизованого входу в систему. Наявна спеціальна підсистема протидії впливу навколишнього середовища.

III. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ КРИПТОРГАФІЧНИХ МОДУЛІВ

Кожен стандарт FIPS визначає вимоги безпеки, що поділені на 11 рівнів.

1.Специфікація криптографічного модуля: вимагається Політика безпеки та опис програмного та апаратного забезпечення. FIPS140-1 не вимагає специфікації реалізованих алгоритмів та режимів роботи

2. Module Interfaces\Cryptographic module Ports and Interfaces: вимоги до наявності опційних інтерфейсів та сепарації портів даних критичних параметрів.

3. Roles, Services and Authentification: логічне розділення необхідних та опційних ролей та сервісів. FIPS140-1 вимагає рольову автентифікацію оператора, а FIPS140-2 на основі рольову та індивідуальну.

4. Finite state machine\finite state model: специфікація моделі станів. Режими на вимогу та опційні режими. Діаграма станів переходу і специфікація станів переходу.

5. Physical Security: на першому рівні безпеки: обладнання; на другому: замки чи докази фальсифікації; на третьому рівні - виявлення втручання та відповідного реагування; на четвертому рівні FIPS140-1 вимагає тільки виявлення втручання та «конверт з відповіддю», а FIPS140-2, додатково – EFP (шифрування).

6. Operational Envorinment: на першому рівні: Один оператор. Виконуваний код. Дозволене інтегроване обладнання; на другому: критерії оцінки EAL2 з описом механізму дискретного контролю доступу та аудиту; на третьому рівні захисту: EAL2 в поєднанні з довіреним методом оцінки EAL3 та моделювання політики безпеки; на четвертому: посилання на EAL2 в поєднанні з довіреним шляхом оцінки EAL4.

7. Sofware Security: на перших 2-ох рівнях безпеки вимога опису програмного забезпечення; на третьому рівні: впровадження мовою високого рівня; на останньому: формальна модель.

8. EMI\EMC: на перших 2 рівнях безпеки вимагається 47 CFR FCC частина 15. Підчастина B, клас A (для потреб бізнесу). FCC вимоги (для радіо), хоча в FIPS140-1 для голосу; на 3-тьому і 4-му рівнях 47 CFR FCC частина 15. підчастина B, клас B (для домашнього використання).

9. Self Test: FIPS140-1 self test визначені, як тести підвищеної потужності та тести станів; FPS140-2, в свою чергу, визначає тести на потужність: тести криптографічних алгоритмів, тести цілісності апаратного, програмного забезпечення, тести критичної функціональності. Тести станів.

10. Design Assurance на кожному з рівнів безпеки присутні вимоги: на першому: керування конфігурацією, захищена інсталяція та генерування, дизайн та політика листування, документообігу; на другому: система керування конфігурацією, функціональні специфікації; на третьому: впровадження мовами високого рівня; на останньому: формальна модель, детальні пояснення.

11. Для Mitigation of other attacks встановлюється вимога для всіх рівнів безпеки специфікацію атак.

Останні 2 пункти Design Assurance та Mitigation of other attacks не представлені в стандарті FIPS140-1.

IV. ВИСНОВКИ

В усьому світі визнаною є надійність сертифікації криптографічних модулів за стандартами FIPS, що використовуються для захисту даних. Існуюча в Україні нормативно-правова база криптографічного захисту інформації в цілому відповідає вимогам світових підходів щодо законодавства у цій сфері, створюючи підґрунтя для забезпечення ефективної діяльності. Оскільки галузь динамічно розвивається, то нормативна база також зазнає постійних змін, що потребує постійного вдосконалення вимог та створення стандартів, які враховують перевірені світові критерії оцінки.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Проект Стратегії кібербезпеки України на 2021-2025 рр. – Режим доступу: https://www.rnbo.gov.ua/files/2021/STRATEGIYA%20KYBERBEZPEKI/proekt%20strategii_kyberbezpeki_Ukr.pdf

[2] NIST. Federal Information Processing Standards Publication.– Режим доступу: https://www.nist.gov/itl/fips-general-information

[3] FIPS.140-3:https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.140-3.pdf

[4] Ричард Э. Смит. Аутентификация: от паролей до открытых ключей = Authentication: From Passwords to Public Keys First Edition. — М.: «Вильямс», 2002. — С. 432.

Багаторозрядна Операція Порівняння у Паралельній Моделі Обчислення

Андрій Терещенко
докторантура
інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
e-mail: teramidi@ukr.net

Parallel Multidigit Comparison

Andrii Tereshchenko
dept. of doctoral studies
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
teramidi@ukr.net

***Анотація*—у роботі запропоновано новий метод реалізації операції багатослівного порівняння у паралельній моделі обчислення. У роботі наведено аналіз, на основі якого можливе прогнозування знаків переносів між словами та між групами слів, на які розбиваються багатослівні числа при знаходженні різниці між ними. Аналіз наведено у вигляді леми. Запропоновано алгоритм реалізації операції порівняння багатослівних чисел при задіянні *k* процесорів. (*Abstract*)**

***Abstract*—The paper proposes a new method for implementing the parallel multidigit comparison. The paper provides an analysis on the basis of which it is possible to predict carry signs between words and between groups of words into which multidigit numbers are split on the comparing. The analysis is presented in the form of a lemma. An algorithm for implementation the comparison operation using k processors is proposed. (*Abstract*)**

Ключові слова—багаторозрядна арифметика; знак переносу; багаторозрядне порівняння; паралельна модель обчислення (key words)

Keywords—multidigit arithmetic, carry sign, multidigit comparison, parallel computational model (key words)

I. Вступ

Поява нових паралельних обчислювальних систем таких, як багатоядерні процесори, графічні прискорювачі, кластери, розподілені системи, системи з розподіленою пам'яттю та інші обумовлена вирішенням складних прикладних задач у різних галузях. Серед таких задач можна виділити задачі обчислення систем лінійних алгебраїчних рівнянь з кількістю невідомих 33–35 мільйонів, моделювання фізичних процесів, аеродинаміки, захисту інформації, тощо. Це значно розширює використання багаторозрядної арифметики, із-за того, що неврахування похибок заокруглення приводить до того, що іноді отримуються комп'ютерні рішення, які не відповідають фізичному змісту. Багаторозрядні операції додавання, віднімання, порівняння є складовими операціями піднесення до степеня за модулем, від швидкодії якої залежить швидкодія асиметричних криптографічних програмно-апаратних комплексів.

Існує метод [1], який дозволяє додати k -бітні цілі числа за $O(k)=2\log_2 k$ кроків при задіянні k паралельних обчислювальних вузлів і за умови, що 1-бітна операція додавання займає один такт (один крок) процесору. Метод називається «методом з передбаченням знаку переносу» (*carry-lookahead addition*).

Операція порівняння є дещо складнішою операцією ніж віднімання. Так для визначення меншого числа з U та V необхідно виконати дві операції віднімання. Якщо $U-V<0$, то $U<V$, якщо $V-U<0$, то $V<U$. Тобто, якщо від'ємне число є меншим ніж від'ємник, то при виконанні операції відніманні буде виникати знак запозичення. У даній роботі розглядається метод, який дозволяє розпаралелити операцію порівняння за рахунок «передбачення» знаків запозичення між групами слів числа. У паралельній моделі обчислень врахування знаку запозичення потребує спеціальної логіки, що збільшує складність обчислення не менш ніж у два рази.

II. Постановка задачі та позначення

Дано nm-бітні цілі додатні числа X, Y. Необхідно побудувати швидкий алгоритм порівняння чисел X та Y у паралельній моделі обчислення,

результатом якого будуть числа CF та EQ. $CF=1$, якщо $X<Y$; $EQ=1$, якщо $X=Y$.

Нехай X і Y є nm-бітні цілі додатні числа, Z є їхня nm-бітна різниця за виключенням знаку запозичення до найстаршого слова. Число $X=\sum_{i=0}^{n-1}(X_i\cdot 2^{m\cdot i})$ представимо у вигляді $\{X_{n-1},...,X_0\}$, де $X_i=\sum_{b=0}^{m-1}(x_{im+b}\cdot 2^b)$, $i=\overline{0,n-1}$, є m-бітним словом. $X_i=\{x_{im+m-1},...,x_{im}\}$, $i=\overline{0,n-1}$. Числа Y і Z представимо таким же чином.

Далі, для зручності викладу, nm-бітні числа X, Y, Z та інші будемо називати n-слівними числами, кожне слово якого є m-бітним.

Різницю n-слівних чисел X і Y без врахування знаків запозичення між словами позначимо числом $M=\{M_{n-1},...,M_0\}$, де $M_i=\langle X_i-Y_i\rangle_W$, $W=2^m$, $i=\overline{0,n-1}$.

Розбиття чисел X, Y на групи довжиною m слів формує слівні групи. Групи з індексом p мають наступний вигляд $\{X_{pm+m-1},...,X_{pm}\}$, $\{Y_{pm+m-1},...,Y_{pm}\}$. Розбиття на групи з m слів необхідне для обчислення у подальшому слів T_p та C_p довжиною m бітів при формуванні чисел T та C. Далі за текстом групи довжиною m слів з індексами $p-1$, p, $p+1$ будемо називати групами $p-1$, p, $p+1$ з m слів, опускаючи слово «з індексом».

У числі T біти t_i, $i=\overline{0,n-1}$, згруповані по m бітів, що дає $k=n/m$ слів в $T=\{T_{k-1},...,T_0\}$, де

$$T_p=\sum_{b=0}^{m-1}(t_i\cdot 2^b),\qquad t_i=\begin{cases}1, \text{ якщо } M_i=0\\ 0, \text{ якщо } M_i\neq 0\end{cases},\qquad i=pm+b,$$

$$p=\overline{0,k-1},\ k=n/m. \qquad (1)$$

У числі C біти c_i, $i=\overline{0,n-1}$, згруповані по m бітів, що дає $k=n/m$ слів в $C=\{C_{k-1},...,C_0\}$, де

$$C_p=\sum_{b=\begin{cases}0, \text{ якщо } p>0\\ 1, \text{ якщо } p=0\end{cases}}^{m-1}(c_i\cdot 2^b),\quad c_i=\begin{cases}1, \text{ якщо } X_{i-1}<Y_{i-1}\\ 0, \text{ якщо } X_{i-1}\geq Y_{i-1}\end{cases},\quad i=pm+b,$$

$$p=\overline{0,k-1},\ k=n/m,\ c_0=0. \qquad (2)$$

При додаванні знак переносу генерується при переповненні, при відніманні знак переносу запозичується. Технічно ці знаки нічим не відрізняються. Далі за текстом використовується знак запозичення для того, щоб відрізняти операцію віднімання від операції додавання. «Вхідним» знак запозичення будемо називати при запозиченні зі старшого (наступного) слова та отриманні від‘ємного значення у поточному слові – знак запозичення «входить» до поточного слова зі старшого слова. «Вихідним» знак запозичення будемо називати при запозиченні з поточного слова для молодшого (попереднього) слова при отриманні від‘ємного значення у молодшому слові – знак запозичення «виходить» з поточного слова до молодшого слова.

III. Аналіз запозичення знаку переносу при відніманні групи з m слів

Використання чисел T та C дозволяє прогнозувати виникнення знаків запозичення між групами з m слів, на які розбивається n-слівне число $X-Y$.

Лема 1. Якщо при відніманні у групі p з m слів $\{X_{pm+m-1},...,X_{pm}\}-\{Y_{pm+m-1},...,Y_{pm}\}$, однослівні числа C_p і T_p, отримані за формулами (1), (2), такі:

що $C_p+T_p\geq W$, $W=2^m$, то група p з m слів запозичує знак переносу з групи p+1 з m слів,

що $T_p=W-1$, $W=2^m$, то група p з m слів запозичує знак переносу з групи p+1 з m слів, якщо знак перенесу запозичено для групи $p-1$ довжиною в m слів («поширює» запозичення знаку переносу у групу p+1 з групи $p-1$),

що $C_p+T_p<W$ та $T_p\neq W-1$, то група p ніколи не запозичує знак переносу з групи p+1 («поглинає» запозичення для попередньої групи).

Примітка для леми 1. Так як у групі p різниця старших слів $X_{pm+m-1}-Y_{pm+m-1}$ може запозичувати знак переносу з групи p+1 з m слів, то вважаємо, що різниця $X_{pm+m-1}-Y_{pm+m-1}\geq 0$.

Для прикладу на рис. 1 старший біт m-бітного числа C_p зі значенням 1 говорить про те, що різниця слів, що передують старшим словам у групі p з m слів, така, що $X_{pm+m-2}-Y_{pm+m-2}<0$ (при $m=16$, $X_{p16+14}-Y_{p16+14}<0$), тобто є запозичення зі старшого слова у групі p з m слів. m-бітне число C_p містить біти вихідних (запозичених) знаків переносів для поелементних різниць m-слівних чисел $\{X_{pm+m-2},...,X_{pm-1}\}-\{Y_{pm+m-2},...,Y_{pm-1}\}$. Запозичення відбувається зі старшого слова (молодшої групи з m слів) до молодшого слова (молодшої групи з m слів)

– зліва направо. Слова X_{pm-1}, Y_{pm-1} є найстаршими у групі p–1.

$$\begin{array}{cccccccccccccccc} 1 & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & C_p \\ 1 & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & T_p \\ \hline 1 & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & x & \end{array}$$

Рис. 3. Рис. 1. Запозичення знаку переносу в групі p з m слів з групи p+1 з m слів

На рис. 1 старший біт m-бітного числа T_p зі значенням 1 говорить про те, що різниця старших слів $X_{pm+m-1}-Y_{pm+m-1}=0$ у групі p з m слів (при $m=16$, $X_{p16+15}-Y_{p16+15}=0$). При відніманні від нуля будь-якого значення запозичується знак переносу зі старшої групи p+1. На рис. 1 значення x говорить про те, що значення цього біта може бути 0 або 1.

IV. Алгоритм порівняння чисел у паралельній моделі обчислень

Алгоритм 1. Порівняння чисел X, Y довжиною nm бітів (або n слів) з «передбаченням» знаків запозичення.

Вхід: Числа $X=\{X_{n-1},...,X_0\}$, $Y=\{Y_{n-1},...,Y_0\}$, $k=n/m$, $W=2^m$; $CF=0$, $EQ=0$; $EQ_p=W$, $C_p=0$, $p=\overline{0,\mathrm{k}}$.

Результат: $CF=1$, якщо $X<Y$; $EQ_k=W-1$, якщо $X=Y$.

Крок 1. Обчислити число $M=\{M_{n-1},...,M_0\}$, де $M_i=\langle X_i-Y_i\rangle_W$, $i=\overline{0,n-1}$.

Крок 2. Обчислити числа $T=\{T_{k-1},...,T_0\}$, $C=\{C_{k-1},...,C_0\}$, де $T_p=\sum_{b=0}^{m-1}(t_i\cdot 2^b)$, $C_p=\sum_{b=\begin{cases}0,\ якщо\ p>0\\1,\ якщо\ p=0\end{cases}}^{m-1}(c_i\cdot 2^b)$,

$t_i=\begin{cases}1,\ якщо\ M_i=0\\0,\ якщо\ M_i\neq 0\end{cases}$, $c_i=\begin{cases}1,\ якщо\ X_{i-1}<Y_{i-1}\\0,\ якщо\ X_{i-1}\geq Y_{i-1}\end{cases}$, $i=pm+b$, $p=\overline{0,k-1}$, $k=n/m$.

Крок 3. Для $p\leftarrow 0$ до $p<k$

Крок 4. Якщо $C_p+T_p\geq W$, то $C_{p+1}\leftarrow C_{p+1}\vee 1$.

Крок 5. $EQ_{p+1}\leftarrow EQ_{p+1}\wedge EQ_p\wedge T_p$.

Крок 6. Кінець циклу p.

Крок 7. $CF=\begin{cases}1,\ якщо\ C_k=1\\0,\ якщо\ C_k=0\end{cases}$.

Крок 8. $EQ=\begin{cases}1,\ якщо\ EQ_k=W-1\\0,\ якщо\ EQ_k\neq 0\end{cases}$.

Кроки 1, 2, 4, 5 можуть виконуватися на k процесорах одночасно.

Теорема 1. В алгоритмі 1 загальне число однослівних операцій має вигляд $O(n)=5n+4k+2$, де $n=km$ – довжина чисел у словах, m – бітів у слові.

V. Висновки

У даній роботі запропоновано новий метод реалізації операції багатослівного порівняння чисел X, Y. Надано метод аналізу n-бітних чисел T та C, обчислених на основі n-слівних чисел X,Y, для прогнозування знаків запозичення між групами довжиною у m слів, що дозволяє розпаралелити операцію порівняння між $k=n/m$ процесорами.

Література References

[1] Catherine C. McGeoch, Parallel Addition, The American Mathematical Monthly, Vol. 100, No. 9 (Nov., 1993), pp. 867-871. [Online]. Available: (http://www.jstor.org/stable/2324666).

[2] Терещенко А.Н., Задирака В.К. Параллельное сложение на основе векторных операций – Искусственный интеллект. – 2018. – № 2, С.122–137. [Online]. Available: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/162381.

Визначення Рекомендацій Для Алгоритму Створення Ключів Криптосистеми AJPS

Дарія Ядуха
кафедра математичних методів захисту інформації
Фізико-технічний інститут
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
dariya.yadukha@gmail.com

Recommendations for Key Generation Algorithm of the AJPS Cryptosystem

Dariya Yadukha
Department of Mathematical Methods of Information Security
Institute of Physics and Technology
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
dariya.yadukha@gmail.com

***Анотація* — У 2017 Д. Аггарвал та інші запропонували нову потенційно постквантову асиметричну криптосистему AJPS, яка використовує операції за модулем числа Мерсенна. У роботі наведено рекомендації для алгоритму створення ключів криптосистеми AJPS.**

***Abstract* — In 2017 D. Aggarwal and other scientists introduced a new potentially post-quantum public-key cryptosystem based on operations modulo Mersenne number. The paper presents the recommendations for key generation algorithm of the AJPS cryptosystem.**

Ключові слова — криптосистема AJPS, постквантові криптопримітиви, число Мерсенна

Keywords — the AJPS cryptosystem, post-quantum cryptosystems, Mersenne number

I. Вступ

З огляду на значну кількість досліджень технологій для побудови масштабованого квантового комп'ютера, стрімко почала розвиватись і постквантова криптографія. Її метою є розробка криптографічних примітивів, які б були стійкі до атак з використанням як квантового, так і класичного комп'ютерів. Оскільки для більшості симетричних криптосистем можна побудувати аналоги, що мають вищий рівень захищеності та є стійкими до атак з використанням квантового комп'ютера, зусилля науковців зосереджені на розробці асиметричних криптопримітивів, зокрема тих, які реалізовують схему цифрового підпису або механізм інкапсуляції ключів. З 2017 року під егідою Національного інституту стандартів та технологій США (NIST) триває конкурс постквантових асиметричних криптопримітивів [1], після закінчення якого будуть опубліковані перші версії стандартів постквантової криптографії [2]. Одним з учасників першого раунду конкурсу є механізм інкапсуляції ключів Mersenne-756839, що базується на криптосистемі AJPS [3].

II. Опис криптосистеми AJPS

Криптосистема AJPS розроблена групою відомих криптологів у складі Д. Аггарвала, А. Жу, А. Пракаша та М. Санти. Особливістю криптосистеми є використання арифметики за модулем числа Мерсенна, яка може бути ефективно реалізована шляхом застосування алгоритмів швидкого обчислення трудомістких операцій за модулем числа Мерсенна, таких як редукція, множення, пошук оберненого тощо [4, 5]. Криптосистема AJPS має дві версії – для шифрування біту повідомлення (AJPS-1) та для шифрування блоку бітів повідомлення (AJPS-2). На основі криптосистеми AJPS-2 побудовано механізм інкапсуляції AJPS-KEM [3].

A. Схема шифрування AJPS-1

Криптосистема AJPS-1 [3] дозволяє зашифрувати один біт повідомлення, відповідно відкритим текстом є число $b \in \{0,1\}$. При побудові криптосистеми задається параметр захищеності λ. Відкритими параметрами системи є числа $M_n = 2^n - 1,\ n \in \aleph$ та $h \in \aleph,$, де h – фіксоване число, яке задовольняє умовам $C_n^h \geq 2^\lambda$ та $4h^2 < n \leq 16h^2$.

Тут і надалі для спрощення запису ототожнюємо числа за модулем числа Мерсенна та двійкові рядки довжини n. Це можливо, оскільки між множинами цих об'єктів існує

взаємно однозначне відображення. Позначимо множину чисел, які за модулем числа Мерсенна M_n мають вагу Хеммінга *h* таким чином:

$$HM_{n,h} = \{x : Ham(x \bmod M_n) = h\}.$$

- Створення ключів відбувається так:
  1) Числа *F* та *G* обираються випадково та незалежно з множини $HM_{n,h}$.
  2) Особистим ключем є число *G*, а відкритим ключем – число $H = F \cdot G^{-1} \bmod M_n$.
- Шифротекст *C* обчислюється за формулою

$$C = (-1)^b (A \cdot H + B) \bmod M_n,$$

де *A* та *B* – незалежно і рівноймовірно обрані значення з множини $HM_{n,h}$.

- Для розшифрування обчислюється значення $d = Ham(C \cdot G \bmod M_n)$, після чого біт *b* визначається таким чином:

$$b = \begin{cases} 0, & якщо \quad d \le 2h^2 \\ 1, & якщо \quad d \ge n - 2h^2 \\ \perp, & інакше \quad (помилка\ розшифрування) \end{cases}.$$

Стійкість криптосистеми AJPS-1 базується на складності задачі MLHRSP [3] – *Задачі ділення чисел з малою вагою Хеммінга за модулем числа Мерсенна* (з англ. *Mersenne Low Hamming Ratio Search Problem*).

Означення 1 (MLHRSP)**.** Маючи число Мерсенна M_n, *n*-бітове число *H* і ціле число *h*, знайти два *n*-бітових числа *F, G*, кожне ваги Хеммінга щонайбільше *h*, таких, що $H = F \cdot G^{-1} \bmod M_n$.

B. Схема шифрування AJPS-2

Криптосистема AJPS-2 [3] дозволяє зашифрувати блок бітів довжиною λ, де λ – параметр захищеності, який задається при побудові криптосистеми, тобто відкритим текстом є $m \in \{0,1\}^\lambda$. Відкритими параметрами є числа M_n та *h*, причому $h = \lambda$ та $10h^2 < n \le 16h^2$, а також функції $E : \{0,1\}^\lambda \to \{0,1\}^n$ та $D : \{0,1\}^n \to \{0,1\}^\lambda$ – функції шифрування та розшифрування коду корекції помилок, які обираються відповідно до умови: для того, щоб забезпечити рівень правдоподібності $(1-\delta)$, де δ – ймовірність помилки, потрібно, щоб виконувалась умова:

$$\forall m : Pr\{D((F \cdot C_1) \oplus C_2) = m\} \ge 1 - \delta.$$

- Створення ключів відбувається так:
  1) Числа *F* та *G* обираються випадково та незалежно з множини $HM_{n,h}$, а *R* обирається випадково з усіх можливих *n*-бітових чисел.
  2) Особистим ключем є число *F*, а відкритим ключем – пара чисел (R,T), де
$$T = F \cdot R + G \bmod M_n.$$
- Для шифрування повідомлення $m \in \{0,1\}^\lambda$ незалежно і рівноймовірно обираються числа *A*, B_1 та B_2 з множини $HM_{n,h}$. Повідомлення *m* шифрується таким чином:

$$(C_1, C_2) = (A \cdot R + B_1 \bmod M_n, (A \cdot T + B_2 \bmod M_n) \oplus E(m)).$$

- При розшифруванні шифротексту (C_1, C_2) обчислюється $D((F \cdot C_1 \bmod M_n) \oplus C_2)$.

Стійкість криптосистеми базується на складності задачі MLHCSP (*Задача лінійної комбінації чисел з малою вагою Хеммінга за модулем числа Мерсенна*, з англ. Mersenne Low Hamming Combination Search Problem) [3].

Означення 2 (MLHCSP)**.** Маючи число Мерсенна M_n, ціле число *h* та пару чисел $(R, F \cdot R + G \bmod M_n)$, де *R* – випадково обране *n*-бітове число, *F, G* обрані незалежно та випадково з множини $HM_{n,h}$, знайти числа *F* та *G*.

III. Рекомендації для алгоритму створення ключів AJPS-1 та AJPS-2

Одним з напрямків обґрунтування захищеності будь-якої криптосистеми, зокрема AJPS, є аналіз побудованих на криптосистему атак та оцінка їхньої успішності. Частину побудованих на AJPS-1 та AJPS-2 атак можливо застосувати лише за умови, що виконується певне припущення про вигляд чисел *F* та *G*. Для формування множини значень параметрів *F* та *G*, при яких криптосистеми AJPS-1 та AJPS-2 вразливі до описаних атак, розглянемо такі умови далі.

1) Атака «*Слабкий ключ*» [6] є успішною для криптосистеми AJPS-1, якщо усі одиниці у двійковому представленні чисел *F* та *G* знаходяться у правій частині двійкового представлення, тобто якщо кожне з чисел *F, G* менше за $\sqrt{M_n}$. Атака дозволяє визначити значення особистого ключа *G* за допомогою методу раціональної реконструкції, тобто методу пошуку раціонального числа, використовуючи результат редукції цього числа за деяким модулем. При цьому значення *F* та *G* обчислюються через неперервні дроби $\frac{H}{M_n}$. Ймовірність успіху такої атаки, тобто ймовірність того, що значення *F* та *G* будуть менші за $\sqrt{M_n}$, дорівнює 2^{-2h}. Таким чином, складність атаки дорівнює $2^{2h} \cdot n^{o(1)}$.

2) Атака «*Slice-and-Dice*» *з використанням алгоритму LLL* [7] побудована аналогічно до атаки «Слабкий ключ». В цій атаці на числа *F* та *G* накладається умова, щоб усі їхні ненульові значення бітів знаходились згруповано у одній частині бінарного запису числа. Атака використовує ідею розділення бінарного представлення числа на проміжки, які будуть використовуватись для побудови решітки. Якщо

інтервали підібрані правильно, то найкоротшими векторами побудованої решітки будуть значення *F* та *G*. Складність такої атаки дорівнює $(2+\delta+o(1))^{2h}$ для деякої дуже малої константи $\delta > 0$. Також при реалізації цієї атаки можна використовувати SVP-оракули для пошуку значень *F* та *G*. Такий спосіб дозволяє збільшити ймовірність успіху атаки до $\left(\frac{1}{2}+o(1)\right)^{2h}$, однак також збільшує час виконання операції редукції решітки до $2^{(2+\delta)h+o(h)}$. Оскільки задача MLHCSP є узагальненням задачі MLHRSP, то більшість атак на MLHRSP можна узагальнити на випадок MLHCSP, серед яких атака «*Slice-and-Dice*». Ця атака узагальнюється для розв'язку задачі MLHCSP з такими ж оцінками складності, як у випадку задачі MLHRSP. Для застосування алгоритму Гровера до цієї атаки та для реалізації алгоритму *LLL* через квантові вентилі необхідно 2^{52} кубітів при значенні числа Мерсенна M_{756839} та параметрі *h = 256*. Для цього необхідне застосування великої кількості квантових вентилів, а саме $2^{85}+2^{66}$ для вищезазначених параметрів, що ставить під сумнів ефективність атаки, навіть якщо великомасштабний квантовий комп'ютер буде побудовано.

3) У [8] доведено, що задача MLHCSP зводиться до задачі цілочисельного лінійного програмування (ILP, з англ. *Integer Linear Programming*). Доведено, що в загальному випадку задача ILP є NP-складною [9], але насправді складність розв'язку задачі ILP залежить від конкретних значень параметрів. Наприклад, якщо число змінних зафіксовано, то задачу ILP можна звести до задачі лінійного програмування, яка має поліноміальну складність. Враховуючи це, а також те, що неможливо перевірити, чи існує розв'язок заданої у ILP системи, отримане зведення не дозволяє робити висновки про NP-складність задачі MLHCSP. Однак, зведення задачі MLHCSP до задачі ILP дозволило доповнити клас слабких ключів криптосистеми AJPS-2 новими значеннями [8]. Виявилось, що якщо у бінарних записах чисел *F* та *G* нулі знаходяться згруповано, то менше ніж за n^3 викликів ILP-оракула можна отримати значення *F, G*, тобто зламати криптосистему AJPS-2. Для реалізації такої атаки необхідно, щоб числа *F* та *G* задовольняли умові $E_F + E_G \geq n$, де E_X – довжина найбільшої послідовності нулів серед двійкових представлень числа *X* та циклічних зсувів числа *X* (тобто найбільша послідовність нулів може формуватись зі старших та молодших нульових бітів числа *X* одночасно). Ймовірність отримати *F, G* такі, що $E_F + E_G \geq n$, дорівнює 2^{-11} для значень M_{1279} та *h = 17*.

Слід зауважити, що, навіть якщо потрібні для атак умови виконуються, складність описаних атак є все одно досить великою, що унеможливлює їх використання на практиці. Однак, для підвищення стійкості криптосистем AJPS-1 та AJPS-2, можна виконувати низку необхідних перевірок при застосуванні алгоритму створення ключів, і виконувати кроки алгоритму створення ключів повторно у випадку порушення однієї з вимог.

Також при визначені умов на алгоритм створення ключів варто врахувати необхідні умови на значення відкритого ключа криптосистеми AJPS-1.

Твердження 1. [10] *У криптосистемі* AJPS-1 *при виконанні однієї з умов:*

$$Ham(H) \leq 1;$$
$$Ham(H^{-1} \bmod M_n) \leq 1$$

можливе дешифрування шифротексту без використання особистого ключа.

Узагальнюючи умови на значення *F* та *G* опублікованих атак, а також враховуючи обмеження на значення *H* криптосистеми AJPS-1, що описані у твердженні 1, сформуємо рекомендації для алгоритмів створення ключів криптосистем AJPS-1 та AJPS-2.

Твердження 2 (Рекомендації для алгоритму створення ключів криптосистеми AJPS-1)**.** *Нехай в результаті застосування алгоритму створення ключів* AJPS-1 *отримано G – особистий ключ, F – секретний параметр криптосистеми,* $H = F \cdot G^{-1} \bmod M_n$ *– відкритий ключ. Для захищеної роботи криптосистеми* AJPS-1 *необхідно, щоб значення F, G та H задовольняли таким умовам:*

1) Хоча б одне з чисел F та G має бути більшим або рівним $\sqrt{M_n}$*, тобто має виконуватись така умова:*

$$\begin{bmatrix} F \geq \sqrt{M_n}, \\ G \geq \sqrt{M_n}. \end{bmatrix}$$

2) В бінарному записі хоча б одного з чисел F та G одиниці не згруповані разом (*є хоча б один нуль між h одиницями*)*, тобто виконується умова:*

$$\begin{bmatrix} F \neq 2^i \cdot M_h, & i = \overline{0, n-h}, \\ G \neq 2^j \cdot M_h & j = \overline{0, n-h}. \end{bmatrix}$$

3) Число H задовольняє таким умовам:

$$Ham(H) \neq 1;$$
$$Ham(H^{-1} \bmod M_n) \neq 1.$$

Якщо хоча б одна з наведених умов не виконується, то необхідно повторно застосувати алгоритм створення ключів. Якщо усі умови виконуються, то G та H можна використовувати для подальшої роботи криптосистеми.

Доведення. Пункт 1 отримано з умови атаки «Слабкий ключ». Доведення пункту 3 наведено у [11]. Розглянемо обґрунтування пункту 2. Умовою застосування атаки «*Slice-and-Dice*» з використанням алгоритму *LLL* є вимога, щоб усі одиниці у двійковому представленні чисел *F* та *G* знаходились згруповано. Оскільки числа *F* та *G* мають вагу Хеммінга *h*, то *h* одиниць мають знаходитись поруч (без нулів між ними) у двійковому записі цих чисел. Розглянемо число Мерсенна $M_h = 2^h - 1$. У двійковому записі воно має вигляд *11…1*, причому одиниць рівно *h*. Таким чином,

число M_h є одним з «слабких» значень для чисел *F*, *G*. При множенні на *2* отримаємо

$$2 \cdot M_h \bmod M_n = 11...10,$$

тобто ще одне «слабке» значення для чисел *F* та *G*.. Оскільки числа *F*, *G* за умовою задачі MLHRSP є *n*-бітовими, то максимальний степінь двійки, на який можна домножити M_h для отримання «слабкого» значення, є *n* - *h*, оскільки

$$2^{n-h} \cdot M_h \bmod M_n = 11...100...0$$

є *n*-бітовим числом, яке містить рівно *h* одиниць та *n* - *h* нулів. При значенні *n – h + 1* отримаємо:

$$2^{n-h+1} \cdot M_h \bmod M_n = 11...100...01,$$

адже множення на степінь двійки за модулем числа Мерсенна є циклічним зсувом числа вліво [12]. Таким чином, число $2^{n-h+1} \cdot M_h \bmod M_n$ не є «слабким» значенням, адже одиниці в його двійковому записі не є згрупованими. *Твердження доведено.*

Твердження 3 (Рекомендації для алгоритму створення ключів криптосистеми AJPS-2)**.** *Нехай в результаті застосування алгоритму створення ключів криптосистеми* AJPS-2 *отримано F – особистий ключ та G – секретний параметр криптосистеми. Для захищеної роботи криптосистеми* AJPS-2 *необхідно, щоб значення F та G задовольняли таким умовам:*

1) В бінарному записі хоча б одного з чисел F та G одиниці не згруповані разом (*є хоча б один нуль між h одиницями*)*, тобто виконується умова:*

$$\begin{bmatrix} F \neq 2^i \cdot M_h, & i = \overline{0,n-h}, \\ G \neq 2^j \cdot M_h & j = \overline{0,n-h}. \end{bmatrix}$$

2) Бінарний запис чисел F та G не містить великі послідовності нулів, тобто виконується умова $E_F + E_G < n$, *де* E_X *– довжина найбільшої послідовності нулів серед числа X та циклічних зсувів числа X.*

Якщо хоча б одна з наведених умов не виконується, то необхідно повторно виконати кроки алгоритму створення ключів криптосистеми AJPS-2*. Якщо усі наведені умови виконуються, то отримані значення F та G можна використовувати для подальшої роботи криптосистеми.*

Доведення. Доведення пункту 1 твердження 3 аналогічне доведенню пункту 2 твердження 2. Пункт 2 отримано з умови атаки зі зведенням задачі MLHCSP до задачі ILP. *Твердження доведено.*

Зауваження. У пунктах 1 та 2 твердження 2 та у пункті 1 твердження 3 описуються умови на вибір значень *F* та *G* криптосистем AJPS-1 та AJPS-2. При алгоритмі створення ключів обох криптосистем числа *F* та *G* обираються незалежно та випадково з множини $HM_{n,h}$, після чого рекомендовано виконувати описані перевірки. Варто зауважити, що не потрібно «слабкі» значення виключати з множини чисел, з якої випадково та незалежно обираються значення *F* та *G*. Оскільки для атак необхідно, щоб виконувались умови для обох чисел одночасно, то якщо, узагальнюючи описані умови на *F*, *G*, обмежити множину $HM_{n,h}$, множина можливих значень *F*, *G* необґрунтовано зменшиться та, як наслідок, зменшиться час виконання повного перебору.

IV. Висновки

У цій роботі представлено результати дослідження постквантових криптопримітивів сімейства AJPS, зокрема криптосистеми AJPS-1 для шифрування одного біту повідомлення та AJPS-2 для шифрування блоку бітів повідомлення. Здійснено огляд деяких відомих атак на криптосистеми AJPS-1 та AJPS-2. Узагальнюючи вимоги для можливого застосування цих атак, сформовано рекомендації для алгоритмів створення ключів криптосистем, які дозволяють забезпечити захищеність криптосистеми до описаних атак.

Література References

[1] Post-Quantum Cryptography Standardization [Online] // National Institute of Standards and Technology. – 2017. – Available: https://csrc.nist.gov/Projects/post-quantum-cryptography/Post-Quantum-Cryptography-Standardization.

[2] Workshops and Timeline Post-Quantum Cryptography [Online] // National Institute of Standards and Technology – Available: https://csrc.nist.gov/Projects/Post-Quantum-Cryptography/Workshops-and-Timeline.

[3] A New Public-Key Cryptosystem via Mersenne Numbers [Online] / D.Aggarwal, A. Joux, A. Prakash, M. Santha // IACR Cryptology ePrint Archive. – Available: https://eprint.iacr.org/2017/481.

[4] Zaverucha G. Generalized Mersenne Numbers in Pairing-Based Cryptography [Online] / Greg Zaverucha. – 2006. – Available: https://crysp.uwaterloo.ca/software/gmnt/gmz_mcs_thesis.pdf.

[5] Bajard J. Modular Number Systems: Beyond the Mersenne Family [Online] / J. Bajard, L. Imbert, T. Plantard // HAL-LIRMM. – 2004. – Available: https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00109208.

[6] On the Hardness of the Mersenne Low Hamming Ratio Assumption [Online] / M.Beunardeau, A. Connolly, R. Geraud, D. Naccache // IACR Cryptology ePrint Archive. – Available: https://eprint.iacr.org/2017/522.

[7] Tiepelt M. Quantum LLL with an Application to Mersenne Number Cryptosystems / M. Tiepelt, A. Szepieniec // Progress in Cryptology – LATINCRYPT 2019 / M. Tiepelt, A. Szepieniec., 2019.

[8] Budroni A. The Mersenne Low Hamming Combination Search Problem can be reduced to an ILP Problem / A. Budroni, A. Tenti // Lecture Notes in Computer Science / A. Budroni, A. Tenti. – Cham: Springer, 2019. – (Progress in Cryptology – AFRICACRYPT 2019).

[9] Papadimitriou C. On the Complexity of Integer Programming / Christos H. Papadimitriou. // J. ACM. – 1981. – №28.

[10] Fesenko A. The Necessary Security Requirements for the Values Used by the AJPS Cryptosystem / A. Fesenko, D. Yadukha. // Theoretical and Cryptographic Problems of Cybersecurity. – 2019. – №1.

[11] Baktir S. Optimal Extension Field Inversion in the Frequency Domain / S. Baktir, B. Sunar // Arithmetic of Finite Fields / S. Baktir, B. Sunar. – Siena: Springer, 2008.

СЕКЦІЯ 6.

Архітектоніка та компоненти комп'ютерних систем та мереж

SECTION 6.

Computer networks, systems and components architectonics

Оптимізація продуктивності багатопроцесорних обчислювальних систем за механізмом обслуговування

Любомир Петришин
кафедра управління
AGH науково-технологічний університет
Краків, 30-059, Польща
l.b.petryshyn@gmail.com

Михайло Петришин
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, 76018, Україна
m.l.petryshyn@gmail.com

Optimization of multiprocessor computer systems productivity by the service mechanism

Lubomyr Petryshyn
dept. of Enterprise Management
AGH University of Science and Technology
Cracow, 30-059, Poland
l.b.petryshyn@gmail.com

Mykhailo Petryshyn
dept. of Computer Science and Information Systems
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine
m.l.petryshyn@gmail.com

***Анотація*—Із застосуванням теорії масового обслуговування розроблені теоретичні та методичні основи оптимізації параметрів багатопроцесорних обчислювальних систем із різними методами структурної організації та механізмами обслуговування вхідних інфопотоків. Розроблені прикладні аспекти покращення процесів обслуговування.**

***Abstract*—Using the theory of queuing, the theoretical and methodological bases of multiprocessor computer systems parameters optimization with different methods of structural organization and maintenance of input information streams are developed. Applied aspects of service process improvement have been developed.**

Ключові слова—обчислювальна система, оптимізація, архітектура, теорія масового обслуговування

Keywords—computing system, optimization, architecture, queuing theory

I. Вступ

Впровадження високопродуктивних засобів обчислювальної техніки є визначальним чинником вирішення прикладних та практичних завдань в галузі сучасних інформаційних технологій. Аналіз специфіки оброблюваних інфопотоків та проектування відповідно адаптованих архітектур багатопроцесорних обчислювальних системах (БПОС) дозволяє підвищити техніко-екномічну ефективніть застосування обчислювальних потужностей та реалізації інформаційної технології [1 - 4].

II. Актуальність та проблематика дослідження

На шляху розробки однопроцесорних обчислювальних систем (ОС) стоять проблеми технологічного характеру виготовлення мікрочіпів, що накладають обмеження потенційного збільшення обчислювальних потужностей технічних засобів. Єдиний шлях вирішення проблем збільшення продуктивності засобів обчислювальної техніки полягає в розпаралелюванні процедур обробки інформаційних потоків та використанні БПОС і комплексів. Практична реалізація високопродуктивних розпаралелених структур передбачає значні грошові затрати на їхнє виготовлення, що вимагає коректного підходу до визначення і аналізу характеристик вхідних інформаційних потоків, а також вміння визначити техніко-економічні параметри БПОС, розробити архітектуру і визначити процедури обслуговування інфопотоків в системі [3, 4]. На сучасному рівні в достатній мірі розроблений математичний апарат теорії масового обслуговування, що дозволяє змоделювати прикладні аспекти основних процесів обробки інфопотоків в БПОС [5 – 14].

III. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є обгрунтування ефективності застосування та аналіз математичного апарату моделювання процесів обслуговування інфорпотоків у БПОС на основі теорії масового обслуговування. Вирішено задачі розробки архітектури БПОС на стадії проектування за допомогою одного із можливих методів оптимізації процесів обслуговування за механізмами обслуговування та організацією дисципліни черги.

IV. Аналіз механізмів обслуговування

Процес обслуговування вхідного потоку задач характеризується також пропускною здатністю ОС, яка визначає максимальну кількість задач, що можуть бути обслужені одночасно [15, 16]. Систему в складі одного каналу обслуговування, яка здійснює обслуговування в реальному часі одним процесором тільки однієї задачі, визначено одноканальною. Продуктивність такої системи приймається рівною одиниці. До одноканальних структур належать ОС з одиничними потоками команд та даних типу ОКОД, що мають послідовний тракт вводу-виводу задач та один процесор обслуговування. В кожен момент часу така система може здійснювати обслуговування єдиної задачі вхідного потоку. Обслуговування кількох задач системою є фізично неможливим.

За наявності в ОС кількох, наприклад, *s* незалежних паралельних каналів обслуговування, кожен із яких у стані здійснювати одночасне паралельне обслуговування однієї із кількох задач вхідного потоку, пропускна здатність системи зростає пропорційно кількості каналів *s*. До багатоканалових систем належать БПОС з одиничним потоком команд і множинним даних типу ОКМД і певною мірою системи з множинними потоками типу МКМД, які дозволяють здійснювати централізоване й розподілене в часі та ресурсах розпаралелене обслуговування задач вхідного потоку.

БПОС з множинним потоком команд і одиничним даних типу МКОД дозволяють здійснювати одночасне послідовне обслуговування задач, кожна із яких перебуває на визначеній фазі обчислювального процесу. Такі БПОС визначено як багатофазні.

У процесі обслуговування задачі вхідного потоку можуть перебувати на різних фазах, зокрема вводу, очікування, обслуговування, очікування і виводу. Термін часу, протягом якого задача перебуває в ОС, визначено тривалістю обслуговування. Цей параметр характеризує час від моменту надходження задачі в ОС до моменту її виводу з системи. Реально тривалість обслуговування є більшою ніж час обслуговування, оскільки останній показник визначає “чистий” час обслуговування в каналі, а задача в системі може перебувати в пасивному стані в стадіях очікування, що спричиняє збільшення тривалості обслуговування. За умови визначення часу зайнятості каналу слід враховувати час на підготовчо-завершальні операції.

Тривалість обслуговування, як і час обслуговування, є випадковою величиною, що здебільшого підчиняється показниковому закону розподілу. В окремих випадках адекватні результати наближення забезпечують рівномірний розподіл, розподіл Ерланга та ін.

V. Дисципліна черги

Вхідний потік задач поступає в систему обслуговування згідно певного порядку, який визначає дисципліну черги. Дисципліна черги може бути сформована стихійно, або згідно з певними правилами, що зумовлені техніко-економічними обмеженнями [17 – 30]. Формування дисципліни черги передбачає аналіз таких факторів:

- правил відбору задач, що поступають в систему обслуговування;
- наявності та рівня пріоритетів;
- обмеження на розмір черги;
- обмеження на час очікування в черзі.

Правило відбору задач, що надходять в канал обслуговування, передбачає формування черги з урахуванням порядку надходження задач в шкалі часу. Здебільшого ОС здійснюють обслуговування згідно з дисципліною FIFO - “перший прийшов – перший обслужений”. FIFO використовують у системах, в яких, згідно з фізичними, технічними та організаційними обмеженнями, відсутня необхідність чи можливість випередження в обслуговуванні однією із задач інших задач потоку.

Дисципліна LIFO - “останній прийшов – перший обслуговується” в ОС використовується досить рідко, тому в цьому матеріалі її аналіз опущено.

Інколи задачі поступають в ОС у випадковому порядку. Подібна дисципліна відбору формується у разі порушення черги з різних причин.

Якщо вхідний потік складається із задач кількох категорій, кожна із яких передбачає різний підхід щодо введення задач у канал обслуговування за порядком, то такі ОС визначено системами із пріоритетом. У межах однієї з категорій задачі відбираються для обслуговування згідно з одним із вище наведених правил. Категорія згідно з заданою шкалою пріоритетів визначає черговість поступлення задач у канал обслуговування. Здійснюється динамічна зміна розподілу задач у черзі відповідно заявленої категорії пріоритету.

В ОС виникають ситуації, коли в процесі обслуговуванням каналом поточної задачі поступає на обслуговування задача із вищим пріоритетом. Розрізняють такі правила звільнення каналу для подальшого обслуговування задачі з вищим пріоритетом:

- у системі з пріоритетом без переривання обслуговування передбачено, що обслуговування задачі нижчого пріоритету, яка перебуває в каналі, завершується, після чого звільняється канал;

- у системі з пріоритетом, що переривається обслуговування, передбачено звільнення каналу відразу після надходження задачі з вищим пріоритетом, не очікуючи завершення обслуговування задачі нижчого пріоритету.

У системах із пріоритетами, що переривають обслуговування, в одному із випадків задачі можуть вибувати із каналу системи обслуговування відразу після переривання обслуговування, а в іншому можуть повертатись у канал обслуговування. В останньому випадку процес обслуговування перерваної задачі залежно з організацією процедури переривання може продовжуватися від моменту, коли він був перерваний, або може розпочати повторне обслуговування перерваної задачі від початку.

На практиці застосовують і більш складні схеми обслуговування переривань, зокрема, із кількома альтернативними шкалами пріоритетів та вибором однієї із них. Широко використовують шкали на основі тривалості обслуговування задач потоку типу "першою обслуговується задача із найменшим часом обслуговування", згідно з якою в канал обслуговування спочатку поступають задачі із найменшою тривалістю обслуговування, а відтак із більшою. Останньою обслуговується задача із найбільшим часом обслуговування. В разі надходження в систему нових задач встановлена раніше черговість переформовується.

В практиці застосовують також кілька проміжних варіантів обслуговування переривань. Один із них полягає в тому, що звільнення каналу обслуговування здійснюється залежно від тривалості часу, що залишився до моменту закінчення обслуговування. Немає сенсу переривати процес обслуговування, навіть, якщо поступила задача вищого пріоритету, а до закінчення обслуговування залишилося досить мало часу. Значення уставки часу на дозвіл переривання задається в ОС наперед. Інший варіант передбачає звільнення каналу обслуговування, якщо час до моменту завершення обслуговування задачі нижчого пріоритету більший, ніж час, необхідний для обслуговування задачі, що поступила на обслуговування. Пріоритет встановлюється шляхом порівняння двох значень часів обслуговування.

На рис. 1 наведено схему, що систематизує дисципліни формування черг.

Дисципліна формування черги може враховувати також і обмеження на загальну довжину черги.

Якщо черга досягла певного розміру, то ОС нові задачі на обслуговування не приймає. Такі системи обслуговування визначено як "системи з відмовами". Відмови в обслуговуванні в основному зумовлені критичними ресурсами пам'яті або прийнятими правилами обслуговування.

В сучасних ОС розміри черги не обмежуються, тому черга може зрости до таких розмірів, що інформація може старіти та втрачати свою актуальність. Для запобігання вказаного недоліку необхідно нарощувати обчислювальні ресурси ОС шляхом збільшення пропускної здатності каналу, або введення нових каналів обслуговування.

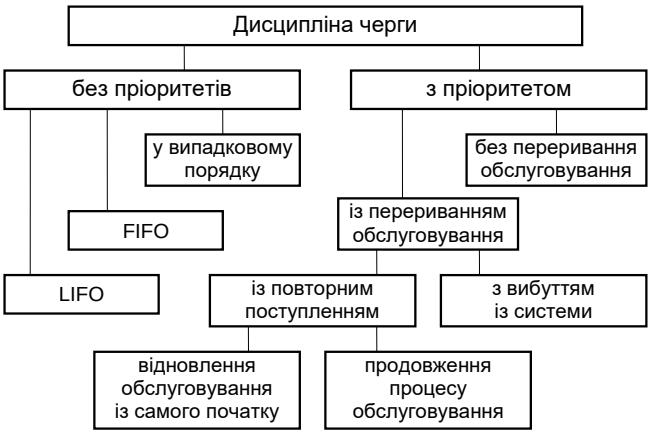


Рис. 1. Класифікація дисциплін формування черг

Значний вплив на середній час очікування або перебування задачі в системі обслуговування має обраний тип пріоритету переривання задач вхідного потоку. В табл. 1 наведено значення середнього часу перебування задач в системі за умови показникового розподілу часу обслуговування для μ=1, що відповідають різним типам пріоритетів.

Для порівняння в якості основних прийняті середні значення для дисципліни "перший прийшов – перший обслуговується" (колонка 2).

TABLE I. ЗНАЧЕННЯ УСЕРЕДНЕНОГО ЧАСУ ПЕРЕБУВАННЯ ЗАДАЧ В ОС

λ	*без пріоритету*	**з пріоритетом**			
середня щільність поступлення		*без переривання обслугов.*	*з перериванням обслугов.*	*мінімал. час обслугов.*	*мінімал. час обслугов. залишков.*
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
0,30	1,429	1,377	1,246	1,359	1,197
0,40	1,667	1,555	1,372	1,518	1,296
0,50	2,000	1,782	1,540	1,713	1,425
0,60	2,500	2,088	1,778	1,962	1,604
0,70	3,333	2,542	2,147	2,312	1,874
0,80	5,000	3,328	2,821	2,882	2,352
0,90	10,000	5,284	4,590	4,197	3,552
0,95	20,000	8,529	7,646	6,263	5,540
0,98	50,000	16,636	15,481	11,283	10,494
0,99	100,000	28,283	26,905	18,449	17,625

За отриманими результатами, наведеними в таблиці 1, можна ствердити, що найменше значення середнього часу обслуговування отримано для дисципліни обслуговування із "найменшим залишковим часом обслуговування" (колонка 6). Узагальнене порівняння усереднених значень для систем без переривання та із перериваннями показує, що введення пріоритету спричиняє зменшення середнього часу перебування задач в ОС.

VI. Висновки

За отриманими результатами проведених досліджень обгрунтовано застосування теорії масового обслуговування для моделювання процесів обробки інформаційних потоків у БПОС. Проаналізовано один із можливих методів оптимізації процесів обслуговування за механізмами обслуговування та організацією дисципліни черги. Здійснено класифікацію дисциплін формування черг та наведено значення усередненого часу перебування задач в ОС, за яким можна підсумувати, що найменше значення середнього часу обслуговування отримано для дисципліни обслуговування із "найменшим залишковим часом обслуговування". Узагальнене порівняння усереднених значень для систем без переривання та із перериваннями показує, що введення пріоритету спричиняє зменшення середнього часу перебування задач в ОС. Характер дослідження має прикладний характер та рекомендовано для застосування на стадіях розробки архітектури БПОС.

Література References

[1] M. Harchol-Balter, Performance modeling and design of computer systems : queueing theory in action. Publisher: New York : Cambridge University Press, 2014.

[2] L.B. Petryshyn, Theory of digital data transformation in the ICT / Lubomyr B. PETRYSHYN // In: Advances in ICT for business, industry and public sector : / eds. Maria Mach-Król, Celina M. Olszak, Tomasz Pełech-Pilichowski. — Cham ; [etc.] : Springer, 2015. — S. 157–170.

[3] T. Czachórski, Modele kolejkowe w ocenie efektywności pracy sieci i systemów komputerowych / Gliwice : Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, 1999.

[4] Л.Б. Петришин, Теоретические основы функционального анализа информационных потоков и кодирования сообщений в системах управления — Theoretical bases of the functional analysis of information streams and coding of messages in management systems. / Lyubomyr PETRYSHYN // In: Zarządzanie produkcją – planowanie, wytwarzanie, optymalizacja i kontrola = Management of production – planning, production, optimization and control : monografia / red. nauk. R. Barcik, M. Dudek, W. Waszkielewicz. — Bielsko-Biała : Wydaw-nictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2010. — S. 227–244.

[5] G.F. Newell, Applications of Queueing Theory. Springer Science+Business Media B.V. 1982.

[6] T. Kiesling, T. Krieger, Efficient parallel queuing system simulation, in: The 38th Conference on Winter Simulation, Winter Simulation Conference, 2006, pp. 1020–1027.

[7] N.U. Prabhu, Foundations of queueing theory. Publisher: Boston Kluwer, 2002.

[8] Л. Петришин, Теоретические основы расчета многопроцессорных информационных систем управления — Theoretical design bases of multiprocessors information systems of management / Lubomyr PETRYSHYN // In: Zarządzanie przedsiębiorstwem – teoria i praktyka : monografia. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. — Kraków : WZ AGH, 2012. — S. 1–18.

[9] Л. Петришин, Оптимизация распределенных компьютеризированных систем управления — Optimization of the distributed computerized control systems / Lubomyr PETRYSHYN // In: Informacje i marketing w działalności organizacji :monografia = Information and marketing in activities of organization : [monograph] / red. nauk. Honorata Howaniec, Irena Szewczyk, Wiesław WASZKIELEWICZ. — Bielsko-Biała : Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2013. — S. 9–21.

[10] J.F. Shortle, J.M. Thompson, D. Gross, C.M. Harris, Fundamentals of queueing theory, Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2018.

[11] R.B. Cooper, Introduction to queueing theory. Publisher: Washington, DC : CEEPress Books, 1990.

[12] U.N. Bhat, An Introduction to Queueing Theory Modeling and Analysis in Applications, Birkhäuser, Boston, MA, 2008.

[13] A.M. Lee, Applied Queueing Theory. Publisher: London : Macmillan Education, Limited, 2016.

[14] Л. Петришин, Застосування теорії масового обслуговування на стадії моделювання багатопроцесорних обчислювальних систем – Application of the queueing theory at the stage of multiprocessor computing systems modeling // Тези доповідей шостої міжнародної науково-практичної конференції «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації» м. Вінниця, 24-25 жовтня 2017 року. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С. 135-138.

[15] F.B. Nilsen, Queuing systems: Modeling, analysis and simulation, Department of Informatics, University of Oslo, Oslo, 1998.

[16] Л. Петришин, Д. Саля, Архитектоника многопроцессорных компьютеризованных систем управления — Architecture of the multiprocessor computerized management systems / Lubomyr PETRYSHYN, Dariusz SALA // In: Zarządzanie przedsiębiorstwem : teoria i praktyka 2014 / pod red. nauk. Piotra Łebkowskiego. — Kraków : Wydawnictwa AGH, 2014. — (Monografia Wydawnictw Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie). — S. 185–199.

[17] S. Palaniammal, Probability and queueing theory. Publisher: New Delhi : PHI Learning, 2012.

[18] M. Haviv, Queues : a Course in Queueing Theory. Publisher: New York, NY : Springer, 2013.

[19] P.P. Bocharov, C. D'Apice, A.V. Pechinkin, Queueing Theory. Publisher: Berlin ; Boston : De Gruyter, 2011.

[20] Queueing theory. Publisher: [Place of publication not identified] : Book On Demand, 2012.

[21] Л.Б. Петришин, В. Вашкелевич, Практика використання теорії масового обслуговування в курсі предмету «Архітектура обчислювальних систем» - The Practice of Applying the Queuing Theory in the Course «Architecture of Computing Systems // Науково-практична конференція «Інформаційні технології та компютерне моделювання ІТКМ-2016» 23-28 травня 2016 р. Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2016. (-232 с.) – С. 58-59.

[22] В. Вашкелевич, Л.Б. Петришин, Моделирование мультипроцессорных систем управления – Modeling of Multiprocessor Control Systems // II Міжнародна конференція «Комп'ютерна алгебра та інформаційні технології» КАІТ-2016, 21-26 серпня 2016 р. : Одеса, Україна. / Одеський національний університет імені І.І.Мечникова. –Одеса: ТЕС, 2016. – С. 41-42.

[23] L. Petryshyn, Математические модели обслуживания информационных процессов в многопроцессорных компьютеризованных системах управления // In monography Information Technology in Selected Areas of Management. / Sc.Ed. Lyubomyr Petryshyn. Published by AGH University of Science and Technology Press. KU 0651. Krakow 2016. – P. 11-32.

[24] Л.Б. Петришин, Оптимізація багатопроцесорних обчислювальних систем з очікуванням – Optimization of multiprocessor computing systems with expectations // 6-я международная научно-техническая конференция Информационные системы и технологии ИСТ-2017, 11-16 сентября 2017, Харьков – Коблево. ХНУРЭ, AGH ПНУ, -С. 74-75.

[25] Е.Ю. Шемахин, Моделирование многоканальной открытой системы массового обслуживания с ограничениями. Определение аналитических формул // Молодой ученый. — 2015. — №12. — С. 20-27. — URL https://moluch.ru/archive/92/20226/ (дата обращения: 01.07.2021).

[26] А.П. Кирпичников, Методы прикладной теории массового обслуживания. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2011. 200 с.

[27] W.M. Kempa, Queueing models with limited access to server. Publisher: Gliwice : Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.

[28] N. Gautam, Analysis of queues : methods and applications. Publisher: Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis, cop. 2012.

[29] J. Kałuski, Symulatory komputerowe systemów obsługi masowej / Poznań : Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej, 2017.

[30] R. Hassin, Rational queueing. Publisher: Boca Raton : Chapman & Hall/CRC, 2016.

Оптимізація Корпоративних Комп'ютерних Мереж на Етапі Реінжинірингу

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Володимир Русскін
кафедра інформатики,
Харківська гуманітарно-педагогічна академія
Харків, Україна
v_russkin@ukr.net

Optimization of Corporate Computer Networks at the Reengineering Stage

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Vladimir Russkin
Department of Informatics
Kharkiv Humanitarian and Pedagogical Academy
Kharkiv, Ukraine
v_russkin@ukr.net

***Анотація*—Розглянуто задачу оптимізації корпоративних комп'ютерних мереж на етапі реінжинірингу. У рамках агрегативно-декомпозиційного підходу запропоновано ітераційну схему розв'язання комплексу задач структурної, топологічної, технологічної та параметричної оптимізації мереж.**

***Abstract*— The problem of optimization of corporate computer networks at the reengineering stage is considered. Within the framework of the aggregative-decomposition approach the iterative scheme of the decision of a complex of problems of structural, topological, technological and parametric optimization of networks is offered.**

Ключові слова—корпоративна комп'ютерна мережа; реінжиніринг; оптимізація; агрегативно-декомпозиційний підхід; ітераційна схема.

Keywords—corporate computer network; reengineering; optimization; aggregative-decomposition approach; iterative scheme.

I.Вступ

Удосконалення технологій і засобів обробки інформації, зміни умов функціонування корпоративних комп'ютерних мереж (ККМ) на певному етапі призводять до необхідності відповідних змін їх структур, топологій, параметрів і технологій їх функціонування. Оптимізація мереж здійснюється на основі прогнозних даних з урахуванням множин функціональних і вартісних показників шляхом розв'язання множини комбінаторних задач. Тісний зв'язок між задачами за вхідними і вихідними даними породжує проблеми методологічного й обчислювального характеру.

II.Огляд сучасного стану проблеми

У загальному випадку задача вибору найкращого варіанту побудови ККМ полягає у визначенні серед множин допустимих її архітектури $R \subseteq R^*$, топології елементів $G \subseteq G^*$, типів елементів $T \subseteq T^*$, технології функціонування $A \subseteq A^*$ і може бути подана у вигляді [1]:

$$s^o = arg \max_{s \in S} \{ P(s) = P(R,G,T,A) \}, \qquad (1)$$

де S - множина допустимих варіантів побудови мережі; $P(s)$ - скалярна оцінка варіанта s.

На практиці через складність загальної задачі (1) розглядаються її часткові випадки: оптимізації структури, топології, параметрів елементів і (або) зв'язків, технології функціонування. Для їх розв'язання за показником витрат розроблені точні та наближені методи [2-3]. Необхідність оптимізації архітектури, топології елементів, типів елементів, технології функціонування існуючих мереж з урахуванням показників, оперативності, надійності економічності обумовлюють актуальність завдань розробки ефективних методів розв'язання загальної задачі (1).

III. Результати дослідження

За результатами системологічного аналізу проблеми системної оптимізації ККМ (1) як розосереджених об'єктів на нижньому рівні виділено множину задач $Task_i^2$, $i=\overline{1,6}$ [4]: вибір принципів побудови мережі; вибір структури; визначення топології елементів і зв'язків; вибір технології функціонування; визначення параметрів або типів елементів і зв'язків; оцінка ефективності варіантів побудови мережі та вибір найкращого серед них.

У комплексі виділених задач реінжинірингу $Task_2^1$ їх моделі $ModTask_i^2$ будемо подавати у вигляді перетворювачів зовнішніх $InDat_{iE}^2$, внутрішніх $InDat_{iI}^2$ вхідних даних і обмежень Res_i^2 у відповідні проектні рішення $DesDec_i^2$:

$$ModTask_i^2 : \{ InDat_{iE}^2, InDat_{iI}^2, Res_i^2 \} \rightarrow DesDec_i^2,\ i=\overline{1,6}. \quad (2)$$

Використовуючи нотацію моделей (2) метод розв'язання загальної задачі оптимізації ККМ (1) можна подати у вигляді ітераційної схеми отримання проектного рішення $DesDec_2^1$ (рис. 1).

Такий метод дозволяє формувати відсутні вхідні дані за результатами розв'язання задач $Task_i^2$, $i=\overline{1,6}$ на попередній ітерації, що дозволяє підвищувати точність рішень часткових і загальної задач реінжинірингу ККМ.

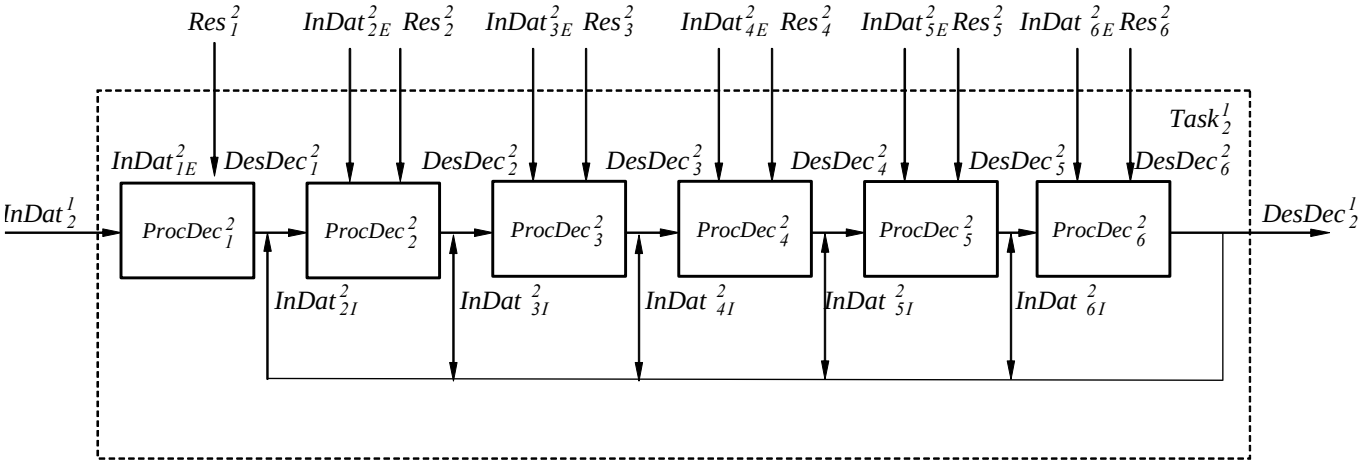


Рис. 1. Ітераційна схема оптимізації корпоративних компютерних мереж як територіально розподілених обєктів

Елементарною ланкою для впорядковування задач у запропонованій схемі є комірка проектування, яка подає принципово розв'язні за допомогою певної вирішальної процедури задачі $Task_i^2$, $i=\overline{1,6}$ по їх вхідних даних і обмеженнях:

$$Task_i^2 : ProcDec_i^2 \{ InDat_{iE}^2, Res_i^2 \} \rightarrow DesDec_i^2 / ModTask_i^2 .$$

Для практичної реалізації запропонованого методу для кожної з задач $Task_i^2$, $i=\overline{1,6}$ необхідно розробити методи розв'язання й відповідні програмні модулі, а також оболонку для їх взаємодії в процесі розв'язання загальної задачі реінжинірингу ККМ (1).

IV. Висновки

Запропоновано метод розв'язання загальної задачі оптимізації корпоративних комп'ютерних мереж на етапі їх реінжинірингу. Він заснований на ітераційній логічній схемі системного проектування розподілених об'єктів, що дозволяє формувати відсутні вхідні дані за результатами розв'язання задач на попередніх ітераціях. Практичне використання запропонованого методу дозволяє підвищувати точність розв'язання часткових і загальної задач реінжинірингу мереж. Ідея запропонованого методу може бути використана при розв'язанні задач оптимізації логістичних мереж, інших територіально розподілених об'єктів у процесах їхнього проектування, планування розвитку чи реінжинірингу.

Література References

[1] Володимир Безкоровайний, Володимир Русскін. Багатокритеріальна оптимізація топологічних структур корпоративних комп'ютерних мереж // Інформаційні системи та технології: матеріали статей 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, 17-20 листопада 2020 року / наук. ред. А.Д. Тевяшев, Л.Б. Петришин, В.Г. Кобзєв. Х.: ХНУРЕ, 2020. С. 23–24.

[2] Elyasi-Komari I., Mamalis A.G., Lavrynenko S.N. The analysis of tasks of development and reengineering process of reliability computer networks for critical technologies // Високі технології в машинобудуванні. 2009. №2. С. 17–21.

[3] Nesterenko S.A., Nesterenko J.S. Costs evaluation methodic of energy efficient computer network reengineering // Праці Одеського політехнічного університету. 2016. Вип. 2 (49). 70–75.

[4] Бескоровайный В.В. Синтез логической схемы системного проектирования территориально распределенных объектов // Радиоэлектроника и информатика. 2002. №. 3. С. 94–96.

СЕКЦІЯ 7.

Математичне та комп'ютерне моделювання складних систем

SECTION 7.

Mathematical and computer modelling of complex systems

Математичні Моделі для Підтримки Прийняття Багатокритеріальних Проєктних Рішень

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Оксана Драз
кафедра системотехніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oksana.draz@nure.ua

Mathematical Models to Support Multi Criteria Design Decisions

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Oksana Draz
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.draz@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано математичні моделі для комбінованого методу ранжування варіантів проєктних рішень. Моделі зорієнтовані на технологію компараторної ідентифікації, що дозволяє здійснювати перехід від ординалістичних оцінок особи, що приймає рішення, до кількісних скалярних оцінок рішень.**

***Abstract*—Mathematical models for the combined method of ranking variants of design solutions are offered. The models focus on comparative identification technology, which ensures the transition from ordinary assessments of the decision maker to quantitative scalar assessments of decisions.**

Ключові слова—автоматизація проєктування; багатокритеріальне оцінювання; поліном Колмогорова-Габора; ефективні рішення; функція корисності часткових критеріїв.

Keywords— design automation; multicriteria evaluation; Kolmogorov-Gabor polynomial; effective solutions; utility function of local criteria.

I. Вступ

Процеси проєктування передбачають розв'язання задач оптимізації за множинами функціональних і вартісних показників. Більшість задач структурної, параметричної, топологічної та технологічної оптимізації об'єктів проєктування є комбінаторними по своїй суті, а процеси їх розв'язання передбачають скалярне оцінювання варіантів рішень в автоматичному режимі. Для автоматизації процедур оцінювання використовуються математичні моделі теорії корисності та прийняття рішень. Вибір рішень з множини ефективних тільки на завершальних етапах здійснюється особою, яка приймає рішення (ОПР). Це обумовлює актуальність задач розробки математичних моделей для автоматизації процесів підтримки прийняття багатокритеріальних проєктних рішень на основі теорії корисності та компараторної ідентифікації.

II. Аналіз сучасного стану проблеми

У результаті декомпозиції проблеми прийняття проєктних рішень виділяється множина задач [1]: визначення мети; формування універсальної множини рішень; виділення множини допустимих рішень; виділення підмножини ефективних рішень; ранжування рішень; вибір найкращого рішення. Розв'язання задачі визначення мети здійснюється на етапах передпроєктних досліджень неформальними методами. Формування універсальної множини, виділення підмножин допустимих й ефективних рішень здійснюється з урахуванням існуючих чи встановлених обмежень в автоматичному режимі. Найбільшу складність в теоретичному плані мають задачі ранжування проєктних рішень на множині ефективних і вибір найкращого серед них [2].

Огляд сучасного стану проблеми автоматизації процесів підтримки прийняття рішень [3] показує, що до теперішнього часу існує протиріччя між необхідністю підвищення їх ефективності та обмеженими можливостями сучасної методології створення відповідних моделей.

III. Результати дослідження

За основу математичного забезпечення технології підтримки прийняття проєктних рішень пропонується прийняти комбінований метод ранжування варіантів, що ґрунтується на процедурах ординалістичного та кардиналістичного впорядкування [1]. Він складається з етапів: виділення на множині допустимих підмножини ефективних варіантів $S^E \subseteq S$; визначення на S^E переваг щодо важливості окремих властивостей варіантів $s \in S^E$, які оцінюються частковими критеріями $k_i(s),\ i=\overline{1,m}$; параметричного синтезу узагальненої функції корисності (ФУК); ранжування варіантів з використанням синтезованої ФУК; виділення на підмножині S^E підмножини з декількох найбільш ефективних варіантів $S' \subseteq S^E$; визначення рангів підмножини найбільш ефективних варіантів.

Для визначення підмножин ефективних рішень $S^E \subseteq S$ у залежності від особливостей задачі пропонується використовувати методи парних порівнянь, сегмента, Карліна чи Гермейєра.

Формально задача вибору найкращого проєктного рішення з підмножини ефективних $s^o \in S^E$ може бути зведена до задачі оптимізації виду:

$$s^o = arg\ \max_{s \in S^E} P(s), \tag{1}$$

де $P(s)$ - значення ФУК для варіанта s.

Скалярне оцінювання варіантів пропонується здійснювати з використанням універсальної ФУК, побудованої на основі поліному Колмогорова-Габора [2]:

$$P(s) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \xi_i(s) + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=i}^{m} \lambda_{ij} \xi_i(s)\xi_j(s) + \dots, \tag{2}$$

де m - кількість часткових критеріїв; λ_i, λ_{ij} - вагові коефіцієнти часткових критеріїв $k_i(s)$ та їх добутків $\lambda_i \ge 0,\ \lambda_{ij} \ge 0,\ \ i=\overline{1,m}$; $\xi_i(s)$ - функція корисності часткового критерію (ФКЧК) $k_i(s),\ i=\overline{1,m}$.

За основу ФУК (2) використаємо універсальну ФКЧК, яка дозволяє реалізувати лінійні, опуклі, увігнуті, *S*- і *Z*-подібні залежності та має високу точність апроксимації оцінок ОПР [4]:

$$\xi(s) = \begin{cases} \bar{a} \cdot \left(\dfrac{\bar{k}(s)}{\bar{k}_a} \right)^{\alpha_1}, & 0 \le \bar{k}(s) \le \bar{k}_a; \\ \bar{a} + (1-\bar{a}) \cdot \left(\dfrac{\bar{k}(s) - \bar{k}_a}{1-\bar{k}_a} \right)^{\alpha_2}, & \bar{k}_a < \bar{k}(s) \le 1, \end{cases} \tag{3}$$

де $\bar{k}(x)$ - нормоване значення часткового критерію $k(s)$; $\bar{k}_a$, $\bar{a}$ - нормовані значення координат точки склейки ФКЧК (3), $0 \le \bar{k}_a \le 1$, $0 \le \bar{a} \le 1$; α_1, α_2 - коефіцієнти, що визначають вид залежності на початковому та кінцевому відрізках; $k(s)$, k^+, k^- - значення часткового критерію для рішення s, найкраще та найгірше значення критерію $k(s)$.

В рамках технології компараторної ідентифікації ОПР на основі вимог до проектного рішення і суб'єктивних оцінок $P(s)$ формує бінарне відношення строгої переваги на парах варіантів:

$$R(S') = \{ < s,v >:\ s,v \in S',\ s \succ v \}. \tag{4}$$

На основі скалярної оцінки рішень (2) для відношення (4) складемо систему нерівностей:

$$P(s) > P(v),\ s,v \in R(S'). \tag{5}$$

Значення вагових коефіцієнтів λ_i, λ_{ij}, $i=\overline{1,m}$ знайдемо шляхом регуляризації задачі пошуку розв'язку системи (5) з нормуючими умовами $\lambda_i \ge 0,\ \lambda_{ij} \ge 0$, $i=\overline{1,m}$.

На наступному етапі здійснюється обчислення значень $P(s)$ (2) для всіх варіантів $s \in S^E$ з встановленими значеннями вагових коефіцієнтів λ_i, λ_{ij}, $i=\overline{1,m}$. Це дозволяє здійснити ранжування всієї множини ефективних варіантів. На основі кількісної оцінки варіантів $P(s)$, $s \in S^E$ здійснюється відбір підмножини $S^o \in S^E$ заданої кількості n^o найкращих варіантів. Після цього з використанням методів експертного оцінювання чи лексикографічної оптимізації здійснюється остаточний вибір найкращого варіанта проєктного рішення $s^o \in S^o$.

IV. Висновки

Для узгодження взаємодії між автоматичними й інтерактивними процедурами автоматизованих систем проектування запропоновано математичні моделі комбінованого методу ранжування варіантів. Моделі зорієнтовані на технологію компараторної ідентифікації, що дозволяє здійснювати перехід від ординалістичних оцінок ОПР, до кількісних скалярних оцінок рішень.

Література References

[1] Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2020. No 4 (14). P. 13–20.

[2] Крючковский В.В., Петров Э.Г., Соколова Н.А., Ходаков В.Е. Введение в нормативную теорию принятия решений. Херсон: Гринь Д.С. 2013. 284 с.

[3] Greco S. , Ehrgott M., Figueira J.R. Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys / New York: Springer, 2016. 1346 p.

[4] Beskorovainyi V., Berezovskyi H. Identification of preferences in decision support systems // ECONTECHMOD. 2017. Vol. 06. №4. P. 15-20.

Створення Програмного Забезпечення для Аналізу Руху Двовісного Колісного Екіпажу на Основі Нелінійної Моделі

Володимир Вербицький
Кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
oxsidan@ukr.net

Анатолій Безверхий
Кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
anatolbezv@gmail.com

Наталя Вельмагіна
Кафедра комп'ютерних наук, інформаційних технологій та прикладної математики
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
Дніпро, Україна
velmahina.natalia@pgasa.dp.ua

Іван Цідило
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
math@nung.edu.ua

Creating Software for Biaxial Wheeled Vehicle Motion Analysis Based on Nonlinear Model

Vladimir Verbitskii
Dept. of Software for Automated Systems
Zaporizhzhia National University
Zaporozhzhia, Ukraine
oxsidan@ukr.net

Anatoliy Bezverkhyi
Dept. of Software for Automated Systems
Zaporizhzhia National University
Zaporozhzhia, Ukraine
anatolbezv@gmail.com

Natalia Velmagina
Department of Computer Science, Information Technology and Applied Mathematics Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture,
velmahina.natalia@pgasa.dp.ua

Ivan Tsidylo
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
math@nung.edu.ua

***Анотація* — В роботі представлені методи побудови алгоритмів чисельного аналізу дивергентної втрати стійкості множини кругових стаціонарних станів нелінійної велосипедної моделі колісного екіпажа – побудова множини критичних значень параметрів, при яких відбувається дивергентна втрата стійкості стаціонарних станів.**

Abstract - The paper presents methods for constructing algorithms for numerical analysis of divergent loss of stability of a set of circular stationary states of a nonlinear bicycle model of a wheeled crew - construction of a set of critical values of parameters at which there is a divergent loss of stability of stationary states.

Ключові слова — колісний екіпаж; круговий рух; нелінійна модель; дивергентна втрата стійкості; критичні параметри

Keywords - wheeled crew; circular motion; nonlinear model; divergent loss of stability; critical parameters

I. Вступ

Дивергентна втрата стійкості стаціонарних режимів, пов'язана з появою нульового власного значення. Останній факт свідчить про дотичність кривих («нульових» ізоклін), які визначають множину стаціонарних станів, що в свою чергу пов’язано з реалізацією кратного стаціонарного режиму в нелінійній динамічній системі при критичних значеннях параметрів керування [1]. У роботі [3] представлений графо- аналітичний метод аналізу дивергентної стійкості стаціонарного кругового руху екіпажу, що ґрунтується на аналітичному отриманні обернених функцій для сил відведення. Проте така можливість існує не завжди, зокрема , для відомої «магічної формули Пасейки» [4].

II. Основні залежності

Схема екіпажу приведена на малюнку 1, тут v - поздовжня складова центру мас тягача; θ - кут повороту керованого модуля; a, b - відстань від центру мас тягача до центрів передньої (керованої) осі і задньої осі тягача ($l=a+b$); Y_i – сили відведення на осях, коефіцієнти опору відведенню на осях (k_1, k_2); коефіцієнти зчеплення коліс з опорною поверхнею в поперечному напрямі (κ_1, κ_2); m-маса тягача; u - поперечна проекція вектора швидкості центру мас тягача; ω - кутова швидкість тягача, щодо вертикальної осі.

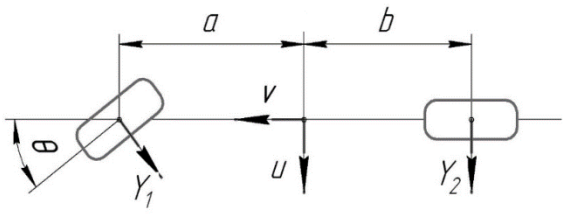


Рис.1. Конструктивна схема моделі колісного екіпажа.

Вихідна система, яка визначає множину стаціонарних режимів нелінійної моделі сідельного автопоїзда має вигляд:

$$\begin{cases} -m\omega v + Y_1(\delta_1) + Y_2(\delta_2) = 0; \\ aY_1(\delta_1) - bY_2(\delta_2) = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\delta_1 = \theta - \frac{u + a\omega}{v}; \quad (2)$$

$$\delta_2 = \frac{-u + b\omega}{v}; \quad (3)$$

Система рівнянь, що визначає стаціонарний режим руху екіпажа може бути розв'язана як лінійна система рівнянь відносно сил відведення, що реалізуються на осях:

$$\bar{Y}_1(\delta_1) = \bar{Y}_2(\delta_2) = \frac{\omega v}{g}, \quad (4)$$

де $\bar{Y}i = Yi / Ni$ - безрозмірна сила відведення на і-й осі;

$$N_1 = \frac{mgb}{l}; \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{mga}{l}. \quad (6)$$

- вертикальні реакції на осях

Враховуючи, що різниця кутів відведення на першій і другій осях екіпажу $\delta_1 - \delta_2 = \theta - l\omega / v$, а величини кутів відведення, що відповідають стаціонарним режимам руху δ_i: $\delta_1 = \bar{Y}_1^{-1}(\bar{a}_y) = G_1(\bar{a}_y)$, $\delta_2 = \bar{Y}_2^{-1}(\bar{a}_y) = G_2(\bar{a}_y)$, отримаємо два співвідношення, які визначають множину стаціонарних станів моделі автопоїзда

$$\theta = lg\bar{a}_y / v^2 + \bar{Y}_1^{-1}(\bar{a}_y) - \bar{Y}_2^{-1}(\bar{a}_y), \quad (7)$$

$$u / v = bg\bar{a}_y / v^2 - \bar{Y}_2^{-1}(\bar{a}_y), \quad (8)$$

де $\bar{a}_y = \frac{\omega v}{g}$ - бічна складова прискорення центру мас тягача.

III. Аналіз умов дивергентної втрати стійкості

Як вже згадувалось, дивергентна втрата стійкості стаціонарного режиму пов'язана з появою кратності досліджуваного стаціонарного стану, що випливає з якісної теорії динамічних систем [1]. Аналіз почнемо з одного незалежного рівняння (7)

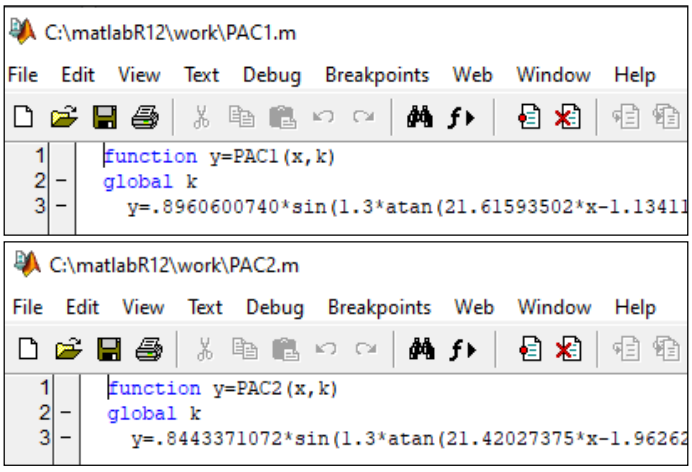
$$lg\bar{a}_y / v^2 - \theta = G_2(\bar{a}_y) - G_1(\bar{a}_y), \quad (9)$$

яке і визначає структуру рівноважної поверхні стаціонарних станів. Як виявляється ця поверхня має певні особливості при проектуванні на площину параметрів керування v, θ, пов'язану з її багатозначністю, з класичних результатів Уїтні [2] випливає, що у випадках загального положення це може бути fold - згортка та casp - збірка.

У випадках коли функції $\bar{Y}_i(\delta_i)$ мають аналітичну обернену функцію $\delta_i = G_i(\bar{a}_y)$, біфуркаційна множина представляється у параметричному вигляді

$$v^2 = g \cdot l / (1/\bar{Y}_2' - 1/\bar{Y}_1') = g \cdot l / (G_2'(\bar{a}_y) - G_1'(\bar{a}_y)),$$
$$\theta = (G_2' - G_1')\bar{a}_y - (G_2 - G_1). \quad (10)$$

Але для найбільш відомих у практиці залежностей сил відведення у вигляді «Магічної формули» [4] такої оберненої функції не існує, тому запропоновано чисельний алгоритм побудови біфуркаційної множини (реалізація в системі MATLAB).



```
for m=1:81; global k, k=(-81+m).*.01; G1M0(m)=fzero('
for m=1:81; global k, k=(-81+m).*.01; G2M0(m)=fzero('PAC2',0,[]
DG21M=diff(G2M0-G1M0)
for m=1:80; global k, k=(-80+m).*.01; G1M(m)=fzero('PAC1',0,[]);
for m=1:80; global k, k=(-80+m).*.01; G2M(m)=fzero('PAC2',0,[]);
G21M=G2M-G1M
XM=-.799:.01:0,plot(DG21M.*XM-G21M,sqrt(9.81*2.45)./sqrt(DG21M)
hold off; XM=-.79:.01:0,plot(DG21M.*XM-G21M,sqrt(9.81*2.45)./sq
DG21M=diff(G2M0-G1M0)/,01
DG21M=diff(G2M0-G1M0)/.01
hold off; XM=-.79:.01:0,plot(DG21M.*XM-G21M,sqrt(9.81*2.45)./sq
for m=1:81; global k; k=(m-1).*.01; G10(m)=fzero('PAC1',0,[]); e
for m=1:81; global k; k=(m-1).*.01; G20(m)=fzero('PAC2',0,[]); e
DG21=diff(G20-G10)/.01
for m=1:80; global k; k=(m-1).*.01; G1(m)=fzero('PAC1',0,[]); er
for m=1:80; global k; k=(m-1).*.01; G2(m)=fzero('PAC2',0,[]); er
G21=G2-G1
X=.01:.01:0.8; plot(DG21.*X-G21,sqrt(9.81*2.45)./sqrt(DG21))
```

Рис. 2. Лістинг реалізації чисельного алгоритму побудови біфуркаційної множини для «Магічної формули» H.B.Pacejka

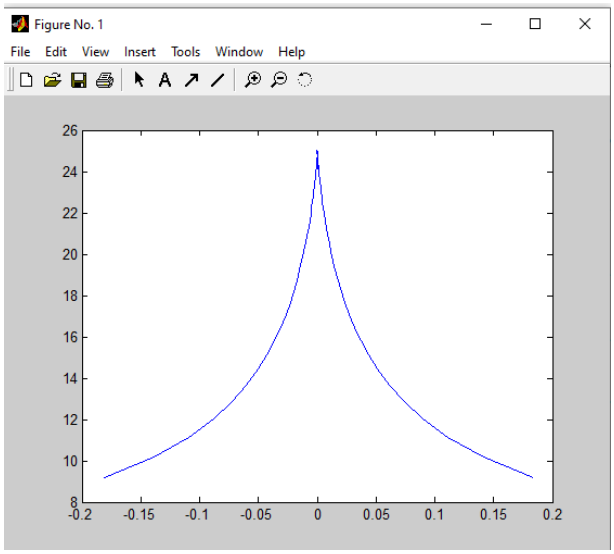


Рис. 3 Біфуркаційна множина в площині параметрів (v,θ)

IV. Висновки

Таким чином, графо-аналітичний метод аналізу дивергентної стійкості колісного екіпажу доповнений чисельним оберненням функцій відведення дає змогу будувати програмне забезпечення для такого аналізу для будь-яких функцій відведення у тому числі і для їх табличного представлення, отриманого емпіричним шляхом

Література References

[1] Андронов, А. А. Теория колебаний / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин ; ред. Н. А. Железцов. – 2-е изд. – Москва : Наука, 1981. – 914 с.

[2] Брус Дж., Джиблин П. Кривые и особенности: Геометрическое введение в теорию особенностей. Пер. с англ. М. «Мир», 1988. 262с.

[3] Хребет В.Г., Вербицкий В.Г., Банников В.А., Вельмагина Н.А. Построение бифуркационного множества модели двухосного автомобиля. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2 (6), 2016. с.160-166.

[4] Pacejka,H.B. (2012). Tire and Vehicle Dynamics, 3rd Edition. / H.B. Pacejka. –Butterworth-Heinemann is imprint of Elsevier, 672 p.

Фундаментальні Розв'язки Хвильових Задач Локально Градієнтної Теорії Діелектриків

Ольга Грицина
Відділ механіки, Інститут будівництва та архітектури
Словацької академії наук, Братислава, Словаччина;
Відділ математичних методів обчислювального експерименту,
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем
механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, Львів, Україна
usarolha@savba.sk, hrytsyna.olha@gmail.com

The Fundamental Solutions to the Wave Problems of Local Gradient Theory of Dielectrics

Olha Hrytsyna
Department of Mechanics, Institute of Construction and Architecture,
Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia;
Department for Mathematical Methods of Computing Experiment,
Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems
of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine
usarolha@savba.sk, hrytsyna.olha@gmail.com

***Анотація* — Сформульовано фундаментальні розв'язки хвильових рівнянь у рамках локально градієнтної теорії неферомагнітних термопружних діелектриків. Для ізотропного безмежного поляризовного середовища отримано вирази для хвильових функцій потенціалів вектора механічних переміщень, а також електричного та модифікованого хімічного потенціалів у разі дії на середовище зовнішніх гармонічно змінних з часом навантажень. Фундаментальні розв'язки є основою для знаходження функцій Гріна для векторів переміщень і поляризації, температурного поля та модифікованого хімічного потенціалу у безмежному середовищі.**

***Abstract* — Based on the relations of local gradient theory of non-ferromagnetic thermo-elastic dielectrics the fundamental solutions to the wave equations for infinite continuum are derived. Expressions for the wave functions of the potentials of mechanical displacements vector as well as the electric and modified chemical potentials are obtained for isotropic dielectrics subjected to the action of external harmonically varied with time loads. Using these solutions the Green functions for the displacement and polarization vectors, the temperature field, and modified chemical potential can be obtained.**

Ключові слова — локально градієнтна теорія; термопружні діелектрики; хвильові рівняння; фундаментальний розв'язок.

Keywords — local gradient theory; thermoelastic dielectrics; wave equations; fundamental solution.

I. Вступ

Класична теорія електротермопружності не описує низку експериментально спостережуваних явищ (флексоелектричний та термополяризаційний ефекти, приповерхневі та розмірні явища тощо), а відтак у багатьох випадках область її застосування обмежена. Це стимулювало вчених до побудови нових узагальнених теорій континуальної механіки, які б описували згадані вище ефекти. Останні десятиріччя інтенсивного розвитку набула локально градієнтна теорія діелектриків, яка враховує вплив зміни мікроструктури матеріалу на механічну поведінку досліджуваних об'єктів. Результатом урахування такого впливу є нелокальні рівняння стану. На відміну від класичної, локально градієнтна теорія описує приповерхневу неоднорідність полів, розмірні явища, флексоелектричний та інші ефекти. Метою цього дослідження є наступний розвиток цієї теорії та побудова фундаментальних розв'язків локально градієнтної термомеханіки діелектриків, що відкриває шлях до розв'язання низки нових некласичних задач континуальної механіки.

II. Вихідні співвідношення модельного опису. Побудова фундаментальних розв'язків

Рівняння локально градієнтної електротермомеханіки неферомагнітних діелектриків сформульовані в низці публікацій та нещодавно узагальнені у монографії [1]. Лінійна система рівнянь моделі включає балансові рівняння

(закон Гауса, рівняння балансу механічного імпульсу, ентропії та наведеної маси), градієнтного типу визначальні співвідношення і кінетичні рівняння. Порівняно з класичною теорією, розв'язувальна система рівнянь локально градієнтної пружності містить одне додаткове рівняння, пов'язане з урахуванням локального зміщення маси. Для центральносиметричних кристалів ця система має вигляд [2]

$$C_{44}\Delta\mathbf{u}+\left(C_{12}+C_{44}\right)\nabla\left(\nabla\cdot\mathbf{u}\right)-\gamma_T\nabla\theta-\alpha_m\nabla\bar{\mu}'_\pi+\rho_0\mathbf{F}=\rho_0\ddot{\mathbf{u}}\,,$$
$$\lambda\Delta\theta-\rho_0C_V\dot{\theta}+\rho_0\Re=T_0\gamma_T\nabla\cdot\dot{\mathbf{u}}+\rho_0T_0\beta_{T\mu}\dot{\bar{\mu}}'_\pi\,,$$
$$\chi_m\Delta\bar{\mu}'_\pi-d_\mu\bar{\mu}'_\pi-\alpha_m\rho_0^{-1}\nabla\cdot\mathbf{u}-\beta_{T\mu}\theta-\chi_{Em}\nabla\cdot\mathbf{E}=0\,,$$
$$\chi\nabla\cdot\mathbf{E}-\rho_0\chi_{Em}\Delta\bar{\mu}'_\pi=\rho_e\,. \qquad (1)$$

Тут $\mathbf{u}$ – вектор переміщення; $\mathbf{F}$ – масова сила; ρ_0 і ρ_e – густини маси та вільних електричних зарядів; $\theta=T-T_0$ – збурення температури T відносно початкового значення T_0; $\Re$ – розподілені джерела тепла; $\mathbf{E}$ – вектор напруженості електричного поля; $\mu'_\pi=\mu_\pi-\mu$; μ – хімічний потенціал; μ_π – енергетична міра впливу локального зміщення маси на внутрішню енергію системи; C_{12}, C_{44}, C_V, γ_T, λ, α_m, $\beta_{T\mu}$, d_μ, χ, χ_m, χ_{Em} – характеристики матеріалу [1, 2].

Нехай середовище перебуває під дією гармонічно зовнішнього навантаження $\mathbf{F}(\mathbf{r},t)=\bar{\mathbf{F}}(\mathbf{r})e^{-i\omega t}$. Приймемо, що $\mathbf{u}=\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{r})e^{-i\omega t}$. Подамо вектори переміщень, напруженості електричного поля та масових сил через скалярні φ_u, φ_e, Φ та векторні потенціали $\boldsymbol{\psi}_u$, $\boldsymbol{\Psi}$, $\mathbf{K}$:

$$\bar{\mathbf{u}}=\nabla\varphi_u+\nabla\times\boldsymbol{\psi}_u\,,\ \nabla\cdot\boldsymbol{\psi}_u=\mathbf{0}\,,\ \ \bar{\mathbf{F}}=\nabla\Phi+\nabla\times\boldsymbol{\Psi}\,,\ \ \nabla\cdot\boldsymbol{\Psi}=\mathbf{0}\,,$$
$$\mathbf{E}=-\nabla\varphi_e-\nabla\times\mathbf{K}\,. \qquad (2)$$

Якщо формули (2) підставити у розв'язувальну систему рівнянь (1), то у результаті низки перетворень одержимо:

$$\left(\Delta+m_1^2\right)\left(\Delta+m_2^2\right)\varphi_u=\frac{\gamma_T}{C}\left(\Delta-a_0\right)\theta-\frac{1}{c_1^2}\left(\Delta-\lambda_E^2\right)\Phi+a_1\rho_e\,,$$
$$\left(\Delta+m_1^2\right)\left(\Delta+m_2^2\right)\bar{\mu}'_\pi=a_2\left(\Delta+a_3\right)\theta+a_4\left(\Delta+\frac{\omega^2}{c_1^2}\right)\rho_e-a_5\Delta\Phi\,,$$
$$\Delta\left(\Delta+m_1^2\right)\left(\Delta+m_2^2\right)\varphi_e=-\kappa_Ea_2\left(\Delta+a_3\right)\Delta\theta+$$
$$+\rho_0a_1\Delta\Delta\Phi-a_6\left(\Delta\Delta-a_7\Delta-a_8\right)\rho_e\,,$$
$$\left(\Delta+m_3\right)\theta=-\Theta\,,\ \ \left(\Delta+\frac{\omega^2}{c_2^2}\right)\boldsymbol{\psi}_u=-\frac{1}{c_2^2}\boldsymbol{\Psi}\,. \qquad (3)$$

Тут у рівнянні теплопровідності (3_4) знехтувано доданками $T_0\gamma_T\lambda^{-1}\nabla\cdot\dot{\mathbf{u}}$ та $\rho_0T_0\beta_{T\mu}\lambda^{-1}\dot{\bar{\mu}}'_\pi$ (у силу їх малості), $C=C_{12}+2C_{44}$, $c_1^2=C/\rho_0$, $c_2^2=C_{44}/\rho_0$, $\lambda_0^2=d_\mu/\chi_m$, $\Theta=\rho_0\Re/\lambda$,

$$m_{1,2}^2=\frac{1}{2}\left[\frac{\omega^2}{c_1^2}-\lambda_E^2\left(1+\mathcal{M}\right)\pm\sqrt{\left[\frac{\omega^2}{c_1^2}-\lambda_E^2\left(1+\mathcal{M}\right)\right]^2+4\lambda_E^2\frac{\omega^2}{c_1^2}}\right],$$

$$m_3=\frac{i\omega}{\kappa}\,,\ \lambda_E^2=\frac{d_\mu}{\left(\chi_m-\chi_{Em}\kappa_E\right)}\,,\ \mathcal{M}=\frac{\alpha_m^2}{\rho_0Cd_\mu}\,,\ \gamma_\delta=\frac{\alpha_m\beta_{T\mu}}{\gamma_Td_\mu}\,,$$
$$\kappa_E=\frac{\rho_0\chi_{Em}}{\chi}\,,\ a_0=\left(1-\gamma_\delta\right)\lambda_E^2\,,\ a_1=\frac{\alpha_m\chi_{Em}}{Cd_\mu\chi}\lambda_E^2\,,$$
$$a_2=\bar{\beta}_{T\mu}\frac{\lambda_E^2}{d_\mu}\,,\ a_3=\frac{\gamma_\delta}{\left(\gamma_\delta+\mathcal{M}\right)}\frac{\omega^2}{c_1^2}\,,\ a_4=\frac{\chi_{Em}}{\chi}\frac{\lambda_E^2}{d_\mu}\,,\ a_5=\frac{\alpha_m}{C}\frac{\lambda_E^2}{d_\mu}$$
$$,\ a_6=\frac{\lambda_E^2}{\chi\lambda_0^2}\,,\ a_7=\lambda_0^2\left(1+\mathcal{M}\right)-\frac{\omega^2}{c_1^2}\,,a_8=\lambda_0^2\frac{\omega^2}{c_1^2}\,,$$
$$\bar{\beta}_{T\mu}=\beta_{T\mu}\left(1+\frac{\mathcal{M}}{\gamma_\delta}\right),\ \kappa=\frac{\lambda}{\rho_0C_V}\,.$$

Бачимо, що рівняння теплопровідності та рівняння для векторного потенціалу $\boldsymbol{\psi}_u$ повністю співпадають з відповідними рівняннями класичної теорії. Тому далі зосередимо увагу на перших трьох рівняннях системи (3). Розглянемо випадок $\mathbf{F}\neq0$, $\rho_e=0$, $\theta=0$. За такої зовнішньої дії фундаментальний розв'язок системи (3) має вигляд:

$$\varphi_u(\mathbf{r})=\frac{1}{4\pi c_1^2\left(m_1^2-m_2^2\right)}\int\limits_{(V)}\frac{\Phi(\mathbf{r}')}{R}\Big[\left(m_1^2+\lambda_E^2\right)e^{im_1R}-$$
$$-\left(m_2^2+\lambda_E^2\right)e^{im_2R}\Big]dV(\mathbf{r}')\,,\qquad \varphi_e(\mathbf{r})=-\kappa_E\bar{\mu}'_\pi(\mathbf{r})\,,$$
$$\bar{\mu}'_\pi(\mathbf{r})=\frac{a_5}{4\pi\left(m_1^2-m_2^2\right)}\int\limits_{(V)}\frac{\Phi(\mathbf{r}')}{R}\Big[m_1^2e^{im_1R}-m_2^2e^{im_2R}\Big]dV(\mathbf{r}')\,,$$

де $R=\sqrt{(x_1-x_1')^2+(x_2-x_2')^2+(x_3-x_3')^2}$.

Подібним чином можна отримати фундаментальні розв'язки для випадку $\mathbf{F}=0$, $\rho_e\neq0$, $\theta=0$, а також $\mathbf{F}=0$, $\rho_e=0$, $\Theta\neq0$.

III. Висновки

З використанням співвідношень локально градієнтної електротермопружності показано, що поздовжні механічні хвилі пов'язані з температурним полем, електричним потенціалом і локальним зміщенням маси, яке в рамках розробленої теорії асоціюється зі змінами мікроструктури матеріалу. Водночас локальне зміщення маси, електричне поле та температура не впливають на поширення поперечних хвиль. Сформульовано вирази для хвильових функцій потенціалів вектора механічних переміщень, електричного та модифікованого хімічного потенціалів для безмежного діелектричного середовища, що перебуває під дією зовнішніх гармонічних навантажень. Одержані вирази є основою для знаходження функцій Гріна для векторів переміщень і поляризації, температурного поля та модифікованого хімічного потенціалу. З використанням функцій Гріна та теореми взаємності робіт можна знайти розв'язки низки нових некласичних задач локально градієнтної термомеханіки діелектриків.

Література References

[1] O. Hrytsyna, V. Kondrat: Local Gradient Theory for Dielectrics: Fundamentals and Applications. 1st ed. Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2020.

[2] O. Hrytsyna “The effect of local mass displacement on coupled fields in dielectrics”, Appl. Nanosci., 2021. https://doi.org/10.1007/s13204-021-01714-w

Models and Methods of Development of Simulation Schemes of Accounting of Ultrahigh-Frequency Electric Interferences

Volodymyr Kudria
lInstitute of artificial intelligence and robotics
Odessa Polytechnic State University
Odesa, Ukraine
vcudrya@ukr.net

Maksym Shulhin
lInstitute of artificial intelligence and robotics)
Odessa Polytechnic State University
Odesa, Ukraine
shulgin1506@gmail.com

Volodymyr Sliusarenko
lInstitute of artificial intelligence and robotics
Odessa Polytechnic State University
Odesa, Ukraine
slyusarenko.v@ukr.net

***Abstract*—Increasing the speed and application of nanotechnologies in the manufacture of electronic devices have a certain limit, which is due to internal electromagnetic interactions and thermal processes. These factors are due to the theme of this work. In particular, it develops methods for formulating electrodynamics problems that determine the fluxes of vectors of electrical induction of electrical interconnections of high-frequency chips. Solving such problems allows you to correctly build models of electromagnetic interference in the form of dependent power sources, identify the most vulnerable and most dangerous places and calculate the final characteristics taking into account the internal electromagnetic interactions within monolithic integrated circuits.**

Keywords electrical interconnections; electromagnetic interaction; electromagnetic compatibility; high-frequency monolithic integrated circuits; electrodynamic parameters

I. INTRODUCTION

Electromagnetic fields of inter-component connections within semiconductor chips of nanotechnological production limit the speed, accuracy and operational reliability of various systems and devices that implement certain information computer technologies [1]. The actual problem of accounting for the fluxes of the electric induction vector in the development of chips was the subject of this study. The aim of the work is to develop simulation schemes for reflecting electrical interference and algorithms for calculating their parameters. The synthesis of certain circuit structures to reflect the effects of electromagnetic interference can be based on both the algorithmic level and the use of existing software products MicroCap, EWB. MultiSim, OrCad, Altium Designer..

II. WAYS TO BUILD SIMULATION MODELS OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE

The influence of electromagnetic interference can be based on the development of mathematical and physical-mathematical models. The first way is based on the construction of a synthesized model based on the classical Kirchhoff equations and the equations of electrodynamics within the framework of quasi-stationarity of electromagnetic fields. The second involves the development of a physical model that simulates the generation and influence of interference within the real state of electromagnetic processes in the scope of the sketch structure of an electrical circuit, such as a monolithic integrated circuit. Let's limit ourselves to the second option because the synthesis of certain circuit structures allows you to partially use existing software products MicroCap, EWB. MultiSim, OrCad, Altium Designer, ANSYS. To use the existing software, it is necessary to create schematic phantom models in the form of macro applications to these packages. This type of macro is a dependent source of electricity with a predetermined number of inputs and outputs. The complexity of the problem is that for an electric circuit with m branches, a circuit with 4m poles should be additionally synthesized to display actions and reactions. This complicates the schematic representation of the process. The circuit must, on the one hand, fulfill its functional purpose and, on the other hand, reproduce the influence of the electric currents of the sketch of the structure. However, in many cases, applying the principle of majority verification (relative majority) can significantly reduce the complexity of the algorithm, guided by various criteria. This type of model requires a preliminary calculation of the electric fluxes of the distributed surfaces of the communicator trees under different potentials to calculate the real electrodynamic parameters of the phantom circuit [1]

III. PROBLEMS FOR CALCULATING THE FLUXES OF INDUCTION VECTORS

First of all, we note that if the shapes of the communicator surface coincide with the coordinate surfaces, an accurate analytical solution can be obtained. In the manufacture of a real electrical circuit, the calculation of flows is possible only with a certain permissible error. The magnitude of the error will be smaller the smaller the discrepancy between these surfaces. To reduce the error, decomposition of complex surfaces and communication elements into simple canonical structures is proposed. We propose rules, fig. 1, fig. 2, decompositions that allow in many cases to replace numerical analysis with qualitative analysis based on the replacement of plane-parallel fields with sphere-parallel, sphere-basic and other orthogonal forms of their representation [2]. These rules apply to the fixing of parts of the communicator at certain poles in the case of assigning the entire wire to one, in this case the n-th, fig. 1a, pole; splitting the wire into parts at the breaking point and spreading these parts (straight wires) to different poles (*l1* to the pole n, and *l2* to the pole n + 1), fig. 1b, and the splitting at the points of fracture and contact and the separation of straight wires also to different poles, in particular, *l1* to the pole n, *l2* to the pole n + 1, and, *l3* to the

pole n + 2, fig. 1c. The essence of these rules is as follows: all wires of the communicator are approximated by piecewise broken straight lines; each straight line completely refers to only one pole, fig. 1; breaking points (or) of contact of wires are the points dividing separate lines into two parts between different poles, fig. 1b, c; in the case when only one straight wire is laid between the poles n and n + 1, it is completely attributed to the n-th pole (ie with a smaller number), and the (n + 1) -th pole is assigned a wire with zero length; in the case of connecting a wire to the screen, the latter can be presented in the form of a cone with an opening of 180 degrees, ie in the form of a plane, a similar remark applies to the situation in which the wire is parallel to the plane of the screen. In the latter case, the screen can be represented as a cylinder of infinite radius.

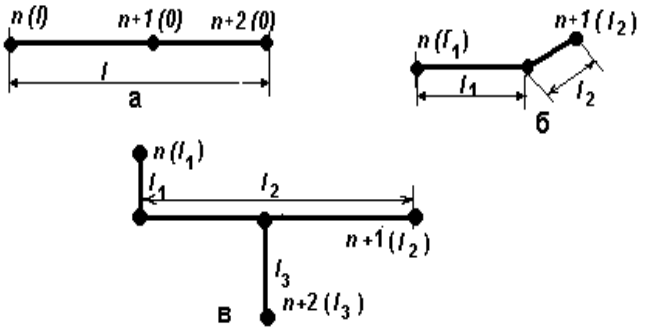


Fig. 1 - Breaking wires with lengths (l) poles: a - assignment of the entire wire to one (n) pole; b- initialization to different poles at the breaking point; c - initialization at breakpoints and points of contact

Of course, the method of mirror images can be successfully used to calculate the flows in the screen-conductor system; the incidence of the wire to the pole will be kept in ascending order of the pole number; one and the same part of a direct wire cannot be incident to two poles at the same time. Let's make another general caveat, which somewhat narrows the accuracy of the flow calculation, but provides an opportunity to take into account the most significant and neglect minor flows between adjacent parts of the communicator wires. The essence of the caveat is to neglect the edge flows of conductors that have different lengths, but at some distance create fields of planar or spheroparallel structure, Fig. 2a. Finally, it makes sense not to consider the flows between the wires, which are located at a sufficient distance from each other despite the mutual location, the value of such a distance can be taken as the distance between the geometric centers of the wires.

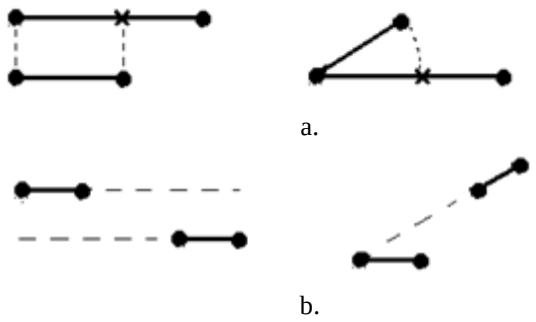


Fig. 2 - Accounting and neglect of flows.

IV. Example of communicator decomposition

Consider a fragment of a printed circuit board of a high-frequency amplifier, which illustrates the use of the communicator model in the form of canonical structures of parallel and radial conductors, fig. 3, where the maximum interfering voltages and minimum currents of trees are selected as sources (maximum arc voltage) and receivers (minimum pole current of the component) of electric currents. On the simplified scheme of the communicator, fig. 3, the components are shown: K2, K3 - those that generate interference, i.e. have the highest voltages on their arcs; pole 10 of component K5 is characterized by a minimum current. The points a, b, c, d, e, f, g denotes the tree D6, i.e. "earth".

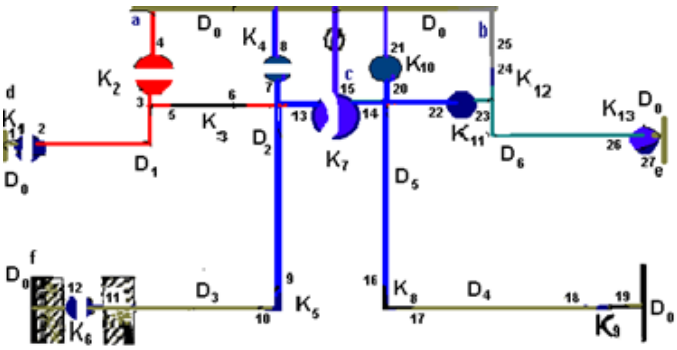


Fig. 3 - Electric current between trees 1 and 3

The calculation of the flux between the trees D1 and D3 to which the potential difference of one volt is applied according to the principle of decomposition is "scattered" on pS * pR problems. The results of the calculation of flows can be presented as

$$C_{1,3} = \sum_{i=1}^{p_S} \sum_{j=1}^{p_R} \xi_{i,j} \qquad (1)$$

where p_S is the power of the set of source (emitting) rows, p_R - receiving these streams of trees.

Each of the problems for calculating $\xi_{i,j}$ requires setting the coordinates of those particles of the communicator that bind them to the corresponding poles of the set R and S. The result of calculating the capacitive parameters of the communicator $C_{1,3}$ for (1) was 1.73 pF.

Conclusion)

The article proposes models and methods for determining the electrodynamic parameters of high - frequency electronic communicators based on the analogy of plane and sphero-parallel electromagnetic fields. Their implementation in the form of phantom circuits of electromagnetic interference allows to expand the scope of existing CAD software for high-frequency electronics. The results of the work are a step-by-step step towards the development of information support for nanotechnological processes of integrated circuit fabrication.

References

[1] V. Kudrya,. Model of electromagnetic interference of the UHF power amplifier. - Technology of electronic equipment design, 2004, №4, pp. 18… 19

[2] A. Knyaz, Electrodynamics of information systems. - M .: Radio and communication, 1994. - 392 p..

Моделювання Процесів Масопереносу в Складних Системах

Ярослав П'янило
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Modeling of Masotransfer Processes in Complex Systems

Yaroslav Pyanylo
Department for Mathematical Methods of Computing Experiment in Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

***Анотація*—В роботі подано аналітичні моделі масопереносу в складних технологічних та біологічних системах. Розглянуто способи математичного моделювання процесу руху газу та рідин в трубопровідних ситемах. Враховуючи аналогію між процесами газогідродинаміки та гемодинаміки, отримані результати використано для моделювання руху крові у великих судинах та м'яких тканинах живих організмів. Отримані теоретичні результати апробовано на модельних задачах.**

***Abstract*— Analytical models of mass transfer in complex technological and biological systems are presented in the work. Methods of mathematical modeling of the process of gas and liquid motion in pipeline systems are considered. Considering the analogy between the processes of gas hydrodynamics and hemodynamics, the obtained results were used to model the movement of blood in large vessels and soft tissues of living organisms. The obtained theoretical results are tested on model problems.**

Ключові слова— математичне моделювання, процеси гідрогазодинаміки, гемодинаміка, газотранспортна система, підземні сховища газу.

Keywords— mathematical modeling, processes of hydrogas dynamics, hemodynamics, gas transportation system, underground gas storages.

I. Вступ

Математичне моделювання дозволяє вивчати природні та біологічні процеси не проводячи натурних та інших фізичних експериментів. Ефективність такої процедури залежить від адаптивності побудованих математичних моделей. Побудову математичної моделі доцільно будувати виходячи із задач, які необхідно вирішити. Як правило, математичні моделі зводяться до диференціальних та інтегральних рівнянь, в тому числі і до нелінійних. Для побудови адаптивної моделі необхідно: врахувати параметри процесів, що вивчаються; мати необхідні кількість даних для формування крайових умов та уточнення коефіцієнтів, що входять у відповідні рівняння; провести обчислювальні експерименти для перевірки побудованої моделі.

В роботі зроблено аналіз математичних моделей процесу руху газу в трубопроводах та складних пористих середовищах, а також процесу руху крові в м'яких тканинах живих організмів, відзначено проблеми, які при цьому виникають.

II. Нестаціонарна неізотермічна математична модель процесу руху газу в магістральних трубопроводах.

Одним з головних технологічних об'єктів газотранспортної системи є трубопроводи різної довжини та діаметрів. Математична модель газотранспортної системи у великій мірі залежить від математичної моделі процесу руху газу в трубопроводі. За рахунок зміни режимів роботи газотранспортних мереж процес руху газу в них, як правило, нестаціонарний. Крім цього, час входження потоку газу в стаціонар в трубопроводах високого та середнього тиску є достатньо великий (порядку декількох годин). Тому є необхідність в розробці нестаціонарних моделей руху газу для широкого класу трубопроводів.

З достатньою для практики точністю рух газу в трубопроводі описується системою диференціальних рівнянь в частинних похідних [6-8]

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(p+\rho v^2\right)=-\rho\left(\frac{\lambda v|v|}{2D}+g\frac{dh}{dx}\right),$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\rho v)=0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\frac{\partial}{\partial x}\rho v\left(E+\frac{P}{\rho}\right)=\frac{4K(T_{гр}-T)}{D}-\rho v g\frac{dh}{dx},$$

де ρ, v, P - відповідно густина, швидкість руху і тиск газу; K - коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту; $T_{гр}$ - температура ґрунту; $h=h(x)$ - функція, яка описує трасу залягання труби; E - повна енергія одиниці маси; t – час; x, $x\in[0,L]$ - біжуча координата, L - довжина трубопроводу;

$$E=i-\frac{P}{\rho}+\frac{v^2}{2},$$

де

$$di=\frac{\partial i}{\partial T}dT+\frac{\partial i}{\partial P}dP=C_p dT+\left[\frac{1}{\rho}-T\left(\frac{\partial(1/\rho)}{\partial T}\right)_P\right]dP,\ C_p=\left(\frac{\partial i}{\partial T}\right)\rho\cdot$$

Для замикання системи рівнянь використовується рівняння стану газу

$$P=\rho zRT\ .$$

При розрахунках стаціонарних режимів отримуємо рівняння (без врахування швидкісного напору):

$$\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{0,25\sqrt{\pi}\lambda M^2}{\rho f^{5,2}}-\rho g\sin\phi;$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\lambda KD\left[T_{гр}-T\right]}{C_p M}+\frac{0,25\sqrt{\pi}\lambda M^2}{\rho C_p f^{5,2}}\left[\frac{1}{\rho}-T\left(\frac{\partial 1/\rho}{\partial T}\right)_p\right]-g\rho\sin\phi\frac{\partial 1/\rho}{\partial T};$$

$$M=f\rho V=const\ .$$

Тут ϕ - кут нахилу труби до горизонту.

III. Рух газу в трубопроводі при сталих граничних умовах на функцію тиску та наявності КС та відводів вздовж траси.

Моделювання процесу руху газу в трубопроводі за наявності компресорних станцій (КС) та відводів можна проводити двома шляхами – розбити трубопровід на проміжки між КС та відводами або змоделювати їх наявність узагальненими функціями. Якщо розглядати великі системи, то на практиці перший підхід значно збільшує розмірність системи. Другий підхід дозволяє розглядати магістральні газопроводи як складні системи.

Нестаціонарний ізотермічний рух газу в горизонтальних трубопроводах за наявності відборів та компресорних станцій можна описати лінеаризованою системою диференціальних рівнянь в частинних похідних [4,5]

$$\begin{cases}\dfrac{\partial\omega}{\partial t}+\dfrac{\partial p}{\partial x}+a\omega-bp=\Theta(x,t),\\ \dfrac{\partial\omega}{\partial x}+\dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial p}{\partial t}=\psi(x,t).\end{cases}\qquad(1)$$

В системі (1) позначено: $\omega=\rho v$ - масова швидкість, $a=\lambda(v_1+v_2)/2D$, $b=\lambda v_1 v_2/2DzqRT$, функція

$$\Theta(x,t)=\sum_{i=1}^{I}p_{st,i}\ \ \delta(x-x_i)\ \left[\eta(t-t_{1i})-\eta(t-t_{2i})\right]$$

характеризує зміну тиску газу при проходженні його через КС, що знаходяться на відстанях x_i від початку трубопроводу з часом дії від t_{1i} до t_{2i}, $i\in\overline{1,I}$. Функція

$$\psi(x,t)=\sum_{j=1}^{J}\frac{\omega_j}{F}\ \ \delta(x-x_j)\ \left[\eta(t-t_{1j})-\eta(t-t_{2j})\right]$$

характеризує масові відводи газу ω_j, що є на віддалях x_j від початку трубопроводу з часом дії від t_{1j} до t_{2j}. $j\in\overline{1,J}$, $\delta(x_j)$ - дельта-функція Дірака, $\eta(t-t_j)$ - одинична функція Хевісайда

Систему (1) можна розв'язувати при різних початково-граничних умовах. Один з варіантів, який має місце на практиці:

1) початковий стаціонарний розподіл з відомими його значеннями на початку p_{00} й в кінці p_{kk} трубопроводу;

2) зміна режиму руху моделюється поведінкою тиску на початку p_{00z} й в кінці p_{kkz} трубопроводу. В зв'язку з цим при заміні режиму руху важливо визначити час входження в стаціонарний режим. За вихідний стаціонарний стан будемо брати той, що слідує з системи (1):

$$p(x)=\frac{1}{1-e^{-bL}}\ \left[p_0-p_k e^{-bL}-(p_0-p_k)e^{-b(L-x)}\right].$$

При заданих початкових та граничний умовах розв'язок поставленої початково-крайової задачі знаходиться застосуванням до системи (1) перетворення Лапласа-Карсона і має вигляд

$$p(x,t)=p(x)+p_1(x,t)-p_2(x,t).$$

За отриманими теоретичними результатами проведено числовий експеримент.

IV Математичне моделювання складної системи.

Основними ТО ГТС є трубопроводи, запірна арматура, КС. При математчиному моделюванні ГТС в усталеному режимі використовується другий закон Кірхгофа, на базі якого будуються контурні рівняння. Побудову контурних рівнянь та їх апробацію проведемо на модельній системі, поданій на рис. 1 [1-3].

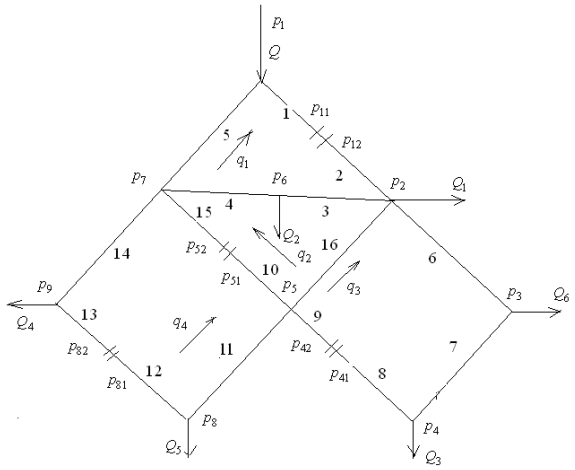


Рис. 1. Розрахункова схема модельної задачі.

На рис.1 стрілками позначено початковий вибір напрямку руху газу, Q - об'ємні витрати поступлення та відбирання газу вздовж трубопроводів та у вузлах, q_i - об'ємні витрати газу у відповідних трубопроводах, символом –II- позначено КС, p_{ij} - значення тисків у відповідних точках.

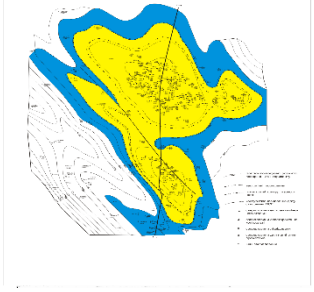
На основі закону Кірхгофа для першого контуру отримуються наступні контурні рівняння:

$$p_{11}^2 e^{b_1}\left(\varepsilon_1^2-1\right)+p_1^2\left(1-\exp\left(b_1+b_2+b_3+b_4+b_5\right)\right)=a_1 e^{b_1}\left|Q'+q_1\right|\left(Q'+q_1\right)+$$
$$+a_2 e^{b_1+b_2}\left|Q'+q_1\right|\left(Q'+q_1\right)+a_3 e^{b_1+b_2+b_3}\left|Q'+q_1-q_2\right|\left(Q'+q_1-q_2\right)+$$
$$a_4 e^{b_1+b_2+b_3+b_4}\left|q_1-q_2\right|\left(q_1-q_2\right)+\ a_5 e^{b_1+b_2+b_3+b_4+b_5}\left|Q''-q_2\right|\left(Q''-q_2\right).$$

Аналогічні рівняння отримуються і для інших контурів. При цьому значення невідомих тисків, що входять в останні два рівняння, знаходяться аналогічно до перших двох рівнянь. Побудована система нелінійних алгебраїчних рівнянь розв'язана ітераційним способом. Такий підхід дає можливість визначити не тільки значення режимних параметрів, а й напрям руху газу.

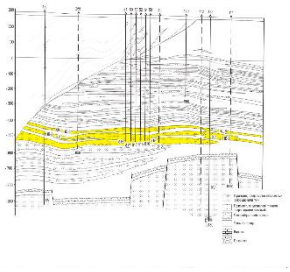
V. Математична модель підземного сховища газу (ПСГ).

Основними ТО ПСГ є: пласт; вибійні зони свердловин; робочі колони; шлейфові та шлейфово-колекторні системи збирання газу. На рис 2 подано структурні схеми горизонтального та вертикального перерізів підземного сховища газу, а на рис.3 - структурна схема гідравлічної ув'язки роботи ТО разом з відповідними математичними моделями [1-4].



а

Рис.2. Структурна схема Більче-Волицького ПСГ



б

Рис. 2 Вертикальний переріз пласту ПСГ

Побудова гідравлічної ув'язки системи пласт ПСГ- газозбірний пункт. Відомо, що газоносні пласти мають незначну товщину в порівнянні із займаною площею і є близькими до горизонтальних. Тому пласт ПСГ вважається плоским, оскільки перепад тиску у вертикальному напрямі є поза межами точності вхідної інформації.

Двомірну область пористого середовища (пласту) умовно розбиваємо на дві області - область пласту та вибійну область.

Розподіл пластового та вибійного тисків у вибійній зоні зв'язані співвідношенням

$$p_{пл}^2 - p_b^2 = Aq + Bq^2 .$$

Зв'язок вибійного тиску з гирловим

$$p_v^2 e^{-b} - p_g^2 = a_r q^2 .$$

Зв'язок гирлового тиску з тиском на виході з обв'язки свердловини

$$p_g^2 - p_o^2 = a_o q^2 .$$

Зв'язок тиску на виході з обв'язки свердловини з тиском на вході в ГЗП-

$$p_o^2 - p_{gzp}^2 = a_s q^2 .$$

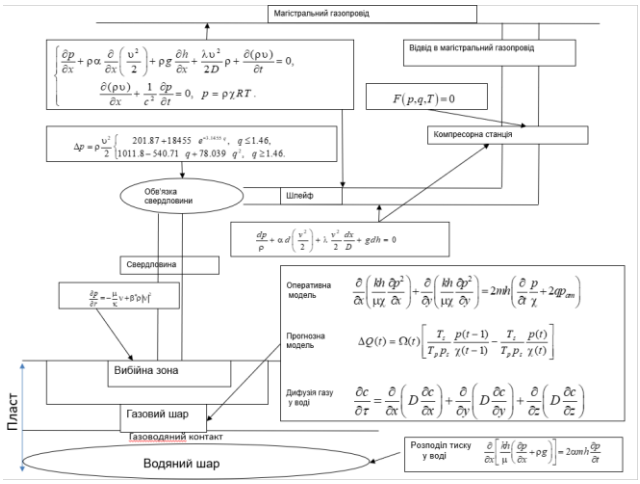


Рис. 3 Структурна схема гідравлічної ув'язки роботи ПСГ.

Сумування поданих вище зв'язків приводить до наступного нелінійного рівняння відносно дебіту свердловини q:

$$p_{пл}^2 - p_{gzp}^2 e^b = Aq + \left[B + \left(a_s + a_o + a_r \right) e^b \right] q^2 .$$

Співвідношення (17) поєднує пластовий тиск та тиск на ГЗП з дебітом свердловини та параметрами ТО і дозволяє розв'язувати основні задачі, які мають місце при розрахунку режиму роботи ПСГ.

Задача 1. При відомому розподілі пластового тиску і заданій величині об'ємного відбору Q_z визначити тиск на вході в газозбірний пункт.

Задача 2. При відомому розподілі пластового тиску і заданій величині вхідного тиску на ГЗП визначити об'ємний відбір газу Q_z із сховища.

Задача 3. Аналогічно до задачі 2 при відомому розподілі пластового тиску і заданій мінімальній величині вхідного тиску на ГЗП визначити максимальний об'ємний відбір газу Q_z із сховища.

VI. Моделювання процесу фільтрації множиною паралельних капілярів.

Змоделюємо пористе середовище системою капілярів з радіусом r. В поперечному перерізі капіляри розподілені за логарифмічним законом

$$f\left(r\right) = n_0 \exp\left[-\frac{\ln^2 r/r_0}{2\sigma^2} \right],$$

де n_0, r_0, σ - деякі параметри, які визначаються через параметри пористого середовища:

$$m = \pi N r_0^2 \exp\left(4\sigma^2\right),\ k = \frac{\pi}{8} r_0^4 N \exp\left(12\sigma^2\right),$$

$$p_1 - p_2 = -\frac{8\mu}{\pi} l Q r_0^{-4} N^{-1} \exp\left(-12\sigma^2\right).$$

Врахування топології капілярів. Розглянемо процес масопереносу з врахуванням додаткових ефектів: А) втрати тиску внаслідок звивистості каналів; Б) зміну тиску внаслідок непостійності поперечних перерізів каналів.

З формули Гагшена-Пуазеля

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{8\mu}{\pi r^4} q . \quad (ф.2)$$

Якщо радіус кривини капіляра R, то сила, яка виникає при русі речовини з густиною ρ буде $F_v = g\rho\upsilon^2 / R$. За рахунок виникаючої сили буде створюватися додатковий тиск, а загальний тиск вздовж капіляру обчислюється за наступною формулою

$$p - p_0 = -\frac{8\mu x}{\pi r^4} q + \frac{g\rho x q^2}{\pi^3 r^6 R} .$$

Якщо в поперечному перерізі середовища густина капілярів розподілена за логарифмічним законом, то розподіл тиску речовини вздовж руху обчислюється за формулою

$$p\left(x\right) = p_0 - \frac{\eta_1 x}{2\eta_2}\left(-1 \pm \sqrt{1 + \frac{4Q\eta_2}{\eta_1^2}} \right).$$

Поряд з викривленням капілярів має місце і їх розширення та звуження, то виникає процес мікродроселювання, яке приводить до зміни тиску (за теоремою Борда-Карно).

При раптовому розширенні капіляра зміна тиску між перерізами буде

$$\Delta p_{rr} = -\rho \frac{S_1}{S_2}\left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right) \upsilon_1^2 ,$$

а при різкому звуженні

$$\Delta p_{rz} = \frac{1}{2} \rho \left(\upsilon_1^2 - \upsilon_2^2 \right).$$

Висновки. Моделювання наявності КС та стоків вздовж трубопроводів з використанням узагальнених функцій дозволяє значно спрощувати дослідження їх впливу на режимні параметри руху газу та обчислювальний процес їх розрахунку. Аналітичний підхід до моделювання ГТС на основі побудови контурних рівнянь дає можливість не тільки обчислювати значення параметрів руху газу, а й визначати напрям його руху.

Література References

1. *Гладун С., П'янило Я., Притула М.* Нестаціонарна дифузія газу в пористих середовищах із зосередженими джерелами // Вісник Національного університету "Львівська політехніка: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 650. – С. 195-199.
2. *П'янило Я., Гладун С., П'янило Г.* Аналітичний спосіб розрахунку параметрів гідравлічної ув'язки колекторного збору газу // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. –Львів, 2011. – № 719. – С. 250-256.
3. *П'янило Я.Д.* Дослідження неусталеного руху газу в пористих середовищах // Прикл. проблеми мех. і мат. – 2004. – Вип.2. – С. 178–184.
4. *Притула Н.М., Пянило Я.Д., Притула М.Г.*. Підземне зберігання газу (математичні моделі та методи). – Львів: Ви-во "Растр-7", 2015.- 266.
5. *Frolov V.* , *PyanyloYa.*, *Prytula M*. Analytical methods of optimization of operational parameters of the main gas pipelines (gas mains) MMC. 2018; Volume 5, Number 1 pp. 1-9
6. *Prytula N.*, *PyanyloYa.*, *Prytula M.*Optimization of unsteady operating modes of gas mains MMC. 2016; Volume 3, Number 2 pp. 183-190
7. *Pyanylo Ya. D., Gladun S.V.*Optimization of energy costs for gas transportation in complex gas transmission systems / // ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering 31. – Fascicule 3, Tome XIII. – 2015 – 6 p.
8. *Pyanylo Ya. D., Prytula M. G. , Prytula N. M. , Lopuh N. B.* Models of mass transfer in gas transmission systems// Mathematical modeling and computing. – 2014. – Vol. 1, No 1. – P. 84-96.

Керування Гідродинамічним Режимом Магістрального Аміакопроводу

Ярослав П’янило
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Мирослав Притула
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
olebra31@gmail.com

Назар Притула
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
nazar.prytula1@gmail.com

Control of the Hydrodynamic Mode of the Backboneammonia Pipeline

nazar.prytula1@gmail.com

Yaroslav Pyanylo
Department for Mathematical Methods of Computing Experiment in Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Myroslav Prytula,
Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine,
Lviv, Ukraine
Myroslav.prytula@gmail.com

Nazar Prytula,
Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

***Анотація* — Пропускна спроможність магістрального аміакопроводу (МА) постійно змінюється в часі. Це зумовлено зміною завантаження аміакопроводу, плановими чи аварійними зупинками насосних агрегатів, спрацюванням аварійного захисту тощо. Для того щоб зміни режиму роботи МА не призвели до значного підвищення тиску на ділянках потрібно регулювати гідродинамічний режим аміакопроводу. Одні методи регулювання змінюють параметри аміакоперекачувальної станції (регулювання - зміною розмірів коліс насоса, схем з’єднання насосів та зміною частоти обертання ротора насоса), а інші, менш економічні, змінюють параметри ділянок МА – перепуск потоку аміаку, регулювання тиску шляхом дроселювання. Для побудови ефективної системи керування режимами транспортування аміаку необхідно вивчити його термогідродинамічні властивості.**

***Ключові слова*— Аміакопровід, нестаціонарна модель руху аміаку, перехідний режим руху, гідравлічний удар.**

Abstract — The throughput of the main ammonia pipeline (MA) is constantly changing over time. These changes are caused by changes in loading of ammonia pipeline, planned or emergency stops of pumping units, triggering of emergency protection, etc. In order to change the mode of operation of the MA did not lead to a significant increase in pressure on the sections, it is necessary

to adjust the hydrodynamic mode of the ammonia pipeline. Some control methods change the parameters of the ammonia pumping station (control by changing the size of the pump wheels, pump connection schemes and changing the rotor speed of the pump), while others, less economical, change the parameters of sections MA - ammonia flow bypass, pressure control by throttling. To build an effective system for managing the modes of transportation of ammonia, it is necessary to study its thermohydrodynamic properties.
Keywords **— ammonia pipeline, non-stationary model of ammonia movement, transient mode of movement, hydraulic shock.**

I. ВСТУП

Неправильне керування перехідними режимами аміакопроводу може завдати непоправної шкоди як екології так і здоров'ю людей. І тому екологічній безпеці та надійності експлуатації магістрального аміакопроводу приділяють значну увагу. У даний час, для зміни режиму, аміакопровод оснащений насосами фіксованої потужності і, відповідно, фіксованої об'ємної продуктивності. Зміна об'ємів транспортування аміаку досягається зміною кількості насосів у паралельній схемі роботи на насосних станціях (для насосів із фіксованою кількістю обертів робочого колеса). Для того, щоб отримати іншу робочу точку, необхідно змінити або ступінь відкриття регулюючого пристрою (крана, дроселя, вентиля), тобто змінити криву потрібного напору або частоту обертання валу насоса [1-3]. Можлива послідовна та паралельна робота насосів. Послідовна робота застосовується в тих випадках, коли один насос не може забезпечити потрібного напору. У таких випадках подача насосів однакова, а загальний напір дорівнює сумі напорів обох насосів за однієї і тої ж подачі. Така робота є економічно недоцільною, так як ККД послідових насосів перемножуються. Під час експлуатації аміакопроводу в ньому часто виникають стрибки тиску, як планові - під час зміни режимів перекачування аміаку, такі непередбачувані, які виникають під час аварійних вимкнень насосних агрегатів чи спрацюванні запірних засувок. Для забезпечення неперервної та надійної роботи магістрального аміакопроводу необхідно регулювати тиск на вході та на виході перекачувальних насосів.

II. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК АМІАКОПРОВОДУ

Довжина аміакопроводу, який проходить по території України складає 1031,189 км. Його проектна потужність складає до 2,52 млн. тон на рік. Аміак знаходиться у рідкому стані під тиском до 3,5 Мпа із температурою близькою до 4°С. Для запобігання корозії в аміак додано 0,4% води. Діаметр труби - 355 мм, товщина 8 мм і вона пролягає на глибині 1,4 м. **А**міакопровод розділений на секції запірною арматурою - постами секціонування у середньому кожні 5,2 км, які у разі необхідності можуть бути швидко перекриті. У склад аміакопроводу входять п'ять проміжних насосних станцій і 12 роздавальних станцій розташованих вздовж траси аміакопроводу.

У результаті перекачування аміаку по трубопроводу напір, що розвивається насосами, витрачається на тертя потоку аміаку до стінок труби, подолання місцевих опорів, статичного опору через різницю геодезичних відміток, а також створення необхідного залишкового напору в кінці ділянки трубопроводу. Під час закриття засувки на ділянках аміакопроводу, нелінійна зміна гідравлічного опору призводить до того, що за короткий час гідравлічний опір швидко збільшується і може призвести до виникнення гідроудару – розповсюдження хвиль підвищеного та пониженого тисків вздовж трубопроводу. І тому виникає проблема постійного регулювання тиску.

Перерахунок характеристик насосу здійснюється за відомими формулами:

$$\frac{Q_i}{Q}=\frac{D_i}{D},\quad \frac{H_i}{H}=\left(\frac{D_i}{D}\right)^2,\quad \frac{N_i}{N}=\left(\frac{D_i}{D}\right)^3,$$

де Q,H,N,D – витрата, напір, потужність та діаметр робочого колеса – заводські параметри, а Q_i,H_i,N_i,D_i – параметри, які відповідають іншому діаметру робочого колеса D_i.

Оскільки напір насоса є функцією квадрату частоти обертання, то зміна частоти обертання призводить до швидкої зміни тиску.

Рух аміаку в трубопроводі в нестаціонарному ізотермічному випадку описується наступною системою диференціальних рівнянь в частинних похідних

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\partial \omega}{\partial t}+\frac{\lambda}{8\rho\delta}\omega^2+\rho g\sin\alpha+\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(1+\beta\right)\frac{1}{\rho}\omega^2\right],$$
$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial p}{\partial t}=-\frac{\partial \omega}{\partial x}. \qquad (1)$$

В останній формулі $\omega=\rho\upsilon$ -масова швидкість. Система (1) є нелінійною за масовою швидкістю. Можна вважати, що масова швидкість у процесі транспортування аміаку змінюється незначно. Тоді систему можна лінеаризувати наступним чином - $\omega^2\approx\omega_0\omega$, де ω_0 - значення масової швидкості на попередньому кроці часового інтервалу. Отримаємо лінеаризовану систему диференціальних рівнянь у частинних похідних

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\partial \omega}{\partial t}+\lambda_0\omega+h_\rho+\omega_1\frac{\partial \omega}{\partial x}$$
$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial p}{\partial t}=-\frac{\partial \omega}{\partial x}, \qquad (2)$$

де позначено

$$\lambda_0=\frac{\lambda\omega_0}{8\rho\delta},\quad h_\rho=\rho g\sin\alpha,\quad \omega_1=\left(1+\beta\right)\frac{\omega_0}{\rho}.$$

Якщо перехідні часи є значними, тоді достатньо розглядати стаціонарний випадок - $\rho\omega=m_0=const$

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\lambda}{8\delta}\rho\omega^2+\rho g\sin\alpha+\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(1+\beta\right)\rho\omega^2\right]. \qquad (3)$$

Для рідини має місце зв'язок між тиском та густиною

$$\rho=\rho_0\left[1+\left(p-p_0\right)/K_r\right], \qquad (4)$$

де K_r - коефіцієнт об'ємного розширення, ρ_0 - густини рідини при тиску p_0. Оскільки

$$\frac{1}{\rho}\approx\frac{1}{\rho_0}\left(1-\frac{p-p_0}{K_r}\right),$$

то рівняння (3) запишеться у вигляді

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\lambda m_0^2}{8\delta\rho_0}\left(1-\frac{p-p_0}{K_r}\right)+\rho_0 g\sin\alpha\left(1+\frac{p-p_0}{K_r}\right)-\frac{(1+\beta)m_0^2}{K_r\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x}$$

.

Для рідин коефіцієнт об'ємного розширення достатньо великий. Тому з достатньою для практики точністю можна вважати, що

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\lambda m_0^2}{8\delta\rho}+\rho g\sin\alpha \quad . \qquad (7)$$

Розв'язок останнього рівняння має вигляд

$$p=p_0-\left[\frac{\lambda}{8\delta\rho}\left(\frac{M}{S}\right)^2+\rho g\sin\alpha\right]x \quad , \quad M=\rho\omega S \quad . \qquad (8)$$

Тут S - площа поперечного перерізу трубопроводу.

Густина рідкого аміаку залежить від тиску та температури. За експериментальними даними роботи в межах температури від нуля до 50 градусів Цельсія та тиску від 0.5 до 6 Мпа побудована параметрична залежність $\rho=\rho(t,p)$

$$\rho=\rho_2 t^2+\rho_1 t+\rho_0 \quad , \qquad (9)$$

а для ρ_i можна побудувати відповідні залежності від тиску –

ρ 2 = -0,01932p3 + 0,18769p2 + 0,14682p + 638,74E+02,

ρ 1 = -0,01932p3 + 0,18769p2 + 0,14682p + 638,74E+02,

ρ 0 = 0,00792p2 + 0,57738p + 638,55.

Експериментальне визначення параметрів, що характеризують рух аміаку, пов'язане з певною похибкою, яка впливає на розрахунок розподілу тиску вздовж трубопроводу. Введемо деякі збурення вхідних даних ε_λ , ε_ρ та ε_M відповідних величин. Тоді з рівняння усталеного руху аміаку (8) похибка обчислення значення тиску розподіленого вздовж трубопроводу Δp визначається формулою

$$\Delta p=\frac{\lambda}{8\delta\rho}\left(\frac{M}{S}\right)^2\left(\frac{\varepsilon_\lambda}{\lambda}+\frac{\varepsilon_\rho}{\rho}+\frac{2\varepsilon_M}{M}\right)x \quad .$$

Розглянемо нестаціонарний ізотермічний випадку режим руху аміаку. Знайдемо розв'язок наступної крайової задачі: знайти розв'язок системи (2) за наступних початкових умов

$$p(x,0)=p_0-\left[\frac{\lambda}{8\delta\rho}\left(\frac{M}{S}\right)^2+\rho g\sin\alpha\right]x \quad , \quad \omega(x,0)=\omega_0=const$$

.

Тоді

$$h(\tau,t)=\frac{\tau}{l}+\frac{2}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{(-1)^k}{k}\sin\frac{k\pi\tau}{l}\psi_k(t) \quad ,$$

$$\psi_k(t)=\frac{1}{s_1-s_2}\left[\left(\frac{v_2}{v_1}+s_1\right)e^{s_1 t}-\left(\frac{v_2}{v_1}+s_2\right)e^{s_2 t}\right] \quad .$$

Остаточно розв'язок сформульованої задачі має вигляд

$$p(x,t)=p_1(x,t)+p_2(x,t)+p_0-\left[\frac{\lambda}{8\delta\rho}\left(\frac{M}{S}\right)^2+\rho g\sin\alpha\right]x$$

,

де

$$p_1(x,t)=\begin{cases}0, & t<-xv_0,\\ \dfrac{d}{dt}\displaystyle\int_0^t\left[p(0,t-u)-p_{c1}\right]h(l-x,u)\,du, & t<-xv_0.\end{cases}$$

$$p_2(x,t)=\begin{cases}0, & t<(l-x)v_0,\\ \dfrac{d}{dt}\displaystyle\int_0^t\left[p(l,t-u)-p_{c1}-p_{c2}l\right]h(x,u)\,du, & t>(l-x)v_0.\end{cases}$$

$$p(0,t)=p_{sn0}+(p_{ss0}-p_{sn0})e^{-\alpha_0 t} \quad ,$$

$$p(l,t)=p_{snl}+(p_{ssl}-p_{snl})e^{-\alpha_l t} \quad ,$$

$$s_{1,2k}=\frac{1}{2}\left[-\frac{v_2}{v_1}\pm\sqrt{\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2-\frac{4}{v_1}\left(\frac{\kappa\pi}{l}\right)^2}\right] \quad ,$$

$$h(\tau,t)=\frac{\tau}{l}+\frac{2}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{(-1)^k}{k}\sin\frac{k\pi\tau}{l}\psi_k(t) \quad ,$$

$$\psi_k(t)=\frac{1}{s_1-s_2}\left[\left(\frac{v_2}{v_1}+s_1\right)e^{s_1 t}-\left(\frac{v_2}{v_1}+s_2\right)e^{s_2 t}\right] \quad ,$$

$$v_0=(1+\beta)\frac{\omega_0}{2\rho c^2}, \quad v_1=(1+\beta)^2\frac{\omega_0^2}{4\rho^2 c^4}+\frac{1}{c^2}, \quad v_2=\frac{\lambda_0}{c^2} \quad ,$$

$$p_{c1}=p_0 \quad , \quad p_{c2}=-\left[\frac{\lambda}{8\delta\rho}\left(\frac{M}{S}\right)^2+\rho g\sin\alpha\right] \quad .$$

В останню формулу граничні умови входять у загальному вигляді. Їхнє задання залежить від задачі, яку потрібно розв'язати.

Для керування перехідними режимами роботи МА важливо знати перехідні часи.

Для визначення перехідних часів граничні умови задаємо у вигляді

$$p(0,t)=p_{sn0}+(p_{ss0}-p_{sn0})e^{-\alpha_0 t}$$

та

$$p(l,t)=p_{snl}+(p_{ssl}-p_{snl})e^{-\alpha_l t}$$

і у функції $h(\tau,t)$ обмажемося першими двома доданками

$$h(\tau,t)\approx\frac{\tau}{l}+h_1(\tau)e^{s_{11}t}+h_2(\tau)e^{s_{21}t} \quad ,$$

де

$$h_1(\tau)=-\frac{2\sin\dfrac{\pi\tau}{l}}{\pi(s_{11}-s_{21})}\left(\frac{v_2}{v_1}+s_{11}\right) \quad ,$$

$$h_2(\tau)=\frac{2\sin\dfrac{\pi\tau}{l}}{\pi(s_{11}-s_{21})}\left(\frac{v_2}{v_1}+s_{21}\right) \quad .$$

Зауважимо, що параметри граничних умов визначаються на експериментально. Тоді

$$p(x,t)=p_1(x,t)+p_2(x,t)+p_0-\left[\frac{\lambda}{8\delta\rho}\left(\frac{M}{S}\right)^2+\rho g\sin\alpha\right]x$$

,

де

$$p_1(x,t)=\begin{cases}0, & t<-xv_0,\\ p_{11}(x,t), & t<-xv_0,\end{cases}$$

$$p_2(x,t)=\begin{cases}0,\ t<(l-x)v_0,\\ p_{22}(x,t),\ t>(l-x)v_0.\end{cases}$$

Тут

$$p_{11}(x,t)=\left[p(0,0)-p_{c1}\right]\left[\frac{l-x}{l}+h_1(l-x)e^{s_{11}t}+h_2(l-x)e^{s_{21}t}\right]-$$

$$-\alpha_0\left(p_{ss0}-p_{sn0}\right)\left\{\frac{l-x}{l\alpha_0}\left(1-e^{-\alpha_0 t}\right)+\frac{h_1(l-x)}{\alpha_0+s_{11}}\left(e^{s_{11}t}-e^{-\alpha_0 t}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{h_1(l-x)}{\alpha_0+s_{21}}\left(e^{s_{21}t}-e^{-\alpha_0 t}\right)\right\}.$$

та

$$p_{22}(x,t)=\left[p(l,0)-p_{c1}-p_{c2}l\right]\left[x+h_1(x)e^{s_{11}t}+h_2(x)e^{s_{21}t}\right]-$$

$$-\alpha_l\left(p_{ssl}-p_{snl}\right)\left\{\frac{x}{l\alpha_l}\left(1-e^{-\alpha_l t}\right)+\frac{h_1(x)}{\alpha_l+s_{11}}\left(e^{s_{11}t}-e^{-\alpha_l t}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{h_1(x)}{\alpha_l+s_{21}}\left(e^{s_{21}t}-e^{-\alpha_l t}\right)\right\},$$

$$s_{11}t=\frac{1}{2}\left[-\nu_3-\sqrt{\nu_3^2-\nu_{41}}\right]t,\quad s_{21}t=\frac{1}{2}\left[-\nu_3+\sqrt{\nu_3^2-\nu_{41}}\right]t.$$

З отриманих формул слідує, що перехідний час залежить від співвідношення параметрів α_0, α_l та ν_3. Для великих часів множники $e^{-\alpha_0 t}$, $e^{-\alpha_l t}$, $e^{s_{11}t}$ і $e^{s_{21}t}$ достатньо малими. Тому при великих значеннях часів доданки, в яких присутні множники $h_j(x)$ прямують до нуля при зростання часів. Перехідних час в значній мірі залежить від точності відхилення нестаціонарного процесу від нового стаціонарного руху аміаку.

Позначення, які введені в останніх формулах, наступні:

$$\lambda_0=\frac{\lambda\omega_0}{8\rho\delta},\quad h_\rho=\rho g\sin\alpha,\quad \omega_1=(1+\beta)\frac{\omega_0}{\rho},$$

$$\omega(x,0)=\omega_0=const,\qquad \nu_{41}=\frac{4}{\nu_1}\left(\frac{\pi}{l}\right)^2,$$

$$\nu_0=(1+\beta)\frac{\omega_0}{2\rho c^2},\quad \nu_1=(1+\beta)^2\frac{\omega_0^2}{4\rho^2c^4}+\frac{1}{c^2},\quad \nu_2=\frac{\lambda_0}{c^2},$$

$$\nu_3=\frac{\lambda_0}{1+\dfrac{(1+\beta)^2\omega_0^2}{4\rho^2c^2}}.$$

III. *ВИЗНАЧЕННЯ* ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ

Гідравлічним ударом називається різка зміна тиску в напірному трубопроводі внаслідок раптової зміни швидкості рідини в часі. Зниження тиску, яке розповсюджується за напрямком до запірного пристрою, називається зворотною ударною хвилею. Час пробігу прямої і зворотної ударної хвиль складає тривалість фази гідравлічного удару. Описаний процес відбувається надзвичайно швидко, так як швидкості розповсюдження ударної хвилі є значними.

Формула для швидкості розповсюдження ударної хвилі має вигляд

$$C=\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}\Bigg/\sqrt{1+\frac{E_0 d}{E\delta}},$$

де δ – товщина стінок труби; E – модуль пружності матеріалу, із якого зроблений трубопровід; $\sqrt{E_0/\rho}$ – швидкість розповсюдження пружних деформацій у рідині з густиною ρ і модулем пружності E_0. Для води $C_0=\sqrt{E_0/\rho}=1425 m/c$.

Коли по трубопроводу діаметром d рухається вода, то

$$C=1425\Bigg/\sqrt{1+\frac{E_0 d}{E\delta}}.$$

Підвищення тиску при гідравлічному ударі визначається за формулою

$$\Delta p=p-p_0=-\rho C(\upsilon-\upsilon_0),$$

де p_0 і υ_0 – тиск і швидкість, які відповідають початковому моменту перед гідравлічним ударом. Максимальне підвищення тиску $p_{\max}$ маємо коли $\upsilon=0$.

IV. ВИСНОВКИ

1. Проведені числові експерименти на реальних даних, які показали задавільну збіжність заміряних та розрахованих гідравлячних параметрів у режимах близьких до стаціонарних
2. Основний вплив на точність параметрів руху аміаку має гідравлічний опір. Гідравлічний опір можна обчислювати за відомими емпіричними формулами або знаходити як розв'язок оберненої коефіцієнтної задачі. Очевидно, що більш доцільнішим є другий варіант, оскільки гідравлічний опір буде виступати параметром адаптації.
3. Похибка вхідних даних залежить від довжини трубопроводу і є максимальною в кінці. Тому параметр адаптації доцільно визначати за заміряними даними на кінцях трубопроводу.
4. Під час побудови параметричного зв'язку між густиною та тиском за сталої температури та густини від температури за сталого тиску коефіцієнти кореляції є близькими до одиниці. Однак використання отриманих емпіричних формул для розрахунку розподілі тиску вздовж трубопроводу не забезпечують необхідну точність.
5. Отримані результати забезпечують побудову керування перехідними без ударними режимами за мінімальний час.

V. *ЛІТЕРАТУРА* REFERENCES

[1] Беккер, Л.М. Расчет оптимального режима работы нефтепровода, оборудованного частотно-регулируемым приводом // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – №3. – С. 27-33

[2] Самоленков С.В., Кабанов О.В. Исследование способов энергосбережения при транспорте нефти // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 81-84.

[3] Шагиев Р.Г., Верушин А.Ю. Моделирование гидравлических ударов в трубопроводах морских нефтеотгрузочных терминалов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2009.- №3. –С.34-41

Аналіз Режимів Руху Газу в Трубопровідних Системах за Наявності Витоків

Ярослав П’янило
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Мирослав Притула
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
olebra31@gmail.com

Назар Притула
Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
nazar.prytula1@gmail.com

Analysis of Gas Flow Modes in Pipeline Systems with Leakage Presence

nazar.prytula1@gmail.com

Yaroslav Pyanylo
Department for Mathematical Methods of Computing Experiment in Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Myroslav Prytula,
Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine,
Lviv, Ukraine
Myroslav.prytula@gmail.com

Nazar Prytula,
Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

***Анотація* — В процесі транспортування газу є наявними його витоки вздовж трубопроводу. В роботі побудована математична модель руху газу в трубопроводі, яка дозволяє визначити наявність витоку та його координати в залежності від точності заміряних вхідних даних і об’ємної витрати.**

Ключові слова— **Математичне моделювання, транспорт газу, крайові задачі, втрати газу, об’ємні витрати газу.**

Abstract — There are leaks along the pipeline in the process of gas transportation. A mathematical model of gas flow in a pipeline is developed in this work. This model allows to determine the leakages presence and their coordinates depending

upon the accuracy of the measured input data and the gas volumetric flow rate.

Keywords **— mathematical modelling, gas transportation, boundary problems, gas volumetric flow rate.**

I. Вступ

До вивчення витоків газу із трубопроводів можна підходити двома шляхами:

А) весь газопровід розбити на ділянки між пунктами витоків і на них проводити дослідження руху газу, узгоджуючи початкові та граничні умови в точках стику;

Б) наявні вздовж траси газопроводу витоки моделювати узагальненими функціями.

Другий шлях більш зручний, оскільки граничні умови в точках витоків входять в самі рівняння, а також скорочується час обчислення. Визначення витоків газу базується на порівнянні об'ємних витрат транспортованого газу та об'ємів його витоків.

Очевидно, що витоки газу є незначними в порівнянні з транспортованим газом. Значна кількість робіт, присвячених дослідженню незворотних втрат, базуються на припущенні про розрив потоку газу. Розахунки показують [2,3], що наявність витоків приводить до незначної зміни оперативних параметрів руху газу. Тому для визначення витоків газу необхідно мати достатньо точну модель руху газу в трубопроводі та необхідну кількість параметрів і вхідних даних для ідентифікації величини і місця знаходження витоку. Точність обчислення параметрів витоків газу повинна бути не меншою за похибку моделі [1,5,6]. Враховуючи сказане, для дослідження оцінки витоків необхідно застосовувати аналітичні моделі руху газу.

II. Визначення різниці між об'ємними витратами газу на вході і виході трубопроводу

У випадку витоків газу із трубопроводу одним із критеріїв може бути різниця між об'ємними витратами входу та виходу газу. Для цього спочатку необхідно визначити цю різницю для випадку, коли немає витоку.

Будемо вважати, що при визначенні розподілу тиску в трубопроводі граничні умови задаються на функцію тиску. Знайдемо різницю між об'ємними витратами входу та виходу газу.

З рівняння стану газу $p = mzRT/q$ [2,3] об'ємні витрати входу та виходу газу визначаються за формулами $q_{vx} = mz_{vx}RT_{vx}/p_{vx}$ та $q_{vyx} = mz_{vyx}RT_{vyx}/p_{vyx}$ відповідно. Тут m та q масова та об'ємна витрати відповідно. Тоді

$$q_{vyx} - q_{vx} = \frac{m}{p_{vyx}} z_{vyx} RT_{vyx} - \frac{m}{p_{vx}} z_{vx} RT_{vx}.$$

Якщо для обчислення коефіцієнта стиску використати формулу $z = 1/(1+fp)$, то

$$q_{vyx} - q_{vx} = \frac{m}{p_{vyx}} \frac{1}{1+fp_{vyx}} RT_{vyx} - \frac{m}{p_{vx}} \frac{1}{1+fp_{vx}} RT_{vx}.$$

З рівняння неперервності випливає, що масова витрата в трубопроводі є величиною сталою. Будемо вважати, що постійною величиною є і число Рейнольдса R. В робочих режимах трубопроводу величина fp є достатньо малою. Тому має місце наближена рівність $z \approx 1 - fp$. Тоді

$$\Delta q = q_{vyx} - q_{vx} \approx mR\left[\frac{T_{vyx}}{p_{vyx}} - \frac{T_{vx}}{p_{vx}} + fT_{vx} - fT_{vyx}\right].$$

За заданих граничних умов на тиск різниця між об'ємними витратами між входом і виходом не залежить від параметрів трубопроводу, а тільки від граничних умов. З обчислювальних експериментів відомо, що ця різниця є порівняно невеликою із об'ємною витратою вздовж трубопроводу.

Якщо при заданих граничних умовах різниця між об'ємними витратами між входом і виходом Δq_r не співпадає з визначеною вище Δq, то вздовж траси є наявними витоки або притоки газу. Причому їх величина визначається різницею між Δq та Δq_r, тобто величина витоку q_{vyt} буде

$$q_{vyt} = \Delta q_r - \Delta q.$$

III. Виявлення витоків газу на базі аналізу нестаціонарного руху газу в трубопроводах

Розглянемо математичну модель транспортування газу за наявності вздовж траси компресорних станцій (КС) та відборів, описуючи їх узагальненими функціями. Між КС та відборами і витоками газу можна встановити наступну відповідність – в точках витоку має місце як збурення тиску, так і зміна маси транспортованого газу.

В ізотермічному режимі з нехтуванням сили Коріоліса при постійному значенні коефіцієнта стисливості z процес руху описується системою [2,3,6]

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \omega}{\partial t} + \dfrac{\partial p}{\partial x} + a\omega - bp = \Theta(x,t), \\ \dfrac{\partial \omega}{\partial x} + \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial p}{\partial t} = \Psi(x,t). \end{cases} \quad (1)$$

Функції

$$\Theta(x,t) = \sum_{i=1}^{I} p_{st,i}\,\delta(x - x_i)\left[\eta(t - t_{1i}) - \eta(t - t_{2i})\right]$$

та

$$\Psi(x,t) = \pm \sum_{j=1}^{J} \frac{q_j(t)}{F}\,\delta(x - x_j)\left[\eta(t - t_{1j}) - \eta(t - t_{2j})\right]$$

моделюють наявність по трасі компресорних станцій в точках $x = x_i$, $i = \overline{1, I}$ та пунктів відводу в точках $x = x_j$, $j = \overline{1, J}$, з часами включення t_{1i}, t_{1j} і виключення t_{2i}, t_{2j} відповідно, F – площа поперечного перерізу трубопроводу, знак (+) вказує на відвід газу, а (–) – на поступлення.

Досліджується процес руху газу в горизонтальному трубопроводі довжини l за заданих граничних умов на функцію тиску

$$p(0,t) = p_{ok}(t),\ p(l,t) = p_{kk}(t),$$

або масової витрати

$$\omega(o,t) = \omega_{ok}(t),\ \omega(l,t) = \omega_{kk}(t).$$

За початкову умову приймається відомий стаціонарний розподіл тиску $p(x,0) = p_{om}(x)$ або масової витрати $\omega(x,0) = \omega_{om}(x)$.

В зображеннях Лапласа-Карсона [4] система (1) буде

$$\begin{cases}(s+a)\,\overline{\omega}+\dfrac{d\,\overline{p}}{dx}-b\,\overline{p}=s\omega_{om}+\overline{\Theta};\\ \dfrac{d\,\overline{\omega}}{dx}+\dfrac{s}{c^2}\,\overline{p}=\dfrac{s}{c^2}\,p_{om}+\overline{\Psi},\end{cases}\qquad(2)$$

де s – параметр перетворення Лапласа, $\overline{p}\equiv\overline{p}(x,s)$, $\overline{\omega}\equiv\overline{\omega}(x,s)$, $\overline{\Theta}\equiv\overline{\Theta}(x,s)$ й $\overline{\Psi}\equiv\overline{\Psi}(x,s)$ – зображення Лапласа-Карсона відповідних оригіналів. За сталих гранично-початкових умов замість функцій $\overline{p}$ і $\overline{\omega}$ введемо в розгляд функції $\overline{p}=\overline{p}+xh_p/l-p_{0k}$ та $\overline{\omega}=\overline{\omega}+xh_\omega/l-\omega_{0k}$, де $h_p=p_{0k}-p_{kk}$, $h_\omega=\omega_{0k}-\omega_{kk}$, які задовольняють нульові граничні умови. В нових позначеннях система (2) буде

$$\begin{cases}(s+a)\,\overline{\omega}+\dfrac{d\,\overline{p}}{dx}-b\,\overline{p}=\varphi_1,\\ \dfrac{d\,\overline{\omega}}{dx}+\dfrac{s}{c^2}\,\overline{p}=\varphi_2.\end{cases}\qquad(3)$$

де

$$\varphi_1=s\,\omega_{om}-(s+a)\omega_{0k}+\frac{1}{l}h_p+bp_{0k}+\overline{\Theta}(x,s)+\frac{x}{l}\Big[(s+a)\,h_\omega-b\,h_p\Big],$$

та

$$\varphi_2=\frac{s}{c^2}\,p_{on}+\frac{1}{l}h_\omega-\frac{s}{c^2}\,p_{on}+\overline{\Psi}(x,s)+\frac{x}{l}\frac{s}{c^2}\,p_{om}\,h_p.$$

Система (3) розв'язується з використанням рядів Фур'є за синусами [2,4,6], тобто

$$\begin{Bmatrix}\overline{p}(x,s)\\ \overline{\omega}(x,s)\end{Bmatrix}=\sum_{n=1}^{\infty}\begin{Bmatrix}\overline{p}_n(s)\\ \overline{\omega}_n(s)\end{Bmatrix}\sin\frac{n\pi x}{l},$$

Розв'язок системи (3) в зображеннях Лапласа-Карсона має вигляд

$$\tilde{\overline{p}}(s)=\ \nu_n\,l\Big[\varphi_{1n}+b\,\tilde{\overline{p}}_n(s)-(s+a)\tilde{\overline{\omega}}_n(s)\Big],$$

$$\tilde{\overline{\omega}}_n(s)=\nu_n\,l\left[\varphi_{2n}-\frac{s}{c^2}\,\tilde{\overline{p}}_n(s)\right].$$

Якщо позначити $\kappa_n=\big(1-b\,l\,\nu_n\big)\big/(\nu_n\,l/c)^2$, то

$$\tilde{\overline{p}}_n(s)=-\left(\frac{c}{\nu_n\,l}\right)^2\nu_n\,l\,\frac{1}{(s-s_1)(s-s_2)}\big[\varphi_{1n}-\nu_n\,l(s+a)\,\varphi_{2n}\big],$$

де

$$s_1=\frac{1}{2}\left(-a-\sqrt{a^2-4\kappa_n}\right),\quad s_2=\frac{1}{2}\left(-a+\sqrt{a^2-4\kappa_n}\right).$$

Для обчислення коефіцієнтів φ_{1n} та φ_{2n} мають місце формули:

$$\varphi_{1n}=\hat{\nu}_n\Big[(s+a)h_\omega-bh_p\Big]+\hat{\nu}_n\left[s\,\omega_{om}-(s+a)\,\omega_{ok}+\frac{1}{l}h_p+bp_{0k}\right]+\overline{\Theta}_n(s),$$

$$\varphi_{2n}=\hat{\hat{\nu}}_n\frac{s}{c^2}h_p+\hat{\nu}_n\left[\frac{s}{c^2}\big(p_{om}-p_{on}\big)+\frac{1}{l}h_\omega\right]+\overline{\Psi}_n(s).$$

Введемо позначення:

$$d_1=\hat{\nu}_n\big(ah_\omega-bh_p\big)+\hat{\nu}_n\left(\frac{1}{l}h_p+bp_{ok}-a\omega_{ok}\right)-a\,\nu_n\,\hat{\nu}_n h_\omega,$$

$$d_2=\hat{\hat{\nu}}_n h_\omega+\hat{\nu}_n\big(\omega_{om}-\omega_{ok}\big)-$$

$$-\nu_n\,l\left(\frac{1}{l}\hat{\nu}_n h_\omega+\frac{a}{c^2}\Big(\hat{\hat{\nu}}_n h_p+\hat{\nu}_n\big(p_{om}-p_{ok}\big)\Big)\right),$$

$$d_3=-\nu_n\,l\,\frac{1}{c^2}\Big(\hat{\hat{\nu}}_n h_p+\hat{\nu}_n\big(p_{om}-p_{ok}\big)\Big),$$

Тоді

$$\tilde{\overline{p}}_n(s)=-\left(\frac{c}{\nu_n\,l}\right)^2\frac{\nu_n\,l}{(s-s_1)(s-s_2)}\Big\{d_1+sd_2+s^2d_3+\overline{\Theta}_n(s)-\nu_n\,l(s+a)\,\Psi_n(s)\Big\}.\qquad(4)$$

Зображенням

$$\overline{\xi}_{in}(s)=\frac{s^{i-1}}{(s-s_1)(s-s_2)},\ \ i=1,2,3.$$

$$\overline{\xi}_{4n}(s)=\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{I}\ p_{st,i}\,e^{-\frac{x_i}{\nu_n l}}\left[\frac{e^{-t_{1i}s}}{(s-s_1)(s-s_2)}-\frac{e^{-t_{2i}s}}{(s-s_1)(s-s_2)}\right],$$

$$\overline{\xi}_{5n}(s)=\frac{s+a}{(s-s_1)(s-s_2)}\overline{\Psi}_n(s)=\frac{1}{l}\sum_{j=1}^{J}\ \frac{q_j}{F}\ e^{-\frac{x_j}{\nu_n l}}\ \Big[e^{-t_{2j}s}\times$$

$$\times\Big(\overline{\xi}_{2n}(s)+a\overline{\xi}_{1n}(s)\Big)-e^{-t_{2j}s}\Big(\xi_{2n}(s)+a\overline{\xi}_{1n}(s)\Big)\Big],$$

відповідають оригінали

$$\xi_{1n}(t)=\frac{1}{s_1\,s_2}-\frac{e^{s_1t}}{s_1(s_2-s_1)}+\frac{e^{s_2t}}{s_2(s_2-s_1)},$$

$$\xi_{2n}(t)=\frac{e^{s_2t}-e^{s_1t}}{(s_2-s_1)},\ \xi_{3n}(t)=\frac{s_2\,e^{s_2t}-s_1\,e^{s_1t}}{(s_2-s_1)}.$$

$$\xi_{4n}(t)=\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{I}\ p_{st,i}\,e^{-\frac{x_i}{\nu_n l}}\left[\begin{cases}0, & t<t_{1i}\\ \xi_{1n}(t-t_{1i}), & t>t_{1i}\end{cases}-\begin{cases}0, & t<t_{2i}\\ \xi_{1n}(t-t_{2i}), & t>t_{2i}\end{cases}\right],$$

$$\xi_{5n}(t)=\frac{1}{l}\sum_{j=1}^{J}\ \frac{q_j}{F}\ e^{-\frac{x_j}{\nu_n l}}\ \left[\begin{cases}0, & t<t_{1j}\\ \xi_{2n}(t-t_{1j})+a\xi_{1n}(t-t_{1j}), & t>t_{1j}\end{cases}-\right.$$

$$\left.-\begin{cases}0, & t<t_{2j}\\ \xi_{2n}(t-t_{2j})+a\xi_{1n}(t-t_{2j}), & t>t_{2j}\end{cases}\right].$$

Таким чином оригіналом зображення (4) є функція

$$\tilde{p}_n(t)=\ -\left(\frac{c}{l}\right)^2\frac{l}{\nu_n}\big[d_1\xi_{1n}(t)+d_2\xi_{2n}(t)+d_3\xi_{3n}(t)\big]-\left(\frac{c}{l}\right)^2\frac{l}{\nu_n}\xi_{4n}(t)+c^2\,\xi_{5n}(t)\,.$$

Оскільки оригінали коефіцієнтів ряду розкладу функції тиску в ряд Фур'є знайдено, то можна вважати, що знайдено розв'язок сформульованої задачі стосовно тиску.

IV. ЗМІНА МАСОВОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

В кінцевому результаті розподіл тиску в трубопроводі за прийнятих крайових умов визначається формулою

$$p(x,t) = p_{0k} - \frac{x}{l}h_p - 2\sum_{n=1}^{\infty}\mathrm{Im}\{\tilde{p}_n(t)\}\sin\frac{n\pi x}{l}. \quad (5)$$

Маса газу, який міститься в трубі, визначається за формулою $M = S\int_0^l \rho dx = \frac{S}{zRT}\int_0^l p(x,t)dx$. Якщо в останній формулі використати співвідношення (5), то отримаємо

$$M_{zs} = \frac{Sl}{zRT}\int_0^t\left\{p_{0k} - \frac{x}{l}h_p - \frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}\{\tilde{p}_n(\tau)\}\right\}d\tau =$$

$$= \frac{Sl}{zRT}\left\{\left(p_{0k} - \frac{x}{l}h_p\right)t - \frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}\left[\int_0^t\tilde{p}_n(\tau)d\tau\right]\right\}.$$

Якщо

$$U_n(t) = \int_0^t \tilde{p}_n(\tau)d\tau.$$

то

$$U_n(t) = -\left(\frac{c}{l}\right)^2\frac{l}{\nu_n}\left[d_1U_{1n}(t) + d_2U_{2n}(t) + d_3U_{3n}(t\right] -$$

$$-\left(\frac{c}{l}\right)^2\frac{l}{\nu_n}U_{4n}(t) + c^2U_{5n}(t), \qquad U_{in}(t) = \int_0^t \xi_{in}(\tau)d\tau.$$

Використовуючи визначення функцій $\xi_{in}(t)$, отримуються формули:

$$U_{1n}(t) = \frac{t}{s_1s_2} - \frac{e^{s_1t}-1}{s_1^2(s_2-s_1)} + \frac{e^{s_2t}-1}{s_2^2(s_2-s_1)},$$

$$U_{2n}(t) = \left[\left(e^{s_2t}-1\right)/s_2 - \left(e^{s_1t}-1\right)/s_1\right]/(s_2-s_1),$$

$$U_{3n}(t) = \left(e^{s_2t}-e^{s_1t}\right)/(s_2-s_1),$$

$$U_{4n}(t) = \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{I} p_{st,i}\,e^{-\frac{x_i}{\nu_n l}}\left[\begin{cases}0, & t<t_{1i}\\ U_{1in1}(t-t_{1i}), & t>t_{1i}\end{cases} - \begin{cases}0, & t<t_{2i}\\ U_{1in2}(t-t_{2i}), & t>t_{2i}\end{cases}\right],$$

$$U_{5n}(t) = \frac{1}{l}\sum_{j=1}^{J}\frac{q_j}{F}\,e^{-\frac{x_j}{\nu_n l}}$$

$$\left[\begin{cases}0, & t<t_{1j}\\ U_{2jn1}(t-t_{1j})+aU_{1jn1}(t-t_{1j}), & t>t_{1j}\end{cases} - \begin{cases}0, & t<t_{2j}\\ U_{2jn2}(t-t_{2j})+aU_{1jn2}(t-t_{2j}), & t>t_{2j}\end{cases}\right],$$

де

$$U_{1jni}(t) = \frac{t-t_{ij}}{s_1s_2} - \frac{e^{s_1t}-e^{s_1t_{ij}}}{s_1^2(s_2-s_1)} + \frac{e^{s_2t}-e^{s_2t_{ij}}}{s_2^2(s_2-s_1)},$$

$$U_{2jni}(t) = \frac{1}{s_2-s_1}\left[\frac{1}{s_2}\left(e^{s_2t}-e^{s_2t_{ij}}\right) - \frac{1}{s_1}\left(e^{s_1t}-e^{s_1t_{ij}}\right)\right].$$

Таким чином маса газу в трубопроводі обчислюється за формулою

$$M_{zs} = \frac{Sl}{zRT}\left\{\left(p_{0k} - \frac{x}{l}h_p\right)t - \frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}U_n(t)\right\}.$$

Перетворимо останній вираз таким чином, щоб можна було його використовувати для виявлення витоків газу.

$$M_{zs} = \frac{Sl}{zRT}\left[\left(p_{0k} - \frac{x}{l}h_p\right)t\right] +$$

$$+\frac{2Sc^2}{\pi zRT}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}\left\{\frac{1}{\nu_n}\left[d_1U_{1n}(t) + d_2U_{2n}(t) + d_3U_{3n}(t\right]\right\} -$$

$$-\frac{2Sc^2}{\pi zRT}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}\left\{\frac{1}{\nu_n}U_{4n}(t) + c^2U_{5n}(t)\right\}.$$

Аналіз останньої формули показує, що за витоки газу відповідають два доданки - $U_{4n}(t)$ та $U_{5n}(t)$. Очевидно, що для виявлення витоків газу необхідно, щоб вклад цих двох доданків був більшим за похибку обчислення, а це буде залежати від об'єму витоків q_j, зміни тиску в околах витоків $p_{st,i}$ та часу t.

Введемо позначення:

$$M_{zs1} = \frac{Sl}{zRT}\left[\left(p_{0k} - \frac{x}{l}h_p\right)t\right] +$$

$$+\frac{2Sc^2}{\pi zRT}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}\left\{\frac{1}{\nu_n}\left[d_1U_{1n}(t) + d_2U_{2n}(t) + d_3U_{3n}(t\right]\right\},$$

$$M_{zs2} = -\frac{2Sc^2}{\pi zRT}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1-(-1)^n}{n}\mathrm{Im}\left\{\frac{1}{\nu_n}U_{4n}(t) + c^2U_{5n}(t)\right\}.$$

Для визначення витоків газу необхідно визначити наступні параметри: місця витоків; об'єми витоків; значення тисків в околах точок витоків; часи появи витоків.

V. *АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ВКАЗАНИХ ПАРАМЕТРІВ.*

1. За заданими вхідними даними обчислюються величини M_{zs1} та M_{zs2} для різних значень часів.

2. Для тих значень часів t_v, для яких $M_{zs2} \le M_{zs1}$ визначити параметри витоків неможливо. Для їх визначення необхідно збільшити час дослідження доти, поки не буде виконуватись нерівність $M_{zs2} > M_{zs1}$.

3. Для визначення параметрів витоків будується система алгебраїчних рівнянь (лінійних чи нелінійних).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[5] Ya.D.Pyanylo, S.V.Gladun Optimization of energy costs for gas transportation in complex gas transmission systems //ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering 31 | Fascicule 3 Tome XIII [2015] – Fascicule 3 [August].

[6] Александров А.В., Яковлев Е.И. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. – М.: Недра, 1974. – 432 с.

[7] Бобровский С. А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором / Бобровский С. А., Щербаков С. Г., Гусейн–Заде М. А. – М. : Наука, 1972. – 192 с.

[8] Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. – М.: Высшая школа, – 1965. – 466 с.

[9] П'янило Я.Д. Дослідження гідравлічного тиску при нестаціонарному русі газу в горизонтальних трубопроводах // Мат. методи і фіз. мех. поля. – 2004. – Т. 47, №1. – С. 169–174.

[10] 6. П'янило Я.Д. Розподіл гідравлічного тиску при нестаціонарному русі газу в трубопроводах при наявності компресорних станцій та відборів // Нелінійні коливання. – Вип. 2. – 1998. – С. 84–89.

Вплив Поверхні Каталізатора на Тонку Структуру Коливної Реакції Окиснення Монооксиду Вуглецю

Петро Костробій, Ірина Рижа
кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
iryna.a.ryzha@lpnu.ua

Influence of the Catalyst Surface on the Fine Structure of Oscillatory Carbon Monoxide Oxidation Reaction

Petro Kostrobij, Iryna Ryzha
dept. of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
iryna.a.ryzha@lpnu.ua

***Анотація*—Досліджено двовимірну математичну модель окиснення монооксиду вуглецю на поверхні платинового каталізатора згідно механізму Ленгмюра-Гіншелвуда, яка враховує вплив нанонеоднорідностей поверхні каталізатора, починаючи від структурної перебудови, спричиненої адсорбатом, і завершуючи формуванням нових кристалічних граней. Встановлено, що структурні зміни поверхні Pt(110) суттєво впливають на характер коливного режиму реакції, викликаючи появу тонкої структури (коливань змішаного режиму).**

***Abstract*—A two-dimensional mathematical model of carbon monoxide oxidation on the platinum catalyst surface is investigated according to the Langmuir-Hinshelwood mechanism. It considers the influence of the catalyst surface nanohomogeneities, starting with the adsorbate induced structural transition and ending with the forming of new crystal facets. It is established that the structural changes of the Pt(110) surface significantly affects the character of the oscillatory mode of reaction, causing the appearance of a fine structure (the mixed-mode oscillations).**

Ключові слова—каталітична реакція окиснення; реакційно-дифузійна модель; математичне моделювання реакційно-дифузійних процесів

Keywords—reaction of catalytic oxidation; reaction-diffusion model; mathematical modeling of reaction-diffusion processes

I. Вступ

Впродовж останніх десятиліть явище нелінійної динаміки реакцій гетерогенного каталізу стало предметом багатьох теоретичних та експериментальних досліджень у зв'язку з можливістю існування автоколивного режиму (так званих хімічних хвиль) [1] в реакціях каталітичного окиснення чадного газу (CO) та каталітичного відновлення оксиду азоту (NO) на поверхні металів платинової групи (платина, паладій, родій).

Історично першими математичними моделями, в яких вдалося пояснити автоколивний режим реакції окиснення CO на поверхні платинового (Pt) каталізатора, були моделі, запропоновані Крішер, Айсвіртом, Ертлем (KEE модель) [2] та Зіффом, Гуларі, Баршадом (ZGB модель) [3]. Наступні відомі з літератури удосконалення цих моделей [4–7], на жаль, не дозволили описати усі експериментально спостережувані явища, характерні для реакційно-дифузійних процесів на поверхні каталізатора, наприклад, наявність значних електричних полів біля поверхні каталізатора [8], можливість комбінованого механізму приповерхневого та поверхневого окиснення, фрактальність поверхні [9]. Актуальним залишається питання про розвиток підходів до математичного моделювання впливу реконструкції і топології поверхні каталізатора на перебіг реакційно-дифузійних процесів. Розуміння таких впливів дозволить краще усвідомити процеси самоорганізації складніших (побудованих із

декількох компонент) систем, оптимізувати поверхню каталізатора, змінюючи розмір та геометрію областей із різною реактивністю.

Метою цієї роботи є побудова та дослідження математичної моделі реакційно-дифузійних процесів окиснення CO на поверхні Pt-каталізатора задля встановлення закономірності впливу на перебіг цих процесів змін у структурі поверхні каталізатора.

II. Опис математичної моделі

Розглянуто математичну модель реакційно-дифузійних процесів окиснення CO на поверхні Pt-каталізатора на основі узагальнення KEE-моделі, яка враховує:

- особливості механізму Ленгмюра-Гіншелвуда [10] проходження хімічної реакції;
- двовимірність поверхні, на якій проходить реакція каталітичного окиснення;
- перебудову наноструктури поверхні Pt(110) в процесі окиснення CO, починаючи від структурної перебудови, спричиненої адсорбатом [11], і завершуючи формуванням нових кристалічних граней [12].

Кінетичні рівняння, які описують зміну в часі поверхневих покриттів адсорбованих CO (u) і O (v), мають вигляд:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = p_{CO}\kappa_u s_u\left(1-\left(\frac{u}{u_s}\right)^3\right) - k_1 uv - k_2 u + D_x\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + D_y\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = p_{O_2}\kappa_v s_v\left(1-\frac{u}{u_s}-\frac{v}{v_s}\right)^2 - k_1 uv. \quad (2)$$

Тут p_{CO}, p_{O_2} – парціальні тиски відповідних речовин; κ_u, κ_v – частоти зіткнень молекул з поверхнею; s_u, s_v – коефіцієнти налипання; u_s, v_s – покриття насичення; $k_{1,2}$ – коефіцієнти, які характеризують відповідно швидкості реакції та десорбції молекули CO з поверхні каталізатора; $D_{x,y}$ – коефіцієнти дифузії CO в напрямку осей Ox та Oy, які для Pt(110) направлені вздовж перпендикулярних напрямків $\left[1\bar{1}0\right]$ та $[001]$, відповідно.

Рівняння (1) описує зміну поверхневого покриття CO під впливом молекулярної адсорбції CO, хімічної реакції з адсорбованим на поверхні O, десорбції CO з поверхні каталізатора та дифузії молекул CO у двох напрямках Ox та Oy.

Рівняння (2) описує зміну поверхневого покриття O під впливом дисоціативної адсорбції кисню та хімічної реакції окиснення CO.

Важливе місце у процесі окиснення CO займає можливість перебудови наноструктури поверхні каталізатора, яка стимулюється наявністю на поверхні адсорбованих молекул CO. Зокрема, за певних умов проходження хімічної реакції на Pt(110) може відбуватися структурний перехід $1\times1 \leftrightarrow 1\times2$, а також огранювання поверхні (формування нових кристалічних граней). Часову еволюцію частки поверхні каталізатора неперебудованої (поверхня типу 1×1) структури (w) та ступеня огранювання поверхні каталізатора (z) змоделюємо рівняннями:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = k_3\left(f(u)-w\right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = k_4 uvw(1-z) - k_5 z(1-u). \quad (4)$$

Тут $f(u)$ – неспадна гладка функція, яка набуває значень з інтервалу $[0;1]$; $k_{3,4,5}$ – коефіцієнти, які характеризують відповідно швидкості структурного переходу, формування граней та термічного відпалу.

Рівняння (3) описує зміну в часі частки поверхні каталізатора у неперебудованій структурі 1×1 під впливом структурного переходу $1\times1 \leftrightarrow 1\times2$, який стимулюється наявністю на поверхні адсорбованих молекул CO. Функцію $f(u)$ змодельовано аналогічно до [13]:

$$f(u) = \left(1+exp\left(\frac{u_0-\frac{u}{u_s}}{\delta u}\right)\right)^{-1}, \quad (5)$$

де u_0, δu – параметри структурного переходу $1\times1 \leftrightarrow 1\times2$ на Pt(110).

Рівняння (4) описує зміну ступеня огранювання поверхні під впливом хімічної реакції окиснення між адсорбованими CO і O на неперебудованій 1×1 поверхні та температури підкладу, підвищення якої разом з високими покриттями CO сповільнює процес формування нових кристалічних граней [2].

Зміни у структурі поверхні каталізатора пов'язані зі змінами його адсорбційних властивостей, особливо відносно кисню. Відомо [10], що коефіцієнт налипання кисню суттєво залежить від структури Pt, тому s_v у рівнянні (2) для зміни v запишеться, як лінійна комбінація:

$$s_v = s_{v1}w + s_{v2}(1-w) + s_{v3}z, \quad (6)$$

де $s_{v1,2,3}$ – коефіцієнти налипання кисню для структур 1×1, 1×2 та при максимальному ступені огранювання $z=1$, відповідно.

Коефіцієнт k_4, який характеризує швидкість формування граней, є сталим і не залежить від температури

каталізатора T. Тоді як коефіцієнти швидкостей реакції (k_1), десорбції молекули CO з поверхні каталізатора (k_2), структурного переходу (k_3) та термічного відпалу (k_5) залежать від T і підпорядковуються рівнянням Арреніуса [14]:

$$k_i = k_i(T) = k_i^0 \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right), \quad i = 1,2,3,5, \tag{7}$$

де k_i^0 – постійні, які не залежать від температури; E_i – енергії активації; R – універсальна газова стала.

Рівняння (1)–(4) складають запропоновану математичну модель процесу окиснення монооксиду вуглецю на поверхні платинового каталізатора.

III. ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛІ

Математична модель (1)–(4) – це система чотирьох нелінійних рівнянь у частинних похідних, визначена в замкнутій квадратній області $\Omega = \{0 \le x, y \le l\}$, де l – параметр, який вибирається з експериментальних даних по розмірах кристалу Pt, $l = 10^{-5}$ м [15]. Надалі усі змінні вважаються безрозмірними. Процедура обезрозмірення наведена у [15].

Розв'язок системи (1)–(4) задовольняє початкові умови:

$$\begin{aligned} &u(x,y,0) = U_0, v(x,y,0) = V_0, \\ &w(x,y,0) = W_0, z(x,y,0) = Z_0 \end{aligned} \tag{8}$$

та крайові умови

$$\begin{aligned} &u(0,y,t) = U_0, \frac{\partial u(l,y,t)}{\partial x} = 0, \\ &u(x,0,t) = U_0, \frac{\partial u(x,l,t)}{\partial x} = 0, \end{aligned} \tag{9}$$

де $(x,y) \in \Omega$, $t \in [0,\tau]$. Тут U_0, V_0, W_0, Z_0 – початкові значення поверхневих покриттів.

Розв'язок системи (1)–(4) знайдено чисельно за допомогою програмного продукту Matlab, використовуючи вбудований код ode15s [16]. Експериментальні значення параметрів реакції ($\kappa_{u,v}$, s_u, $s_{v1,2,3}$, u_s, v_s, $D_{x,y}$, u_0, δu, k_i, $i = \overline{1,5}$), які використовувалися в числових розрахунках наведено у [15]. Результати числового аналізу системи (1)–(4) подано на Рис. 1–2. Парціальні тиски p_{CO} та p_{O_2}, а також температура каталізатора T виступають зовнішніми параметрами моделі.

З Рис. 1-2 видно, що динаміка залежності поверхневих покриттів $u(x,y,t)$, $v(x,y,t)$, частки поверхні неперебудованої структури (1×1) $w(x,y,t)$ має яскраву осциляційну поведінку з періодом осциляцій, який слабо залежить від y-координати. Водночас амплітудні значення змінюються зі зміною y, що говорить про вплив дифузії CO вздовж осі Oy, незважаючи на те, що $D_y \approx 0{,}1 D_x$ [15].

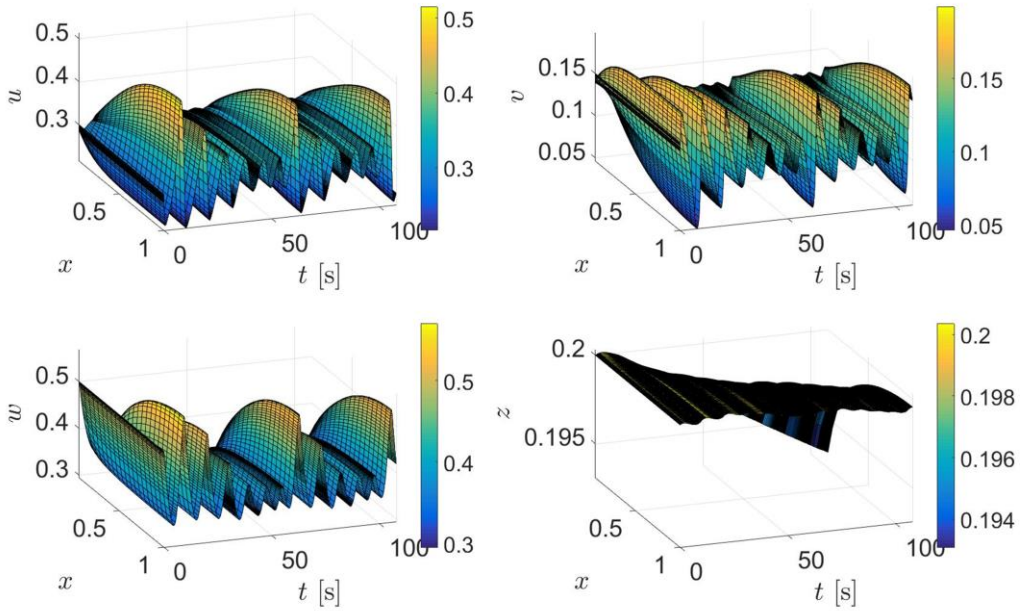


Рис. 1. Залежність поверхневих покриттів CO, O, частки поверхні неперебудованої структури та ступеня огранювання при D_x/D_y = 10, p_{CO} = 3,53×10^{-3} Па, p_{O2} = 8,53×10^{-3} Па та фіксованому значенні координати y = 0,1.

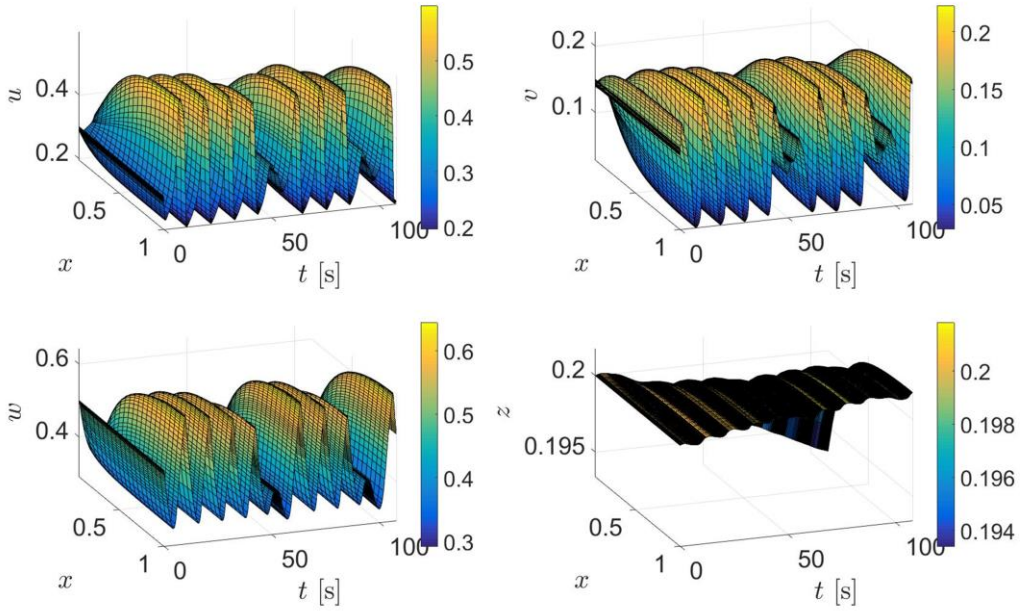


Рис. 2. Залежність поверхневих покриттів CO, O, частки поверхні неперебудованої структури та ступеня огранювання при D_x/D_y = 10, p_{CO} = 3,53×10^{-3} Па, p_{O2} = 8,53×10^{-3} Па та фіксованому значенні координати y = 0,5.

Незважаючи на те, що величина ступеня огранювання $z(x,y,t)$ слабо залежить від часу і координат, розрахована динаміка залежності поверхневих покриттів демонструє коливання змішаного режиму, які спостерігаються експериментально на Pt(110) [2], але які не вдавалось передбачити одновимірними моделями [13]. Подібне чергування коливань різних великих і малих амплітуд (тонка структура коливної реакції) пояснюється зміною кількості адсорбційних центрів на поверхні каталізатора та збільшенням коефіцієнту s_v на ограненій поверхні.

IV. Висновки

У роботі побудовано та досліджено двовимірну математичну модель окиснення монооксиду вуглецю на поверхні Pt-каталізатора згідно механізму Ленгмюра-Гіншелвуда. Показано, що врахування нано-неоднорідностей поверхні Pt(110) (починаючи від структурної перебудови, спричиненої адсорбатом, і завершуючи формуванням нових кристалічних граней) впливає на характер коливного режиму реакції, викликаючи появу тонкої структури, яка спостерігається експериментально, але яку не вдавалось передбачити іншими моделями.

Література References

[1] G. Ertl, “Heterogeneous Catalysis on the Atomic Scale,” Chem Record, vol. 1, no. 1, 2001, pp. 33-45.

[2] K. Krischer, M. Eiswirth and G. Ertl, “Oscillatory CO oxidation on Pt(110): Modeling of temporal self-organization,” J. Chem. Phys., vol. 96, no. 12, 1992, pp. 9161–9172.

[3] R.M. Ziff, E. Gulari and Y. Barshad, “Kinetic phase transitions in an irreversible surface-reaction model,” Phys. Rev. Lett., vol. 56, no. 24, 1986, pp. 2553–2556.

[4] M. Baer, C. Zuelicke, M. Eiswirth and G. Ertl, “Theoretical modeling of spatiotemporal self-organization in a surface catalyzed reaction exhibiting bistable kinetics,” J. Chem. Phys., vol. 96, no. 11, 1992, pp. 8595–8604.

[5] I. Bzovska and I. Mryglod, “Surface Patterns in Catalytic Carbon Monoxide Oxidation Reaction,” Ukr. J. Phys., vol. 61, no. 2, 2016, pp. 134–142.

[6] Y. Cisternas, P. Holmes, I.G. Kevrekidis and X. Li, “CO oxidation on thin Pt crystals: Temperature slaving and the derivation of lumped models,” J. Chem. Phys., vol. 118, no. 7, 2003, pp. 3312–3328.

[7] N. Pavlenko, “CO-activator model for reconstructing Pt(100) surfaces: Local microstructures and chemical turbulence,” Phys. Rev. E, vol. 77, 2008, pp. 026203:1–10.

[8] P. Kostrobiy, B. Markovych, Yu. Suchorski, “Revisiting local electric fields on close–packed metal surfaces: theory versus experiments,” Solid State Phenomena, vol. 128, 2007, pp. 219–224.

[9] P. Kostrobij, B. Markovych, O. Viznovych and M. Tokarchuk, “Generalized diffusion equation with fractional derivatives within Renyi statistics,” J. Math. Phys., vol. 57, 2016, p. 093301.

[10] R. Imbihl and G. Ertl, “Oscillatory kinetics in heterogeneous catalysis,” Chem. Rev., vol.95, no. 3, 1995, pp. 697–733.

[11] T. Gritsch, D. Coulman, R.J. Behm and G. Ertl, “Mechanism of the CO-induced (1×2)-(1×1) structural transformation of Pt(110),” Phys. Rev. Lett., vol. 63, no. 10, 1989, pp. 1086–1089.

[12] S. Ladas, R. Imbihl and G. Ertl, “Microfacetting of a Pt(110) surface during catalytic CO oxidation,” Surf. Science, vol. 197, no. 1–2, 1988, pp. 153–182.

[13] I. Bzovska and I. Mryglod, “Chemical oscillations in catalytic CO oxidation reaction,” Condens. Matter. Phys., vol. 13, no. 3, 2010, pp. 34801:1–5.

[14] K.A. Connors, “Chemical Kinetics: The Study of Reaction Rates in Solution,” New York: VCH Publishers, 1990, 480 p.

[15] P. Kostrobij and I. Ryzha, “Two-dimensional mathematical model for carbon monoxide oxidation process on the platinum catalyst surface,” Chem. Chem. Technol., vol. 12, no. 4, 2018, pp. 451–455.

[16] L. Shampine and R. Reichelt, “The Matlab ODE suite,” SIAM J. Sci. Comput., vol. 18, n. 1, 1997, pp. 1-22

Оптимізація Системи Автоматизованого Керування Процесом Очищення Води

Андрій Сафоник
кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
a.p.safonyk@nuwm.edu.ua

Ігор Ільків
кафедра вищої математики
Рівненський державний гуманітарний університет
Рівне, Україна
ihorilkivv@gmail.com

Optimization of the Automated Control System of the Water Purification Process

Andrii Safonyk
Department of Automation, Electrotechnical and Computer-Applied Technologies
National University of Water and Environmental Engineering
Rivne, Ukraine
a.p.safonyk@nuwm.edu.ua

Ihor Ilkiv
Department of Higher Mathematics
Rivne State University of Humanities
Rivne, Ukraine
ihorilkivv@gmail.com

***Анотація* — Розроблено комп'ютерну модель процесу електрокоагуляційного очищення стічних вод відповідно до ПІД та П законів регулювання. Проведено порівняльний аналіз ефективності системи при динамічно змінних концентраціях вхідного забруднення.**

***Abstract*— A computer model of the process of electrocoagulation wastewater treatment in accordance with the PID and P laws of regulation has been developed. A comparative analysis of the system efficiency at dynamically changing concentrations of input pollution is carried out.**

Ключові слова — математична модель, динамічна оптимізація, автоматизоване керування, електрокоагуляція, електролізер.

Keywords — mathematical model, dynamic optimization, automatic control, electrocoagulation, electrolysis

I. Вступ

Оптимальне керування вимагає відповідної апріорної (адекватної прогнозній моделі) та апостеріорної (поточні вимірювання та результати обробки) інформації. Це вимагає використання недорогих та ефективних засобів оцінки та ідентифікації, для яких найбільш перспективним є використання інтелектуальних підходів (методів систем штучного інтелекту), зокрема, нейронних мереж та нечітких логічних систем, здатних до навчання і є універсальними та ефективними апроксиматорами.

II. Формулювання математичної моделі

У роботах [1-4] нами було побудовано модельну задачу процесу очищення технологічної води методом електрокоагуляції:

$$\begin{cases} \dfrac{dC}{dt} = \dfrac{L}{V}\left(C_{in} - C\right) - \Phi\left(C,T,I\right); \\ \tau\dfrac{dT}{dt} = \dfrac{1}{KS}\left(\Phi\left(C,T,I\right)VH_E - c\zeta L(T - T_{in})\right) - (T - T_z). \end{cases} \quad (1)$$

$$C\left(0\right) = C_0, T\left(0\right) = t_0, \quad (2)$$

де C - концентрація цільового компоненту у воді, C_{vx} - концентрація забруднення на вході, T - температура води в реакторі, T_z - температура навколишнього середовища, T_{in} - температура рідини на вході, I - сила струму, $\Phi\left(C,T,I\right) = (a_0 + a_1T + a_2C + a_3I)$, $a_0 ... a_3$ - емпіричні коефіцієнти, S - площа поверхні пристрою, робоча зона, L - об'ємне споживання рідини, V - обсяг робочої зони комірки, c - питома теплоємність рідини, ρ - щільність води, K - коефіцієнт тепловіддачі, H_E - тепловий ефект процесу (реакції електрокоагуляції), τ - стала часу.

Особливість цієї постановки задачі полягає у тому, що система рівнянь (1) враховує процеси, що відбуваються в

електрокоагуляторі, як сукупність взаємодії різних факторів залежно від концентрації твердих речовин у воді, прикладеного струму, швидкості потоку та температури рідини, середовища, води в електрокоагуляторі, конструктивні параметри коагулятора.

III. Експерименти та їх аналіз

Розв'язок системи (1) за умов (2) був знайдений з використанням пакету Simulink (рис. 1). Вхідні параметри цієї моделі включають: концентрацію забруднень на вході, об'ємний потік рідини, об'єм робочої зони реактора, поданий струм, тепловий ефект реакції електрокоагуляції, коефіцієнт тепловіддачі коагулятором, площу поверхні вхідної рідини, сталу часу нагрівання, питому температуру та щільність рідини, а вихідним параметром буде концентрація забруднення цільового компонента на виході з реактора. Використовуються наступні вихідні дані:

$C_{vx}\big|_{\tau=0} = 8{,}87\ mg/\mathrm{l}$, $t\big|_{\tau=0} = 18\ ^\circ C$, $L = 0{,}006\ m^3/\mathrm{c}$, $V = 0{,}03125\ m^3$, $H = 1\ MJ/\mathrm{g}\cdot c$, $K = 10\ W/m^2\cdot ^\circ C$, $S = 1\ m^2$, $t_z = 20\ ^\circ C$, $t_{vx} = 14\ ^\circ C$, $c = 4200\ J/\mathrm{kg}\cdot ^\circ C$, $\rho = 1000\ kg/\mathrm{m}^3$, $T_2 = 10$, $a_0 = 0{,}001$, $a_1 = 0{,}000007$, $a_2 = -0{,}03$, $a_3 = 0{,}54$.

Для теоретичної оцінки ефективності процесу очищення води була розроблена комп'ютерна модель електрокоагулятора з ПІД-регулятором.

Зміна залежності струму від вхідної концентрації забруднення представляється залежністю:

$$I = 0.1265 \cdot C_{in} - 0.3738. \qquad (3)$$

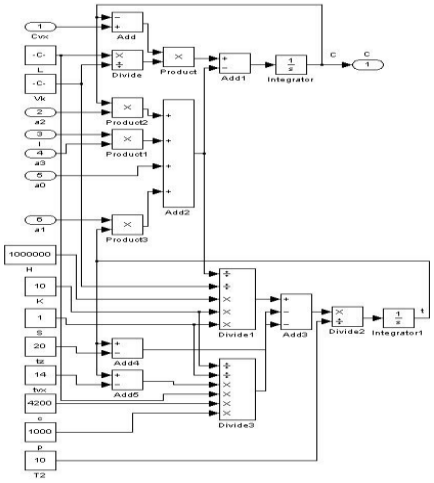


Рис. 1. Комп'ютерна модель роботи електрокоагулятора

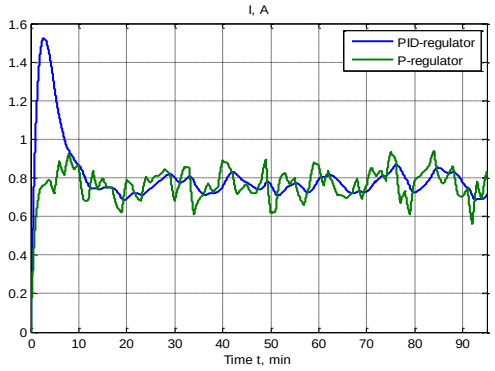


Рис. 2. Динаміка зміни поточного значення в управлінні згідно з ПІД та П-законами регулювання

Виходячи з результатів моделювання рис 2, ПІД-регулятор більш плавно контролює величину струму, але при пуску максимальний струм великий і становить 1.5 *A*, що збільшує вимоги до потужності для навантажень приводу (випрямляча). П-регулятор не має такого пікового навантаження, але під час роботи максимальне відхилення від стаціонарного стану більше, ніж у ПІД-регулятора. Це відхилення П-регулятора спричиняє кращу ефективність очищення технологічної води. При запуску електрокоагулятора з ПІД законом регулювання забезпечуються задані показники якості очищеної води за 5 хвилин, тоді як для П закон регулювання за 17 хвилин.

Висновки

На основі математичної моделі процесу електрокоагуляції, яка враховує вплив температури води, струму на ефективність процесу очищення води, була розроблена комп'ютерна модель процесу електрокоагуляції з ПІД- та П-регуляторами. Отримані результати розподілу розрахунків концентрації забруднення з часом на виході з коагулятора при зміні прикладеного струму. Проведено порівняльний аналіз ефективності роботи систем при динамічно змінній вхідній концентрації забруднення. Показано переваги та недоліки ПІД- та П-регуляторів, а також економічну ефективність витрат електроенергії. Запропонований алгоритм реалізовано в системі автоматизації, яка забезпечує встановлені екологічні норми концентрацій забруднень в очищених стоках.

Література References

[1] A. Safonyk, O. Prysiazhniuk, "Modeling and simulation in engineering modeling of the electrocoagulation processes in nonisothermal conditions" *Modelling and Simulation in Engineering,* 2019, p. 6 pages.

[2] A. Safonyk, O. Prysiazhniuk, "Matematychne Modeliuvannia Protsesu Otrymannia Koahuliantu Metodom Elektrokoahuliatsii" *Tekhnichna Elektrodynamika,* 2019, vol. 4, pp. 77 – 84.

[3] S. Martynov, V. Fylypchuk, V. Zoshchuk, S. Kunytskyi, A. Safonyk, O. Pinchuk, "Technological model of water contact iron removal" *Journal of Water and Land Development,* 2018, vol. 39, pp. 93–99.

[4] Safonyk A., Bomba A., Tarhonii I. (2019) Modeling and automation of the electrocoagulation process in water treatment // Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 871, pp 451-463

Симетрія в Комбінаториці, Комбінаторній Оптимізації та Природі

Тимофієва Н.К.
відділ комплексних досліджень інформаційних технологій
МННЦІТіС НАН та МОН України
Київ, Україна
TymNad@gmail.com

Symmetry in Combinatorics, Combinatorial Optimization and Nature

Tymofijeva N. K.
integrated research department of information technology
ISTCITS of NAS and MES of Ukraine
Kiev, Ukraine
TymNad@gmail.com

***Анотація* – Описано властивість симетрії, яка характерна для комбінаторних множин, проявляється в комбінаторній оптимізації та характерна для біологічних форм. Вона може бути як наближеною, так і точною та моделюється скінченною послідовністю чисел, які задають кількість комбінаторних конфігурацій у їх множинах**

***Abstract* — The property of symmetry, which is characteristic of combinatorial sets, is show up in combinatorial optimization and is inherent in biological forms. For sets, it is modeled by a finite sequence of numbers that specify the number of combinatorial configurations in subsets. Their values increase to the largest of them and then decrease (or decrease to the smallest and then increase). The plane of symmetry passing through the largest (or smallest) number of the sequence divides it into two parts, the values of which decrease (or increase) evenly from the center, but these parts are not necessarily mirror-symmetric. These sequences, respectively, and combinatorial sets, are characterized by both approximate and exact symmetry. Symmetry in combinatorial optimization is show up depending on the structure of the input data and the method of modeling the objective function. The last type of symmetry is traced in problems, the argument of the objective function in which is the division of the n-element set into subsets and permutations. Symmetry in combinatorial optimization, which is determined by the structure of the input data, is investigated using solvable problems of different classes (in subclasses of solvable problems there is a method of analytical finding of the global optimum). In this case, the change in the values of the objective function depending on the direct and inverse functions of the natural argument, which set the input data, is analyzed. The presence of combinatorial numbers and the formation of symmetry in biology is explained with the use of significant combinatorial spaces (convolute and deployed), accordingly, biological. Under the influence of certain factors, the collapsed symbolic biological space begins to unfold according to the rules of unfolding of natural number partitions or combinations without repetitions. In the process of their unfolding, finite sequences are formed, on the basis of which an arithmetic triangle is formed, the Fibonacci numbers appear, as well as symmetries both exact and approximate. Logarithmic spirals appear due to the finite sequences that are formed during the unfolding of the agreed spaces and which are presented geometrically using polar coordinates.**

Ключові слова — комбінаторика, комбінаторна конфігурація, комбінаторна оптимізація, знаковий комбінаторний простір, симетрія комбінаторних множин, симетрія комбінаторних конфігурацій.

Keywords — combinatorics, combinatorial configurations, combinatorial optimization, sign combinatorial space, symmetry of combinatorial sets, symmetry of combinatorial configurations.

I. Вступ

Розглядається симетрія в комбінаториці, комбінаторній оптимізації та природі. Для комбінаторних множин вона моделюється скінченною послідовністю чисел, які задають кількість комбінаторних конфігурацій у певних підмножинах. Аналіз цих множин різних впорядкувань одного і того ж типу дозволяє виявити та встановити впорядкування, які є симетричними. Уводиться означення симетрії комбінаторної конфігурації та комбінаторної множини.

II. Комбінаторні конфігурації

Комбінаторною конфігурацією назвемо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів заданої множини $A=\{a_1,...,a_n\}$ [1]. Позначимо її впорядкованою множиною $w=(w_1,...,w_\eta)$. Множину $A=\{a_1,...,a_n\}$ назвемо базовою. Під символом $w_l \in A$ розуміємо як окремі елементи, так і підмножини (блоки), $\eta \in \{1,...,n\}$ – кількість елементів у $w \in W$. Дві нетотожні комбінаторні конфігурації w та $\tilde{w}$ назвемо ізоморфними, якщо $\eta = \tilde{\eta}$.

III. Симетрія комбінаторних конфігурацій та комбінаторних множин

Множини комбінаторних конфігурацій можуть бути упорядковані або за строгими правилами або хаотично. Існує скінченне число цих множин, упорядкованих за певними правилами. Значна їхня частина – структурована. Як в одній множині так і в різних розміщення в них комбінаторних конфігурацій може бути симетричне.

Комбінаторну конфігурацію подамо упорядкованою послідовністю, для якої існує їй симетрична. Вважатимемо, що $w \in W$ симетрична, якщо вона збігається сама з собою при русі без деформацій. Уведемо таке означення [2].

Означення 1. Для комбінаторної конфігурації одного і того ж типу $w=(w_1,...,w_\eta)$ існує $\tilde{w}=(\tilde{w}_1,...,\tilde{w}_\eta)$, яка симетрична $w \in W$.

Якщо множина W упорядкована підмножинами ізоморфних комбінаторних конфігурацій W_η, то попарно симетричні $w \in W$ належать різним множинам, які мають різне впорядкування. Тобто якщо для $w \in W$ симетрична $\tilde{w} \in \tilde{W}$, то W та $\tilde{W}$ мають різне впорядкування. Симетрія комбінаторної множини, яка впорядкована підмножинами $W_\eta \subset W$, визначається за кількістю в $W_\eta \subset W$ комбінаторних конфігурацій, числові значення яких утворюють послідовність, якій характерна точна або наближена симетрія. Числа в цій послідовності збільшуються до найбільшого з них, а потім зменшуються (або зменшуються до найменшого, а потім збільшуються). Площина симетрії, яка проходить через найбільше (або найменше) число послідовності, ділить її на дві частини, які необов'язково дзеркально симетричні.

Означення 2. Під симетрією комбінаторної множини, впорядкованою підмножинами $W_\eta \subset W$, розуміємо таку її структуру, при якій числові значення кількості комбінаторних конфігурацій у $W_\eta \subset W$ утворюють скінченну послідовність чисел, яка характеризується точною або наближеною симетрією.

IV. Симетрія в комбінаторній оптимізації

Симетрія в комбінаторній оптимізації проявляється в залежності від структури вхідних даних та способу моделювання цільової функції. Симетрія, яка визначається структурою вхідних даних, досліджується з використанням розв'язних задач різних класів (у підкласах розв'язних задач відомий спосіб аналітичного знаходження глобального оптимуму). В цьому разі аналізується зміна значень цільової функції в залежності від прямих та обернених функцій натурального аргументу, якими задаються вхідні дані. В основі цієї властивості комбінаторної оптимізації лежить симетрія аргументу цільової функції (комбінаторних множин та комбінаторних конфігурацій). Симетрія, яка залежить від способу моделювання цільової функції прослідковується в задачах, аргументом цільової функції яких є розбиття n-елементної множини на підмножини та перестановки

V. Симетрія в біології

Біологічним формам характерні властивості знакових комбінаторних просторів та їхня динаміка утворення симетрії. Тобто, як живій так і неживій природі характерні закони комбінаторики. Точкою знакових комбінаторних просторів є комбінаторні конфігурації різних типів, які утворюються з елементів заданих базових множин (однієї або кількох) за допомогою певних правил. Використання знакових комбінаторних просторів дає змогу пояснити наявність комбінаторних чисел у природі, утворення симетрії в біології та логарифмічних спіралей [2].

Висновки

Отже, симетрія в комбінаторній оптимізації залежить від симетрії комбінаторних множин та комбінаторних конфігурацій. Симетрія в біології пов'язана із симетрією комбінаторних множин та пояснюється з використанням знакових комбінаторних просторів.

Література References

[5] Тимофієва Н.К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. автореф. дис... докт. техн. наук: 01.05.02. Київ, 2007. 32 с.

[6] Тимофієва Н.К. Про комбінаторні числа та симетрію в біології. *Штучний інтелект*. 2018. № 81 (2018'3). С.87–95.

Про Побудову Інтегрального Перетворення Оператора Параболічного Диференціального Рівняння за Мішаних Граничних Умов I і II Роду

Ольга Чернуха
Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Кафедра обчислювальної математики і програмування
Національний університет "Львівська політехніка",
Львів, Україна
zaliznuchna6@gmail.com

Юрій Білущак
Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Кафедра обчислювальної математики і програмування
Національний університет "Львівська політехніка",
Львів, Україна
byixx13@gmail.com

Анастасія Чучвара
Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Львів, Україна
davydoka@gmail.com

On Construction of Integral Transformation of Operator of Parabolic Differential Equation Under Mixed Boundary Conditions of the I and II Kinds

Olha Chernukha
Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y.S.Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Department of Computational Mathematics and Programming
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
zaliznuchna6@gmail.com

Yurii Bilushchak
Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y.S. Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Department of Computational Mathematics and Programming
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
byixx13@gmail.com

Anastasiia Chuchvara
Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y.S.Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
davydoka@gmail.com

***Abstract*—The concretized method is proposed for construction of a finite integral transform for the operator of the second-order differential equation with constant coefficients under the conditions of the first kind on the sought function at the upper layer boundary and of the second kind at the lower boundary on the base of series expansion by the orthogonal eigenfunctions. The corresponding Sturm-Liouville problem is solved, its solution is investigated, and the influence of the coefficient near the first-order derivative on the inverse integral transform is studied.**

Анотація—**Запропоновано конкретизований метод для побудови скінченного інтегрального перетворення для оператора диференціального рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами за умов першого роду на шукану функцію на верхній границі шару та другого роду - на нижній границі на основі розкладу у ряд за ортогональними власними функціями. Знайдено та досліджено розв'язок відповідної задачі Штурма-Ліувілля та вивчено вплив коефіцієнта біля похідної першого порядку на обернене інтегральне перетворення.**

Keywords— integral tranformation; parabolic equation; Sturm-Liuoville problem; eigenfunction; eigenvalue; characteristic equation.

Ключові слова— інтегральне перетворення; параболічне рівняння; задача Штурма-Ліувілля; власна функція; власне значення; характеристичне рівняння.

I. Вступ

Побудова скінченних інтегральних перетворень базується на основних положеннях теорії граничних задач [1] або задач Штурма-Ліувілля, а також на властивостях конкретного диференціального оператора, що лежить в основі кожного перетворення. Скінченне інтегральне перетворення співставляє поставленій задачі нову задачу у просторі зображень. Ці дві задачі еквівалентні у тому сенсі, що розв'язок однієї містить усю інформацію про розв'язок іншої і навпаки [2]. Проте нова задача у просторі зображень має бути значно простішої математичної природи.

У роботі [2] запропоновані три підходи до побудови скінченних інтегральних перетворень для загального диференціального оператора рівняння другого порядку. Проте при застосуванні наведених у [3] інтегральних перетворень виникають певні труднощі, зокрема, пов'язані з коректністю застосування прямого перетворення, недослідженістю впливу коефіцієнта при першій похідній (коефіцієнт швидкості конвективного перенесення) на вигляд оберненого перетворення, тощо. Тому запропоновано конкретизований метод побудови скіченного інтегрального перетворення оператора параболічного рівняння за умов першого роду на шукану функцію на верхній границі шару і другого роду на нижній границі на основі розкладу за ортогональними власними функціями [2, 3].

II. Побудова скінченного інтегрального перетворення

Розглянемо крайову задачу, де функція f і всі коефіцієнти належать дійсним областям

$$L_0 f(x) \equiv \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - v\frac{\partial f}{\partial x} = 0\,, \quad f(x)\big|_{x=0} = \gamma_1\,, \quad \left.\frac{\partial f(x)}{\partial x}\right|_{x=x_0} = \gamma_2\,.$$

Побудуємо таке скінченне інтегральне перетворення, щоб після його застосування відповідна система спів відношень у просторі зображень не містила диференціальних операцій по x. Для цього оператор $L_0 \equiv \partial^2/\partial x^2 - v\partial/\partial x$ з допомогою підстановки $p(x) = r(x)$, де $r(x)$ є будь-яким нетривіальним розв'язком рівняння $dr(x)/dx - vr(x) = 0$, переведемо у самоспряжену форму

$$L_0 \equiv \frac{1}{r(x)}\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left[p(x)\frac{\partial}{\partial x}\right]\right\} = \frac{1}{r(x)}L\,.$$

Вважаємо, що на інтервалі $[0; x_0]$ функції $p(x)$ і $p'(x)$ є неперервними і $p(x) > 0$, а інтеграл $\int_0^{x_0} \frac{dx}{p(x)}$ є збіжним. Тоді оператор L підпорядковується формулі Гріна.

Шукане інтегральне перетворення подамо у вигляді

$$\bar{f}(\lambda) = L_x f = \int_0^{x_0} f(\xi)\Phi(\lambda,\xi)d\xi = (f,\Phi)\,,$$

при цьому потрібно знайти ядро $\Phi(\lambda, x)$. Застосуємо оператор L_x до $\frac{1}{r}Lf$, використовуємо формулу Гріна, тоді отримаємо

$$L_x\left[\frac{1}{r}Lf\right] = \left(\frac{1}{r}Lf,\Phi\right) = \left(Lf,\frac{\Phi}{r}\right) = \left(f, L\frac{\Phi}{r}\right) + R\,,$$

$$R = R_{x_0} - R_0 = \left[p\left(\frac{\Phi}{r}\right)\frac{\partial f}{\partial x} - pf\,\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\Phi}{r}\right)\right]_0^{x_0}.$$

Для того, щоб перетворена система не містила операцій диференціювання по x, достатньо покласти $\left(f, L\frac{\Phi}{r}\right) = -\lambda^2(f,\Phi)$ і додати однорідні крайові умови. Позначаючи $\Phi = r\varphi$ і враховуючи, що функція f є довільною, одержимо самоспряжену задачу Штурма-Ліувілля для визначення ядра перетворення у вигляді

$$L\varphi = -\lambda^2 r\varphi\,, \quad \varphi\big|_{x=0} = 0\,, \quad \left.\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right|_{x=x_0} = 0\,. \qquad (1)$$

Рівняння (1) еквівалентне

$$L_0\varphi = -\lambda^2\varphi\,, \quad R = R_{x_0} - R_0 = \left[p\left(\varphi\frac{\partial f}{\partial x} - f\,\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)\right]_0^{x_0}.$$

На лівому та правому кінцях відрізка $[0; x_0]$ вирази R_{x_1} і R_{x_2}, можуть бути представлені так

$$R_{x_1} = \gamma_1(p\varphi)_{x=0}\,, \quad R_{x_2} = -\gamma_2\left(p\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)_{x=x_0}. \qquad (2)$$

Таким чином задача визначення ядра перетворення зведена до спектральної задачі (1), (2).

Тоді, використовуючи властивості ортогональності і повноти системи власних функцій, отримуємо пряме інтегральне перетворення. А на основі розв'язків задачі Штурма-Ліувілля одержуємо формулу оберненого перетворення. При дослідженні розв'язку задачі Штурма-Ліувілля встановлено, що оскільки розв'язок задачі може набувати різної форми залежно від значення коефіцієнта при першій похідній, відповідно, і вигляд оберненого перстворення залежить від цього коефіцієнта. Так, суттєвим є знак цього коефіцієнта, і у випадку $v > 0$ більшим, або меншим від $2\lambda_1$, де λ_1 - перше власне значення, є коефіцієнт v.

References

[1] Tricomi F.G. Differential Equations – New York, Dover Publications Inc. 2012 – 288p.

[2] Martynenko N., Pustylnikov L. Finite integral transformations and their application to the study of the systems with distributed parameters. - Moskow: Nauka, 1985. – 304p.

[3] Chernukha O., Bilushchak Y. Method of Construction of Finite Integral Transform for Operator of Parabolic Differential Equation under Mixed Boundary Conditions // 2020 IEEE 6th International Conference MSNMC. – Proceedings (2020). – P. 38-42.

Комп’ютерне Моделювання Дифузії Домішки у Смузі з Випадково Розташованими Кульовими Включеннями Декількох Характерних Радіусів

Анастасія Чучвара
Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Львів, Україна
davydoka@gmail.com

Ольга Чернуха
Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Кафедра обчислювальної математики і програмування
Національний університет “Львівська політехніка”,
Львів, Україна
zaliznuchna6@gmail.com

Юрій Білущак
Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Кафедра обчислювальної математики і програмування
Національний університет “Львівська політехніка”,
Львів, Україна
byixx13@gmail.com

Computer Simulation of Admixture Diffusion in a Strip With Randomly Located Spherical Inclusions of Several Characteristic Radii

Anastasiia Chuchvara
Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y.S.Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
davydoka@gmail.com

Olha Chernukha
Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y.S.Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Department of Computational Mathematics and Programming
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
zaliznuchna6@gmail.com

Yurii Bilushchak
Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y.S. Pidstryhach Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Department of Computational Mathematics and Programming
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
byixx13@gmail.com

***Abstract*— Simulation of diffusion of admixture particles in a multiphase strip with randomly located spherical inclusions of different radii is performed. For this purpose, the solution of the initial contact-boundary value problem is presented in the form of the integral Neumann series and calculation formula for the admixture concentration field averaged over the ensemble of phase configurations in the porous multiphase body with a uniform distribution of spherical inclusions is obtained.**

Анотація— **Проведено комп’ютерне моделювання дифузії частинок домішкової речовини у багатофазному шарі з випадково розташованими включеннями сферичної форми різних радіусів. Для цього розв’язок контактно-крайової задачі представлено у вигляді інтегрального ряду Неймана та одержано розрахункову формулу для усередненого за ансамблем конфігурацій фаз поля концентрації частинок у пористому багатофазному тіл з рівномірним розподілом кульових включень.**

Keywords— simulation; mathematical model; randomly nonhomogeneous structure; spherical inclusion; admixture concentration.

Ключові слова— комп'ютерне моделювання; математична модель; випадково неоднорідна структура; кульове включення; концентрація домішки.

I. Вступ

Наявність у тілі внутрішніх неоднорідностей, зокрема, у вигляді гранул чи пор, з характеристиками, відмінними від матеріалу скелету середовища, значно впливають на процеси перенесення маси, що протікають у тілі. Тому аналіз та контроль дифузійних властивостей у структурах з кульовими включеннями, у тому числі пористих середовищах, є особливо актуальним під час дослідження поширення забруднюючих речовин у об'єктах природного середовища, виготовленні композиційних матеріалів, каталізаторів, промислових адсорбентів, тощо. Важливу роль при цьому відіграє використання засобів комп'ютерного моделювання з метою економії часу та наявних ресурсів.

Для дослідження явища дифузії у пористих структурах широко використовують метод випадкового блукання [1] та метод решіток Больцмана [2]. Проте на практиці для структур з внутрішніми неоднорідностями характерна наявність стрибка функції концентрації домішкової речовини на границях контакту фаз, тоді як у розглянутих методах умова неідеального контакту не накладається, що є певним спрощенням відповідної математичної моделі. Тому дана робота присвячена дослідженню на основі комп'ютерного моделювання процесів дифузії домішки у випадково неоднорідному шарі з кульовими включеннями різного характерного радіуса, за підходом [3], що базується на побудові розв'язку у вигляді інтегрального ряду Неймана та його подальшого усереднення за ансамблем конфігурацій фаз, при цьому явно враховується стрибок функції концентрації та рівність потоків на випадкових міжфазних границях.

II. Постановка контактно-крайової задачі та її розв'язання

Розглянемо дифузію домішкових частинок у шарі товщини z_0, що складається з $N+1$ різних за густиною фаз, в яких коефіцієнти дифузії частинок можуть суттєво відрізнятися, але є сталими в межах кожної з фаз. Вважаємо, що об'ємна частка жодної з фаз не є превалюючою, а кульові включення в тілі розташовані за рівномірним законом розподілу. Нехай можна виділити один або декілька характерних радіусів включень однієї фази, а радіуси куль різних фаз можуть бути як різними, так і співпадати, зокрема, для частини матеріалів. При цьому, якщо наявні декілька характерних радіусів сферичних включень одного матеріалу, розглядатимемо такі кулі як різні фази, проте з однаковими коефіцієнтами дифузії і густиною.

Концентрація домішкової речовини описується рівняннями дифузії для кожної фази k ($k=\overline{0,N}$):

$$\rho_k \frac{\partial c_k(\vec{r},t)}{\partial t} = d_k\left[\frac{\partial^2 c_k(\vec{r},t)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 c_k(\vec{r},t)}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 c_k(\vec{r},t)}{\partial z^2}\right],$$

$$\vec{r}\in\left(V^{(k)}\right),\ t\in[0;\tau]\ (\tau<\infty),$$

де $c_k(\vec{r},t)$ – концентрація домішкової речовини у k-ій фазі; ρ_k – густина k-ої фази; d_k – кінетичний коефіцієнт переносу мігруючої речовини у k-ій фазі; $\vec{r}=(x,y,z)$ – радіус-вектор біжучої точки; t – час.

Прийнято, що у початковий момент часу відсутня домішкова речовина в тілі, на верхній границі тіла підтримується постійне значення концентрації домішкової речовини, а на нижній границі вона дорівнює нулю. Крім того, на границях розділу областей $\left(V^{(0)}\right)$ (матриці) та $\left(V^{(k)}\right)$ ($k=\overline{1,N}$) виконуються умови рівності хімічних потенціалів та дифузійних потоків частинок домішкової речовини, що призводить до стрибків функції концентрації на міжфазних границях.

Скелет тіла (матриці) змодельовано щільною упаковкою з M куль різного радіуса R_{m_j} ($j=\overline{0,N}$), $\sum_{j=0}^{N} m_j = M$. З використанням теорії узагальнених функцій вихідну контактно-крайову задачу зведено до рівняння масоперенесення для тіла в цілому. Розглядаючи неоднорідності структури як внутрішні джерела, отриманій крайовій задачі поставлено у відповідність еквівалентне інтегро-диференціальне рівняння, розв'язок якого знайдено у вигляді інтегрального ряду Неймана. Обмежившись двома першими членам цього ряду, проведено процедуру усереднення за ансамблем конфігурацій фаз, враховуючи рівномірний розподіл кульових включень у тілі. Одержано розрахункову формулу для визначення усередненого за ансамблем конфігурацій фаз поля концентрації мігруючої речовини у шарі з випадково розташованими кулями N різних фізичних характеристик (фаз) з M різними характерними радіусами за умови рівномірного розподілу включень в області тіла та співвимірних об'ємних часток включень. Розроблено програмні модулі та проведено аналіз залежності концентрації мігруючої речовини від параметрів середовища, а саме значень приведених коефіцієнтів дифузії, густини включень, їх об'ємних часток. Показано, що зміна кількості характерних радіусів, якими моделюються кульові включення твердої фази, викликає нехтовно малі зміни в усередненій концентрації домішкової речовини по всьому тілу, тоді як зміна кількості характерних радіусів куль, наповнених газоподібною речовиною, викликає як кількісні, так і якісні зміни у поведінці функції усередненої концентрації.

References

[1] Vamos C., Suciua N., Vereecken H. Generalized random walk algorithm for the numerical modeling of complex diffusion // Journal of Computational Physics. – 2003. – Vol. 186 (2). – P. 527-544.

[2] Yong Y., Lou X., Li S., Yang C., Yin X. Direct simulation of the influence of the pore structure on the diffusion process in porous media // Computers & Mathematics with Applications. – 2014. – Vol. 67 (2). – P. 412-423.

[3] Chernukha O., Bilushchak Y., Chuchvara A. Modelling the diffusion processes in stochastically nonhomogeneous structures. – Lviv: Rastr-7, 2016. – 262 p.

Інтелектуальне Моделювання Епідемічного Процесу COVID-19 в Україні

Сергій Яковлев, Павло Пирогов, Руслан Бородай, Сергій Кривцов
Кафедра математичного моделювання та штучного інтелекту
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Харків, Україна
Svsyak7@gmail.com, pavel.vogorip@gmail.com, r.r.borodai@student.khai.edu, krivtsovpro@gmail.com

Intelligent Simulation of COVID-19 Epidemic Process in Ukraine

Sergiy Yakovlev, Pavlo Pyrohov, Ruslan Boroday, Serhii Krivtsov
Mathematical Modelling and Artificial Intelligence department
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
Kharkiv, Ukraine
Svsyak7@gmail.com, pavel.vogorip@gmail.com, r.r.borodai@student.khai.edu, krivtsovpro@gmail.com

***Анотація*—Пандемія COVID-19 стала загальносвітовою проблемою, яка вплинула на всі сфери діяльності людства. Дослідження розповсюдження епідемічного процесу захворювання на визначеній території дозволить впровадити ефективні протиепідемічні заходи. Для цього побудована інтелектуальна мультиагентна модель захворюваності на COVID-19 в Україні.**

***Abstract*—The COVID-19 pandemic has become a global problem that has affected all areas of human activity. The study of the spread of the epidemic process of the disease in a certain area will allow the introduction of effective anti-epidemic measures. For this, an intelligent multi-agent model of the incidence of COVID-19 in Ukraine has been built.**

Ключові слова—епідемічний процес, мультиагентне моделювання, COVID-19, компартментні моделі, інфекційна захворюваність

Keywords—epidemic process, multi-agent model, COVID-19, compartment models, infectious disease

I. Вступ

Гостра респіраторна вірусна інфекція COVID-19 була ідентифікована в кінці 2019 р в м Ухань в Китаї і незабаром швидко поширилася по всьому світу, вразивши понад 200 країн світу [2]. Це нова інфекція, проти якої ні в коо з людей не було імунітету. Легкість передачі інфекції від людини до людини переважно при кашлі, чханні, голосний лемент, розмові і т.п. створювала умови для швидкого поширення інфекції від території до території, від міста до міста, перетинаючи кордони країн і регіонів. Наявність прихованого інкубаційного періоду, який при COVID-19 становить від 2 до 14 днів, в середньому 5-6 днів, не давало можливості вчасно виявити інфікованих осіб, що також сприяло поширенню збудника від невиявленої джерела інфекції, тобто інфікованої людини, у якого ще не з'явилися симптоми, сприйнятливому населенню [3]. Базове репродуктивне число (R0) було оцінено 2,2 (95% ДІ, від 1,4 до 3,9), тобто один інфікований заражав 2-3 чоловік [4]. Неможливість встановити момент зараження і своєчасно ізолювати джерело інфекції в сукупності з повною відсутністю імунітету у населення часто приводили до важких наслідків. Поширенню збудника також сприяли міграція населення, висока його щільність, соціально-економічні, культурні та релігійні особливості територій, відсутність специфічної профілактики і лікування, недооцінка небезпеки нового збудника політиками і авторитетами області громадського здоров'я тощо

Для правильного розуміння динаміки поширення COVID-19 и адекватної оцінки епідемічної ситуації,

Дослідження виконане в рамках проєкту 2020.02/0404 «Розробка інтелектуальних технологій оцінки епідемічної ситуації для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері біобезпеки населення» Національного Фонду досліджень України [1].

необхідної для впровадження ефективних профілактичних и контрольних заходів, необхідно розробити відповідній математичний апарат, що дозволяє приймати раціональні управлінські рішення стосовно стримування епідемії. В сучасній науці відома низка підходів до моделювання епідемічний процесів [5-8].

Метою дослідження є побудова інтелектуальної мультиагентної моделі епідемічного процесу COVID-19 в Україні.

II. Мультиагентна модель COVID-19

Побудована мультиагентна модель представляє собою множину агентів з такими характеристиками як вік, стать, група активності, група ризику, тощо, які знаходяться в одному з п'яти станів: Сприйнятливий, Інфікований, Той, що одужав, Інфікований без зовнішніх проявів та Мертвий, та які взаємодіють один з одним та із середовищем моделювання. Для налаштування моделі використано дані захворюваності на COVID-19 в Україні, надані Центром громадського здоров'я України.

Агенти випадковим чином блукають по сітці симуляції. Якщо здоровий агент займає ділянку з хворим або інфікованим агентом, у здорового агента є шанс заразитися. Ймовірність переходів між станами визначена експериментальним шляхом.

Агент залишається інфікованим протягом періоду 7-14 днів. У цей час збудник заразний. Хворі агенти залишаються заразними протягом усього періоду хвороби. Наприкінці періоду хвороби збудник або вмирає, або відновлюється та набуває імунітет, що визначається коефіцієнтом летальності.

Окремі симуляції можуть не дуже добре відображати те, що станеться в разі реальної спалаху. Це тому, що вони часто занадто спрощені. Проте, що може бути дуже корисним, так це можливість моделювання втручання і їх вплив на загальну еволюцію пандемії.

Наприклад, зменшення радіуса зараження навколо збудника (або їх ймовірності передачі інфекції) може бути ефективним способом дослідження впливу, як поліпшення гігієни вплине на поширення пандемії.

Також експериментально досліджено наскільки ефективною буде самоізоляція. Це можна зробити, вибравши певну кількість агентів і встановивши їх швидкість на нуль, ефективно зупинивши їх рух. Отримані результати підтверджують, що самоізоляція дійсно є ефективним методом уповільнення поширення коронавірусу. Це було отримано шляхом запуску ряду симуляцій для кожної окремої пропорції осіб, що самоізолюються.

III. Висновки

Для підтримки прийняття рішень в сфері біобезпеки розроблена інтелектуальна інформаційна технологія, яка дозволить розробити науково-обґрунтовану базу для реалізації ефективних профілактичних і протиепідемічних заходів МОЗ України, епідеміологами і фахівцями громадської охорони здоров'я. Впровадження наукових і прикладних результатів дослідження до вищих органів державної влади, Центрів громадського здоров'я України та лікувально-профілактичних установ забезпечить прийняття ефективних профілактичних рішень, знизить негативний економічний, медичний і соціальний вплив на суспільство і державу.

Проведені експерименти говорять не тільки про ефективність самоізоляції. Вони також говорять нам, скільки людей повинні дотримуватися цього правила, щоб ізоляція була ефективною, і що немає великої різниці між 88 і 100%. Але це також говорить нам про те, що сама по собі ізоляція не може викорінити хворобу.

Література

[1] S. Yakovlev, et. al., "The concept of developing a decision support system for the epidemic morbidity control," CEUR Workshop Proceedings, vol. 2753, 2020, pp. 265–274.

[2] I. Steffens, "A hundred days into the coronavirus disease (COVID-19) pandemic," EuroSurveillance, vol. 25, iss. 14, 2020, 2000550. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.14.2000550

[3] Q. Li, et al. "Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia," New England Journal of Medicine, vol. 382, iss. 13, 2020, pp. 1199–1207. doi: 10.1056/NEJMoa2001316

[4] D. Chumachenko, et. al., "On-line data processing, simulation and forecasting of the coronavirus disease (COVID-19) propagation in Ukraine based on machine learning approach," Communications in Computer and Information Science, vol. 1158, 2020, pp. 372–382.

[5] Yu. Chernyshev, D. Chumachenko, A. Tovstik, "Development of intelligent agents for simulation of hepatitis B epidemic process," East West Fuzzy Colloquium 2013 (20th Zittau Fuzzy Colloquium, September 25 – 27, 2013), 2013, pp. 161-168.

[6] T. Chumachenko, D. Chumachenko, O. Sokolov, "Multiagent simulation of the hepatitis B epidemic process," Online journal of public health informatics, vol. 5, iss. 1, 2013.

[7] Yu. Chernyshov, T. Chumachenko, D. Chumachenko, A. Tovstik, "System of simulation of epidemic Diseases Spreading," East West Fuzzy Colloquium 2012 (19th Zittau Fuzzy Colloquium, September 5 – 7, 2012), 2012, pp. 154-161.

[8] Д.І. Чумаченко, Т.О. Чумаченко, «Математичні моделі та методи прогнозування епідемічних процесів», ТОВ «Планета-Прінт», 2020, 180 с.

Application of Machine Learning Methods in Carbon Footprint Optimization: Case-study

Piotr Milczarski, Zofia Stawska, Artur Hłobaż, Bartosz Zieliński, Piotr Kosiński and Paweł Maślanka
Faculty of Physics and Applied Informatics, University of Lodz,
Pomorska str. 149/153, Lodz, Poland
{piotr.milczarski, zofia.stawska, artur.hlobaz, bartosz.zieliński, piotr.kosinski, pawel.maslanka}@uni.lodz.pl

Abstract—**In the paper, the study of the carbon footprint optimization is shown in order to receive low-carbon vegetable frozen products. A short description of the Carbon Footprint assessment is provided and the methods of carbon footprint are discussed. Three clusterization methods are used to divide the processes of spinach production into five types. the frozen vegetables production line in order to derive the models to assess the carbon footprint. The results of the clusterization by three chosen methods: Canopy, k-means, Expectation-Maximization, are assessed by five classification methods: k-Nearest Neighbors, Neural Network, C4.5, Random Forrest and Support Vector Machines with a radial basis kernel function.**

Keywords—Carbon Footprint; LCA method; clusterization; Canopy; k-means; Expectation-Maximization; k-Nearest Neighbors; Neural Network; C4.5; Random Forrest; Support Vector Machines;

I. INTRODUCTION

Global climate change could potentially break the ecological balance. Greenhouse gas emissions from human activities have been a major contributor to global warming since the mid-twentieth century. Agriculture and land-use change contributed to 17% of global anthropogenic greenhouse gas emissions in 2010 [1]. By 2050 the population will be 9 billion people [2] to ensure a sufficient supply of food, agricultural production should be increased by 60%. Environmental sustainability is a challenge for agriculture. Climate change can affect food availability; for example, an increase in temperature, a change in the structure of rainfall or extreme weather events may result in a reduction in agricultural productivity [3, 4]. Therefore, its main challenge is to lower and avoid the threats that climate change poses to food availability but also to reduce GHG emissions.

As a result to the emerging threats of climate change, numerous programs, both global and regional, have been developed, the purpose of which is to slow down the growth rate of GHG concentration [5]. Achieving climate policy goals requires continuous monitoring of emissions and verification of the effectiveness of solutions for the development of a low-emission economy. The plan for the reduction of CO2 emissions by EU countries in 2014 requires the reduction of GHG emissions by 30% by 2030, compared to the level in 2005 [6].

This situation poses new challenges for food producers. More and more attention is paid to information about the impact of a given product on the environment. That forces entrepreneurs to take steps to optimize their production process to lower the energy consumption and as well as the carbon footprint.

The methods of calculating the carbon footprint are most often based on well-known standards. Among them, the most used are:

ISO14040: 2006 [7] – Environmental management-life cycle assessment: principles and framework,

ISO14064-1: 2018 [8] – Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals,

ISO/TS 14067:2018 [9] – Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification,

PAS2050 [10] – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.

Carbon footprint calculation is used as a tool for assessing greenhouse gas emissions, helping to manage and reduce them. Once the carbon footprint has been calculated, its detailed data helps to identify weaknesses, i.e. high-emission areas, that can be eliminated or improved. Thus, the carbon footprint is an indicator of sustainable development.

The carbon footprint is typically calculated using carbon emission factors and activity data that can be assessed through a Life Cycle Assessment (LCA). The carbon footprint analysis according to the LCA methodology is carried out by identifying potential environmental threats, usually throughout the entire life cycle of a product, i.e. from the extraction and processing of raw materials, their transport, through main production, distribution and use, to waste management [11]. However, in agricultural production, the emissions directly related to energy consumption are not dominant [12]. A large part of GHG emissions on farms is gas losses from farmland and livestock. Fig. 1 shows Life Cycle Assessment (LCA) in carbon footprint (CF) estimation.

LCA is a widely used approach to assess the actual environmental impact of a product from its production and use [13] [14] [15] [16]. The standards for assessing the product carbon footprint in LCA are mainly PAS 2050 [10] and ISO / TS 14067 [9].

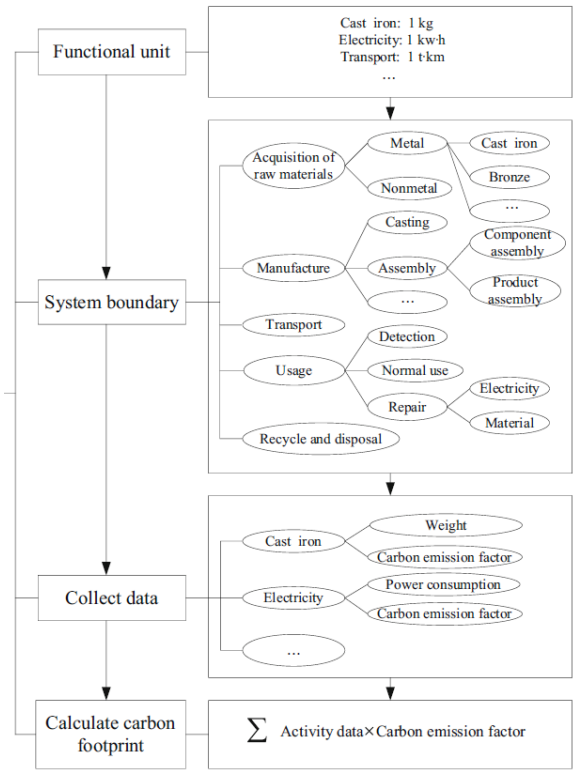


Figure 1. Life cycle assessment (LCA) in carbon footprint (CF) estimation.

II. PRODUCT LIFE CYCLE ANALYSIS

The product life cycle analysis will be carried out on the example of real data from UNIFREEZE, which represents the food processing industry. It is a company producing, among others, frozen vegetables and fruits. In the CFOOD project, as part of the NCBiR Biostrateg III recruitment, research is underway on the preparation of an expert system that allows to assess the impact of individual production stages on the total carbon footprint of the final product, which is frozen food. These studies can also be the basis to analyze the entire production process in terms of the generated carbon footprint and its optimization in this regard.

In the case of the CFOOD project, we focus on the optimization of the frozen food production process, so we consider a segment of the product life cycle from the moment of raw material delivery to the shipment of the finished frozen food to the recipient. The production process can be divided into several smaller stages:

• S1 – initial cooling of the raw materials before the processing;

• S2 – the raw material preparation for the production;

• S3 – raw material pre-processing on the production line;

• S4 – product freezing in the cold tunnel;

• S5 – product preparation to coldstore.

Each of the process stages is connected to electric meter units. Each production stage has also a preparation phase that is measured separately, e.g. S1 has a preparation phase that is denoted pS1, etc.

For the spinach production presented in the paper, the stages connected with freezing or blanching (heating up) the raw materials have the biggest impact on energy utilization because they are connected with freezing processes. Usually, the whole production process lasts 12-36 hours and its output is around 15-100 tones of production.

In the research section, we have used clusterization methods. We have checked several of them and choose three: Canopy, k-Means (KM) and Expectation-Maximization (EM) [17][21]. We have tested several options with the cluster numbers and chosen five clusters for each method that should represent according to our experience some real-time situations that occur during the production and their accounting systems:

- Optimal production – the product has the temperature -25°C ± 2 °C at the end of the line and the production goes without obstacles
- Close to optimal – during the high season energy consumption should be lower so as to make through-output higher. That is why the product temperature is allowed to be between -6°C and -18°C.
- Wrong accounting of some parameters. Sometimes, operators of the system can make mistakes. That will result in too high or too low results e.g. the through-output.
- Malfunction of the energy meters – it is a different situation from the above ones and might result in random results.

Of course, the last three reasons might provide proper results that are indistinguishable from real ones. The clusterization model with five clusters should have at least 80-100 processes. After a year of the process measurement, till April 2021, we have collected 152 results only for the frozen onion production. The most of vegetables have less than 50 cases. Spinach has already 75 full processes in the CFOOD database.

In the theoretical Carnot cycle the minimal energy to freeze one ton of vegetables is around 8-12 kWh depending on the vegetable [22]. Assuming that the real cooling efficiency of the compressor is around 16-20%, the minimal energy to freeze the vegetables should be more than 42-50kWh per one ton. This would be one of the factors how to choose the proper (optimal) processes due to the clusterization.

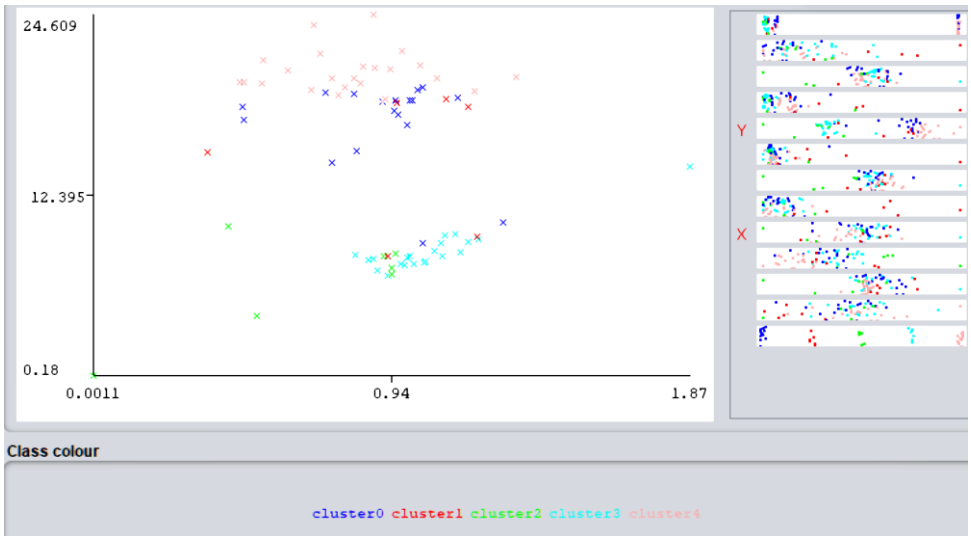


Figure 2.. The Canopy cluster division in the space (S4, S2): where the stage S4(x-axis), S2 (y-axis).

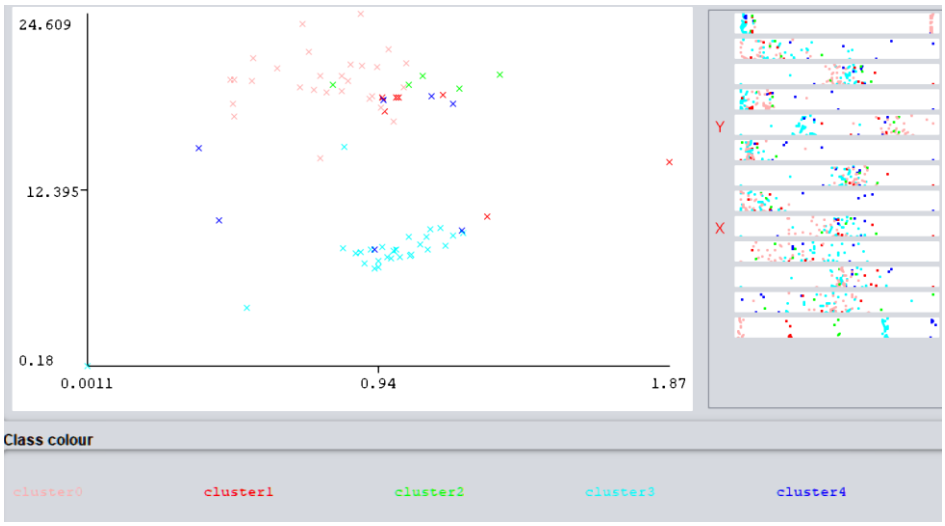


Figure 3.. The k-means cluster division in the space (S4, S2): where the stage S4(x-axis), S2 (y-axis).

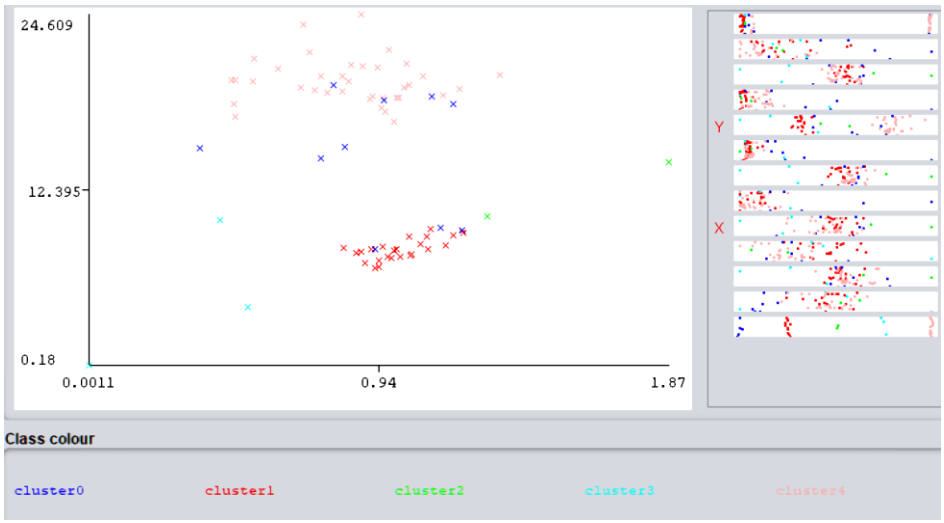


Figure 4.. The Expectation–Maximization cluster division in the space (S4, S2): where the stage S4(x-axis), S2 (y-axis).

III. RESEARCH, RESULTS AND DISCUSSION

In the previous work [18-20][22] to assess the production processes we have prepared the set of verified data and to assess the trustworthiness of the production data we have compared the results of processes classification using 5 classifiers: k-Nearest Neighbors, Neural Network, C4.5, Random Forrest and Support Vector Machines with a radial basis kernel function [21].

In the current paper, we have focused on unsupervised methods i.e. clusterization [21].

Figures 2-4 show the clusters for the corresponding Tables 1-3. In Tables 1-3 there are classification results of the production processes using the following clusterization methods with five clusters as it was explained in Sec. II:

- Canopy: max-candidates = 100; periodic-pruning = 10000 ; min-density = 2.0; T2 radius = 0.877 and T1 radius = 1.097
- k-Means (KM) with Euclidean distance, max-candidates = 100, periodic-pruning = 10000, min-density = 2.0, T1 = -1.25 and T2 = -1.0.
- Expectation–Maximization (EM) with max-candidates = 100, "minimum improvement in log likelihood" = 1E-5, "minimum improvement in cross-validated log likelihood" = 1E-6, and "minimum allowable standard deviation" = 1E-6 .

IV. DISCUSSION OF THE RESULTS

In the discussion below and their corresponding tables, we have highlighted the optimal clusters. All values for the stages and their preprocessing phase are in kWh/ton, the production through output (pt) in [ton/h] and an average energy consumption in one hour Et in [kWh/h]. Canopy seems to provide the best assessment of the processes because it's the best cluster that has the lowest energy consumption from the three optimal clusters for each clusterization

Canopy clusterization

Cluster 3 has the best results and it would be the 1st choice for the optimized process cluster.

Table 1. The Canopy clusterization results of the centroids parameters of the chosen stages and parameters.

Cluster	Cases	S1	S2	S3	S4	pt	Et
0	18	31.83	15.49	16.79	0.91	1.70	147.7
1	6	34.70	13.54	16.83	1.06	1.76	166.7
2	7	22.29	7.20	11.01	0.70	2.19	114.4
3	**21**	**35.63**	**9.07**	**16.55**	**1.09**	**1.8**	**142.0**
4	23	27.99	21.02	18.24	0.85	1.44	135.4

K-means clusterization

Cluster 2 – has very low energy consumption. Possible cause – wrong data. Cluster 3 is 1st choice for optimal process cluster because it has fair freezing stages energy values and low energy consumption in other stages.

Table 2. The k-means clusterization results of the centroids parameters of the chosen stages and parameters.

Cluster	Cases	S1	S2	S3	S4	pt	Et
0	28	28.88	19.95	16.91	0.77	1.58	141.8
1	7	39.75	16.82	19.20	1.17	1.69	192.7
2	5	35.23	19.86	18.40	1.09	1.56	143.7
3	**28**	**31.3**	**8.05**	**15.06**	**0.95**	**1.88**	**137.7**
4	7	30.3	14.14	15.14	0.88	1.92	161.7

EM clusterization

Cluster 1 is 1st choice for optimal process cluster and its preprocess values are fsir. Cluster 3 has too small S1-S4 and Et values.

Table 3. The EM clusterization results of the mean parameters of the chosen stages.

Cluster	Cases	S1	S2	S3	S4	pt	Et
0	10	32.5	14.8	16.27	0.93	1.77	159.7
1	**24**	**32.95**	**8.17**	**15.88**	**1.00**	**1.89**	**144.0**
2	2	48.96	4.84	25.24	1.58	1.50	214.5
3	3	9.93	4.84	5.68	0.31	2.10	65.99
4	36	30.79	19.91	17.12	0.85	1.61	144.4

To assess and to choose the clusterization method we have used five machine learning methods as in our previous work [19][20]. All the clusterization results were assessed by the classification methods with the same parameters. In Tab. 5 there are classification results of the production processes using the following classifiers:

- 3NN (kNN) 3-Nearest Neighbors;
- Multilayer Perceptron (NN) with a hidden layer with 11 nodes for the spinach and 10 nodes for the spinach production with a learning rate equal to 0.79 and momentum equal to 0.39;
- binary tree C4.5 with a confidence factor equal to 0.25, with a minimum number of instances per leaf equal 2;
- Random Forrest (RF) with the bag size percent equal to 100, with maximum depth unlimited, number of execution slots equal to 1 and 100 iterations;
- Support Vector Machine (SVM) with a radial basis function (RBF) $K(x,y) = \exp(-0.05*(x-y)2)$ (3)

Table 4. The assessment of the clusterization methods by five machine learning methods.

Classifier	Classification results [%]		
	Canopy	KM	EM
3NN	90,7	**94.7**	90,7
C4.5	93.3	**97.3**	98.7
NN	96.0	**94.7**	97.3
RF	100	**100**	100
SVM	100	**98.7**	100

From Tab. 4 one can derive that the best clusterization method. 5 is k-means followed by Expectation–Maximization, and then Canopy.

V. CONCLUSIONS

Proper tuning and accounting of the production line shown in the paper allow to point the optimized set of the processes that will allow to achieve low carbon footprint during the freezing processes. In the paper, we have shown three clusterization methods that allow us to assess the processes and their impact on energy consumption and hence, the carbon footprint. We have shown that all the clustering methods point out the processes that are proper from the manufacturing point of view. Although the lowest energy during the production phase of LCA seems to be tempting, it also means higher energy during the cold-store phase or destroying the product due to the wrong production technology.

We have shown the results for the spinach production taking into account 75 processes. Nowadays, we collect new processes for the other vegetable products. The will be analysed using the clustering methods shown above.

ACKNOWLEDGMENT

The paper is co-financed by the National Center for Research and Development, grant CFOOD number BIOSTRATEG3/343817/17/NCBR/2018.

REFERENCES

[1] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Kadner, A. Seyboth, I. Adler, S. Baum, G. Myhre, et al. "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change" *Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*, Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2015.

[2] *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Regional Strategy for Sustainable Hybrid Rice Development in Asia*, Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific: Bangkok, Thailand, 2014.

[3] D.B. Lobell, W. Schlenker, J. Costa-Roberts, "Climate trends and global crop production since 1980", *Science 2011*, 333, 616–620. [CrossRef] [PubMed] Energies 2019, 12, 138 11 of 13

[4] R.Y.M. Kangalawe, C.G. Mungongo, A.G. Mwakaje, E. Kalumanga, P.Z. Yanda, "Climate change and variability impacts on agricultural production and livelihood systems in Western Tanzania". Clim. Dev. 2017, 9, 202–216. [CrossRef]

[5] *ECE (2007): Strategies and policies for air pollution abatement*. United Nations, New York and Geneva.

[6] *European Council Conclusions 2014. 2030 Climate and energy policy framework. Conclusions* – 23/24 October 2014, EUCO 169/14, http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/145397.pdf

[7] *ISO14040 (2006) Environmental management-life cycle assessment: principles and framework*. International Organization for Standardization, Geneva

[8] *ISO14064-1 (2018) Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. International Organization for Standardization, Geneva

[9] *ISO/TS 14067 (2018) Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification*. International Organization for Standardization, Geneva

[10] *PAS 2050 (2011) "The Guide to PAS2050-2011, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. British Standards Institution

[11] L. Milà i Canals, S. Sim, T. García-Suárez, G. Neuer, K. Herstein, G. Kerr C. Rigarlsford, H. King "Estimating the greenhouse gas footprint of Knorr.", *Int. J. Life Cycle Assess*. 16, 2011, 50-58

[12] M. Huijbregts, S. Hellweg, R. Frischknecht, H. Hendriks, K. Hungerbuler, J. Henriks J., "Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production." *Environ. Sci. Technol. 44*, 2010,2189-2196.

[13] M. Kulak, T. Nemecek, E. Frossard, G. Gaillard, "Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France", *J. Clean. Prod. 112*, 2016, 2452–2461

[14] M.A. Renouf, C. Renaud-Gentie, A. Perrin, C. Kanyarushoki, F. Jourjon, "Effectiveness criteria for customised agricultural life cycle assessment tools", *J. Clean. Prod. 179*, 2018, 246–254

[15] D. Perez-Neira, A. Grollmus-Venegas, "Life-cycle energy assessment and carbon footprint of peri-urban horticulture. A comparative case study of local food systems in Spain", *Landscape and Urban Planning* 172, 2018, 60-68

[16] A. Nabavi-Pelesaraei, S. Rafiee, S.S. Mohtasebi, H. Hosseinzadeh-Bandbafha, K. Chau, "Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques", *J. Clean. Prod. 162*, 2017, 571-586

[17] A.P Dempster, N.M. Laird, D.B. Rubin, "Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm". *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 39 (1), 1977, 1–38

[18] P. Milczarski, A. Hłobaż, P. Maślanka, B. Zieliński, Z. Stawska, P.Kosiński, "Carbon footprint calculation and optimization approach for CFOOD project." *CEUR Workshop Proceedings* 2683 (2019) 30-34

[19] P. Milczarski, B. Zieliński, Z. Stawska, A. Hłobaż, P. Maślanka, P. Kosiński, "Machine Learning Application in Energy Consumption Calculation and Assessment in Food Processing Industry." *ICAISC (2)* (2020), Springer LNAI 12416, 369-379

[20] Z. Stawska, P. Milczarski, et al., "The carbon footprint methodology in CFOOD project." *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 2020, 66(4), 781–786

[21] P. Harrington, "Machine Learning in Action." Manning Publ. 2012.

[22] P. Milczarski et al., "Machine Learning Methods in Energy Consumption Optimization Assessment in Food Processing Industry." In proc. Of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 22-25 September, 2021, Cracow, Poland (*in preprint*).

СЕКЦІЯ 8.

Прикладні методи дослідження дискретно-неперервних математичних моделей

SECTION 8.

Applied methods of studying discrete-continuous mathematical models

Homogenization Methods for Modeling Processes in Porous Media

Gennadiy Sandrakov
dept. of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
gsandrako@gmail.com

Andrii Hulianytskyi
dept. of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
andriyhul@gmail.com

Методи Осереднення для Моделювання Процесів у Пористих Середовищах

Геннадій Сандраков
факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Київський національний університет
Київ, Україна
gsandrako@gmail.com

Андрій Гуляницький
факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Київський національний університет
Київ, Україна
andriyhul@gmail.com

***Abstract*—Homogenization methods for modeling of dynamic processes of diffusion and filtration of liquids will be discussed. Porous periodic media, formed by a large number of blocks with low permeability, and separated by a connected system of faults with high permeability, will be considered here. Taking into account the structure of the media in modeling, ones have the dependence of the filtration equations and their coefficients on a small parameter characterizing the microscale of the porous medium and the permeability of the blocks. Thus, initial boundary value problems for nonstationary equations of filtration in such porous media will be considered. Statements on the solvability and regularity for such problems and the corresponding homogenized problems with convolutions are proposed. The statements are actual for the numerical solution of this problem with guaranteed accuracy.**

***Анотація*—Будуть представлені методи осереднення для моделювання динамічних процесів дифузії та фільтрації рідин. Розглядаються пористі періодичні середовища, утворені великою кількістю блоків з низькою проникністю і розділені пов'язаною системою розломів з високою проникністю. Беручи до уваги структуру середовищ при моделюванні, виникає залежність рівнянь фільтрації та їх коефіцієнтів від малого параметра, що характеризує мікро масштабність пористого середовища та проникність блоків. Таким чином, будуть розглянуті початкові крайові задачі для нестаціонарних рівнянь фільтрації в таких пористих середовищах. Запропоновано твердження про розв'язність та регулярність таких задач та відповідних осереднених задач із згортками. Таки твердження є актуальними для чисельного розв'язання цієї проблеми з гарантованою точністю.**

Keywords—initial boundary value problems; parabolic problems; homogenized problems; Laplace transforms.
Ключові слова— початково-граничні задачі; параболічні проблеми; осереднені задачі; перетворення Лапласа.

I. DIFFUSION AND FILTRATION IN POROUS MEDIA

Mathematical modeling of dynamic processes of diffusion and filtration of liquids in porous media is actual when planning the use of underground resources, development of methods for preventing technogenic contamination of groundwater and the search for ways to purify such waters from contamination. Research of such processes engineering methods of observation are expensive and practically impossible, due to the need to install a large number of sensors on large territories and different depths to study the dynamics of fluid movement in a real porous environment. So the simulation is the only one the possibility of forecasting and possible optimization of methods for rational water extraction, purification and prevention of groundwater contamination.

In order to simulate diffusion and filtration processes in porous media, it is natural to first choose some model of such a medium. Porous media with a periodic structure are simulated most simply, since to describe such media it is sufficient to determine only the structure of the periodicity cell and then continue such a cell in a periodic manner with suitable periods. Porous periodic media formed by a large number of blocks with low permeability, and separated by a connected system of faults with high permeability will consider. It is natural to call the porous media *weakly porous.*

This work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of Ukraine (project 0119U100337).

Such models for equations depending on one or more small parameters and periodic coefficients were investigated in [1–4]. Further generalizations of methods for studying these models for problems of diffusion and filtration of liquids are given in [5–8]. In these papers, homogenized initial boundary value problems in convolutions were obtained, the solutions of which approximate the solutions of the original initial boundary value problem for weakly porous media, and accuracy estimates of the approximations and statements on the solvability of the homogenized problems were proved. In mechanics and physics, such problems in convolutions are usually called dynamic problems *with memory effects* [9].

Another approach to simulate diffusion and filtration processes in porous media is presented, for example, in [10], where statements on the two-scale convergence of solutions to solutions of two-scale homogenized problems are proved. Such two-scale homogenized problems depend on two fast and slow variables and the type of such equations is not clear. Also, the accuracy of the approximations is not clear in this case. Further details on this approach and bibliography can also be found in [10].

The results of [1–8] were obtained under the assumption that the initial data are regular enough and the initial conditions are homogeneous. The solvability of such homogenized problems in convolutions with irregular initial data will be discussed here. These results for the problems are new. The properties of solutions to such problems are close to the properties of solutions to problems of variable orders, further details and a bibliography can be found in [11].

II. Initial boundary value problems

The homogenized convolution problem for the function $v = v(t,x)$ is the following

$$v_t' - m*(v_t') - \Delta v = f - m*f \quad \text{in} \quad \Omega\times(0,\infty),$$

$$v|_{t=0} = 0 \quad \text{in} \quad \Omega, \quad v = 0 \quad \text{on} \quad \partial\Omega\times(0,\infty), \qquad (1)$$

where Ω is a bounded domain, $m = m(t)$ is an element of the space $L^1(0,\infty)$, which is defined by a solution of some cell problem in accordance with [1–8], and $*$ denotes the convolution operator by t, for example,

$$m*(v_t') = \int_0^t m(t-\tau)[v_t'(\tau,x)]\,d\tau.$$

The main result on the solvability and regularity of a solution to problem (1) is the following statement.

Theorem. *For every* $f \in L^2(0,\infty;H^{-1}(\Omega))$ *and* $w \in L^2(\Omega)$ *the unique solution* $v \in L^2(0,\infty;H_0^1(\Omega))$ *to problem (1) exists and there is such positive constant* C *that*

$$\|v\|_{L^2(0,\infty;H_0^1(\Omega))} + \|v_t'\|_{L^2(0,\infty;H^{-1}(\Omega))} \le$$

$$\le C\|f\|_{L^2(0,\infty;H^{-1}(\Omega))} + C\|w\|_{L^2(\Omega)}$$

and $v \in C^0(0,T;L^2(\Omega))$ *for fixed positive* T.

Here spaces of functions are used, the definitions of which are given, for example, in [9]. In order to prove the solvability of homogenized problems with memory, we use the Laplace transform method developed in [12] to study parabolic problems of general type and a priori energy estimates.

III. Conclusion

Thus, initial-boundary value problems for non-stationary equations of diffusion and filtration in weakly porous media are discussed. Assertion on the solvability and regularity of initial boundary value problems for homogenized convolution problems with memory are presented. The statement is valid for general initial data and inhomogeneous initial conditions and generalizes classical results on the solvability of initial boundary value problems for the heat equation. The proofs use the methods of a priori estimates and the well-known Agranovich-Vishik method based on the Laplace transform and developed to study parabolic problems of general type. The statements are necessary for the numerical solution of this problem with guaranteed accuracy.

References

[1] G. V. Sandrakov, “The homogenization of nonstationary equations with contrast coefficients,” Doklady Mathematics, vol. 56:1, pp. 586–589, 1997.

[2] G. V. Sandrakov, “The homogenization of nonstationary problems in the theory of strongly nonuniform elastic media,” Doklady Mathematics, vol. 57:1, pp. 54–57, 1998.

[3] G. V. Sandrakov, “The averaging of dynamic problems in the theory of elasticity with strongly varying coefficients,” Doklady Mathematics, vol. 58:2, pp. 238–241, 1998.

[4] G. V. Sandrakov, “Homogenization of parabolic equations with contrasting coefficients,” Izvestiya: Mathematics, vol. 63:5, pp. 1015–1061, 1999.

[5] G. V. Sandrakov, “Homogenization of elasticity equations with contrasting coefficients,” Sbornik Mathematics, vol. 190:12, pp. 1749–1806, 1999.

[6] G. V. Sandrakov, “Multiphase models of nonstationary diffusion arising from homogenization,” Computational Math. and Math. Physics, vol. 44:10, pp. 1741–1756, 2004.

[7] G. V. Sandrakov, “Homogenization of variational inequalities for non-linear diffusion problems in perforated domains,” Izvestiya Mathematics vol. 69:5, pp. 1035–1059, 2005.

[8] G. V. Sandrakov, “Multiphase homogenized diffusion models for problems with several parameters,” Izvestiya Mathematics, vol. 71:6, pp. 1193–1252, 2007.

[9] G. Duvaut, J.-L. Lions, Les inequations en mecanique et en physique, Dunod, Paris 1972.

[10] W. Jager, R. Rannacher, J. Warnatz (Eds.) Reactive Flows, Diffusion and Transport. From Experiments via Mathematical Modeling to Numerical Simulation and Optimization. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.

[11] A. L. Hulianytskyi, “Weak solvability of the variable-order subdiffusion equation,” Fractional Calculus and Applied Analysis, vol. 23:3, pp. 920–934, 2020.

[12] M. S. Agranovich, M. I. Vishik, “Elliptic problems with a parameter and parabolic problems of general type,” Russian Math. Surveys, vol. 19:3, pp. 53–157, 1964.

Математичне Моделювання Теплообміну В Системі «Суцільний Циліндр В Багатошаровій Оболонці»

Роман Тацій
кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
roman.tatsiy@gmail.com

Олег Пазен
кафедра наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
opazen@gmail.com

Mathematical Modeling Of Heat Transfer In The System "Solid Cylinder In A Multilayer Shell"

Roman Tatsiy
dept. of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
roman.tatsiy@gmail.com

Oleg Pazen
dept. of Supervision-Preventive Activity and Fire Automatics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
opazen@gmail.com

***Анотація*—Запропонована робота присвячена застосуванню прямого методу до дослідження процесів теплообміну в системі – «суцільний циліндр в багатошаровій оболонці» з урахуванням наявності внутрішніх джерел тепла та неідеального теплового контакту між окремими шарами. Для розв'язування такої задачі поставлено допоміжну задача про визначення розподілу нестаціонарного температурного поля у багатошаровій порожнистій циліндричній конструкції з «вилученим» циліндром достатньо малого радіуса. Реалізація розв'язку допоміжної задачі проводиться шляхом застосування методу редукції із використанням концепції квазіпохідних. Надалі використовується схема Фур'є із застосуванням модифікованого методу власних функцій. Для знаходження розв'язку вихідної задачі використано ідею граничного переходу шляхом прямування радіусу вилученого циліндра до нуля. Встановлено, що при такому підході всі власні функції відповідної задачі на власні значення не мають особливостей в нулі, а це означає, що й розв'язки вихідної задачі є обмеженими у всій конструкції. Для ілюстрації запропонованого методу розв'язано модельний приклад про знаходження розподілу температурного поля у системі чотиришарових циліндричних конструкцій з різними теплофізичними характеристиками матеріалів.**

***Abstract*—The proposed work is devoted to the application of a direct method to the study of heat transfer processes in the system - "solid cylinder in a multilayer shell" taking into account the presence of internal heat sources and imperfect thermal contact between the individual layers. To solve this problem, the auxiliary problem of determining the distribution of a nonstationary temperature field in a multilayer hollow cylindrical structure with a "removed" cylinder of sufficiently small radius is set. The solution of the auxiliary problem is realized by applying the method of reduction using the concept of quasi-derivatives. The Fourier scheme is then used using a modified method of eigenfunctions. To find the solution of the original problem, we used the idea of a boundary transition by directing the radius of the removed cylinder to zero. It is established that with this approach all eigenfunctions of the corresponding problem have no singularities at zero, which means that the solutions of the original problem are limited in the whole construction. To illustrate the proposed method, a model example of finding the temperature field distribution in a system of four-layer cylindrical structures with different thermophysical characteristics of materials is solved.**

Ключові слова—компонент; багатошаровий суцільний циліндр, квазіпохідна, прямий метод, граничний перехід

Keywords—paper; component; multilayer solid cylinder, quasi derivative, direct method, marginal transition

I. Вступ

Розв'язуванню проблеми теплообміну в багатошарових конструкціях присвячено численний ряд робіт. Переважна більшість з них обмежується випадком ідеального теплового контакту між шарами та випадком відсутності внутрішніх джерел тепла. Проте недостатньо вивченими є задачі теплопровідності багатошарових конструкцій з урахуванням неідеального теплового контакту. Кількість таких досліджень є достатньо обмеженою. Так, наприклад, у роботі [1] розглянуто задачу про визначення температурного поля двошарової плоскої конструкції при неідеальному тепловому контакті між шарами та граничними умовами третього роду. В [2] проведено математичне моделювання умов неідеального теплового контакту шарів через тонке включення з джерелами тепла. У [3] розв'язано осесиметричну температурну задачу для системи двох контактуючих шарів з урахуванням неідеального теплового контакту. Однак в цитованих роботах автори обмежуються двома шарами. Це зумовлено тим фактором, що збільшення кількості шарів (з огляду на вибір методів практичної реалізації) призводить до певних обчислювальних труднощів. Тому проблема побудови ефективної аналітичної схеми дослідження процесів теплообміну в багатошарових конструкціях, зокрема циліндричних, при наявності неідеального теплового контакту між шарами та з урахуванням наявності внутрішніх джерел тепла залишається актуальною задачею.

II. Постановка вихідної задачі

Розглянемо суцільний необмежений циліндр радіусом $r = r_1$, який в подальшому називатимемо ядром, всередині багатошарової циліндричної оболонки радіусами $r_1 < r_2 < ... < r_{n-1} < r_n$. Між шарами існує неідеальний тепловий контакт, а у початковий момент часу $\tau = 0$, така циліндрична конструкція має однакову початкову температуру $T = T_0$, яка співпадає з температурою навколишнього середовища. На зовнішній поверхні конструкції відбувається конвективний теплообмін з навколишнім середовищем, температура якого змінюється за деяким законом $\psi(\tau)$, тобто виконується крайова умова третього роду. Крім цього, у ядрі та шарах оболонки передбачено наявність джерела тепла інтенсивності q_v. Вважатимемо, що температура середовища $\psi(\tau)$ рівномірно розподілена по поверхні циліндричної оболонки так, що ізотерми всередині цієї конструкції являють собою коаксіальні поверхні, а це значить, що температура $T(r,\tau)$ залежить лише від радіуса r та часу τ і задача є симетричною. Необхідно знайти розподіл нестаціонарного температурного поля $T(r,\tau)$ такої конструкції у будь-який момент часу τ.

Така постановка задачі зводиться до розв'язування диференціального рівняння теплопровідності з умовами спряження, крайовою умовою третього роду, умовою симетрії та початковою умовою відповідно [4]

$$c\rho\frac{\partial T(r,\tau)}{\partial\tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial T(r,\tau)}{\partial r}\right) + q_v,\ r\in(0,r_n),\quad \tau > 0, \tag{4}$$

$$\begin{cases} \lambda_{i+1}\dfrac{\partial T_{i+1}}{\partial r}(r_{i+1},\tau) - \lambda_i\dfrac{\partial T_i}{\partial r}(r_{i+1},\tau) = 0, \\ T_{i+1}(r_{i+1},\tau) - T_i(r_{i+1},\tau) = \dfrac{1}{\alpha_{i+1}}\lambda_i\dfrac{\partial T_i}{\partial r}(r_{i+1},\tau), \end{cases} \tag{5}$$

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial r}(r_n,\tau) = \alpha\left(T(r_n,\tau) - \psi(\tau)\right), \tag{6}$$

$$\frac{\partial T}{\partial r}(0,\tau) = 0, \tag{7}$$

$$T(r,0) = T_0. \tag{8}$$

Тут позначено: c — питома масова теплоємність, Дж/(кг·°С); r — координата, м; T — температура, °С; α — коефіцієнт теплообміну, Вт/(м^2·°С); λ — коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С); ρ — густина, кг/м^3; q_v — інтенсивність внутрішнього джерела тепла, Вт/м^3; τ — час, с; $\psi(\tau)$ – закон зміни температури навколишнього середовища, °С.

III. Постановка допоміжної задачі

Для того, щоб розв'язати поставлену задачу (4)-(8) «вилучимо» з середини ядра циліндр радіусом $r = r_0$, причому $0 < r_0 < r_1$. Розглянемо тепер мішану задачу теплопровідності для багатошарової порожнистої циліндричної конструкції. Для того, щоб розрізнити функцію розподілу температурного поля $T(r,\tau)$ вихідної задачі від функції розподілу допоміжної задачі, позначатимемо останню через $t(r,\tau)$.

Для знаходження розподілу нестаціонарного температурного поля у багатошаровій порожнистій циліндричній конструкції необхідно знайти розв'язок диференціального рівняння теплопровідності [6]

$$c(r)\rho(r)\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial\tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda(r)\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial r}\right) + q_v(r), \tag{9}$$

з умовами спряження [7]

$$\begin{cases} \lambda_{i+1}\dfrac{\partial t_{i+1}}{\partial r}(r_{i+1},\tau) - \lambda_i\dfrac{\partial t_i}{\partial r}(r_{i+1},\tau) = 0, \\ t_{i+1}(r_{i+1},\tau) - t_i(r_{i+1},\tau) = \dfrac{1}{\alpha_{i+1}}\lambda_i\dfrac{\partial t_i}{\partial r}(r_{i+1},\tau). \end{cases} \tag{10}$$

Умову симетрії (7) змінимо на нульову крайову умову другого роду, тоді одержимо крайові умови для рівняння (9) разом з початковою умовою

$$\begin{cases} \dfrac{\partial t}{\partial r}(r_0,\tau)=0, \\ -\lambda\dfrac{\partial t}{\partial r}(r_n,\tau)=\alpha\big(t(r_n,\tau)-\psi(\tau)\big), \end{cases} \tag{11}$$

$$t(r,0)=\varphi(r). \tag{12}$$

Зауважмо, що розв'язок вихідної задачі (4)-(8) буде отримано з розв'язку задачі (9)-(12) шляхом граничного переходу при $r_0 \to 0$.

Введемо позначення [6]: θ_i – характеристична функція напіввідкритого проміжку $[r_i, r_{i+1})$, тобто $\theta_i(r)=\begin{cases} 1, r\in[r_i,r_{i+1}), \\ 0, r\notin[r_i,r_{i+1}). \end{cases}$ Позначимо $t^{[1]}(r,\tau)\overset{df}{=}r\lambda\dfrac{\partial t(r,\tau)}{\partial r}$ – квазіпохідна, $\lambda(r)=\sum\limits_{i=0}^{n-1}\lambda_i\theta_i$, $c(r)\rho(r)=\sum\limits_{i=0}^{n-1}c_i\rho_i\theta_i$, $q_v(r)=\sum\limits_{i=0}^{n-1}q_{vi}\theta_i$, $\varphi(r)=\sum\limits_{i=0}^{n-1}\varphi_i\theta_i$, $\lambda_i, c_i, \rho_i, \alpha_i > 0$, $\forall i=\overline{0,n-1}$.

Ввівши позначення квазіпохідної ($t^{[1]}\overset{df}{=}r\lambda t_r'$), та помноживши умови спряження (10) та крайові умови (11) на r, відповідно отримаємо еквівалентні до них умови

$$\begin{cases} t_{i+1}^{[1]}(r_{i+1})-t_i^{[1]}(r_{i+1})=0, \\ t_{i+1}(r_{i+1})-t_i(r_{i+1})=\dfrac{1}{r_{i+1}\alpha_{i+1}}t_i^{[1]}(r_{i+1}). \end{cases} \tag{13}$$

$$\begin{cases} t^{[1]}(r_0,\tau)=0, \\ \alpha_n r_n t(r_n,\tau)+t^{[1]}(r_n,\tau)=\alpha_n r_n\psi_n(\tau), \end{cases} \tag{14}$$

IV. Метод редукції

Розв'язок задачі (9)-(12) шукатимемо (див. напр. [6], [7]) у вигляді суми двох невідомих, але взаємозв'язаних функцій

$$t(r,\tau)=u(r,\tau)+v(r,\tau). \tag{15}$$

Одну з них можна вибрати спеціальним чином, тоді інша вже визначатиметься однозначно.

Визначимо, наприклад, функцію $u(r,\tau)$ як розв'язок крайової квазістаціонарної задачі:

$$(r\lambda u')'+q_v=0 \tag{16}$$

$$\begin{cases} u_{i+1}^{[1]}(r_{i+1})-u_i^{[1]}(r_{i+1})=0, \\ u_{i+1}(r_{i+1})-u_i(r_{i+1})=\dfrac{1}{\alpha_{i+1}}u_i^{[1]}(r_{i+1}), \end{cases} \tag{17}$$

$$\begin{cases} u^{[1]}(r_0,\tau)=0, \\ \alpha_n r_n u(r_n,\tau)+u^{[1]}(r_n,\tau)=\alpha_n r_n\psi_n(\tau), \end{cases} \tag{18}$$

де $u^{[1]}\overset{df}{=}\lambda\dfrac{\partial u(r,\tau)}{\partial r}$ а також (у подальшому) $v^{[1]}\overset{df}{=}\lambda\dfrac{\partial v(r,\tau)}{\partial r}$ – квазіпохідні.

Встановлено [4], [6], що на кожному з проміжків задача (16)-(18) має єдиний розв'язок та зображується у вигляді вектор-функції $\mathbf{u}_i(r)$, де першою координатою є шукана функція $u_i(r,\tau)$, а другою – її квазіпохідна

$$\mathbf{u}_i(r)=\mathbf{B}_i(r,r_i)\cdot\mathbf{B}(r_i,r_0)\cdot\mathbf{P}_0-\mathbf{B}_i(r,r_i)\cdot\sum_{k=0}^{i}\mathbf{B}(r_i,r_k)\cdot\mathbf{Z}_k-\int_{r_i}^{r}\mathbf{B}_i(r,s)\cdot\mathbf{R}_i(s)ds \tag{19}$$

де $\mathbf{P}_0$ – початковий вектор, що обчислюється за формулою

$$\mathbf{P}_0=\begin{pmatrix} p_0 \\ p_0^{[1]} \end{pmatrix},$$

$$p_0=\psi(\tau)+$$
$$+\sum_{i=1}^{n}\left[\begin{array}{l} \dfrac{q_{vi-1}}{\lambda_{i-1}}\left[\dfrac{1}{4}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)-\dfrac{r_{i-1}^2}{2}ln\left(\dfrac{r_i}{r_{i-1}}\right)\right]+ \\ +\dfrac{q_{vi-1}}{2}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)\sum\limits_{k=i}^{n}\left(\dfrac{ln\left(\dfrac{r_{k+1}}{r_k}\right)}{\lambda_k}+\dfrac{1}{r_k\alpha_k}\right) \end{array}\right]-$$
$$-\frac{1}{\alpha r_n}\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{q_{vi-1}}{2}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)\right),$$

Аналогічно, як у роботі [6] на основі зображення (15) з формули (9) отримуємо:

$$c\rho\frac{\partial}{\partial\tau}(u+v)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial}{\partial r}(u+v)\right)q_v \Rightarrow$$
$$\Rightarrow c\rho\frac{\partial u}{\partial\tau}+c\rho\frac{\partial v}{\partial\tau}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial u}{\partial r}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial v}{\partial r}\right)q_v.$$

Оскільки в формулі (16) $\dfrac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\dfrac{\partial u}{\partial r}\right)+q_v\equiv 0$, отримуємо неоднорідну мішану задачі для визначення функції $v(r,\tau)$:

$$c\rho\frac{\partial u}{\partial\tau}+c\rho\frac{\partial v}{\partial\tau}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial v}{\partial r}\right), \tag{20}$$

з умовами спряження

$$\begin{cases} v_{i+1}^{[1]}\left(r_{i+1},\tau\right)-v_i^{[1]}\left(r_{i+1},\tau\right)=0, \\ v_{i+1}\left(r_{i+1},\tau\right)-v_i\left(r_{i+1},\tau\right)=\dfrac{1}{r_{i+1}\alpha_{i+1}}v_i^{[1]}\left(r_{i+1},\tau\right), \end{cases} \tag{21}$$

нульовими крайовими умовами

$$\begin{cases} v^{[1]}\left(r_0,\tau\right)=0, \\ \alpha_n r_n v\left(r_n,\tau\right)+v^{[1]}\left(r_n,\tau\right)=0, \end{cases} \tag{22}$$

та початковою умовою (одержаною з формули (12) на основі зображення (15))

$$v\left(r,0\right)=\varphi\left(r\right)-u\left(r,0\right)\equiv f\left(r,0\right). \tag{23}$$

Встановлено, що розв'язок мішаної задачі (20)-(23) записуємо у вигляді ряду [6],[9]:

$$v\left(r,\tau\right)=\sum_{k=1}^{\infty}\left[f_k\cdot e^{-\omega_k\tau}-\int_0^{\tau}e^{-\omega_k\left(\tau-s\right)}u_k\left(s\right)ds\right]\cdot R_k\left(r,\omega_k\right)=\sum_{i=0}^{n-1}v_i\left(r,\tau\right)\cdot\theta_i,$$

де $v_i\left(r,\tau\right)=\sum_{k=1}^{\infty}\left[f_k\cdot e^{-\omega_k\tau}-\int_0^{\tau}e^{-\omega_k\left(\tau-s\right)}u_k\left(s\right)ds\right]\cdot R_{ki}\left(r,\omega_k\right)$, де f_k –коефіцієнти Фур'є розвинення початкової умови, u_k - коефіцієнти Фур'є розвинення функції $\dfrac{\partial u\left(r,\tau\right)}{\partial\tau}$, ω_k - власні значення, $R_k\left(r,\omega_k\right)$ - власні функції.

V. Граничний перехід при $r_0\to 0$ та зображення розв'язку вихідної задачі

На основі методу редукції розв'язок вихідної задачі зображується у вигляді

$$T\left(r,\tau\right)=\lim_{r_0\to 0}\left(u\left(r,\tau\right)+v\left(r,\tau\right)\right).$$

Перед реалізацією граничного переходу при $r_0\to 0$ слід виокремити ті складові у відповідних сумах (рядах), де фігурує змінна r_0.

Так, початковий вектор $\mathbf{P}_0$ запишемо у вигляд

$$\mathbf{P}_0=\begin{pmatrix} \psi\left(\tau\right)+\dfrac{q_{v0}}{\lambda_0}\left[\dfrac{1}{4}\left(r_1^2-r_0^2\right)-\dfrac{r_0^2}{2}ln\left(\dfrac{r_1}{r_0}\right)\right]+ \\ +\dfrac{q_{v0}}{2}\left(r_1^2-r_0^2\right)\sum_{k=1}^{n}\left(\dfrac{ln\left(\dfrac{r_{k+1}}{r_k}\right)}{\lambda_k}+\dfrac{1}{r_k\alpha_k}\right)+ \\ +\sum_{i=2}^{n}\left[\begin{array}{l}\dfrac{q_{vi-1}}{\lambda_{i-1}}\left[\dfrac{1}{4}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)-\dfrac{r_{i-1}^2}{2}ln\left(\dfrac{r_i}{r_{i-1}}\right)\right]+ \\ +\dfrac{q_{vi-1}}{2}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)\sum_{k=i}^{n}\left(\dfrac{ln\left(\dfrac{r_{k+1}}{r_k}\right)}{\lambda_k}+\dfrac{1}{r_k\alpha_k}\right)\end{array}\right]- \\ -\dfrac{1}{\alpha r_n}\left(\dfrac{q_{v0}}{2}\left(r_1^2-r_0^2\right)+\sum_{i=2}^{n}\dfrac{q_{vi-1}}{2}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)\right), \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$\lim_{r_0\to 0}\mathbf{P}_0=\begin{pmatrix} \alpha r_n\dfrac{q_{v0}}{\lambda_0}\left[\dfrac{1}{4}r_1^2\right]+\alpha r_n\dfrac{q_{v0}}{2}r_1^2\sum_{k=1}^{n}\dfrac{ln\left(\dfrac{r_{k+1}}{r_k}\right)}{\lambda_k}+ \\ +\alpha r_n\sum_{i=2}^{n}\left[\begin{array}{l}\dfrac{q_{vi-1}}{\lambda_{i-1}}\left[\dfrac{1}{4}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)-\dfrac{r_{i-1}^2}{2}ln\left(\dfrac{r_i}{r_{i-1}}\right)\right]+ \\ +\dfrac{q_{vi-1}}{2}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)\sum_{k=i}^{n}\dfrac{ln\left(\dfrac{r_{k+1}}{r_k}\right)}{\lambda_k}\end{array}\right]- \\ -\alpha r_n\psi\left(\tau\right)-\left(\dfrac{q_{v0}}{2}r_1^2+\sum_{i=2}^{n}\dfrac{q_{vi-1}}{2}\left(r_i^2-r_{i-1}^2\right)\right) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Зауваження! Оскільки (див напр.[10]) $J_1\left(\beta_0 r_0\right)=\dfrac{\beta_0 r_0}{2}+...,$

$$Y_1\left(\beta_0 r_0\right)=\frac{2}{\pi}J_1\left(\beta_0 r_0\right)\left(ln\frac{\beta_0 r_0}{2}+const\right)-\frac{2}{\pi\beta_0 r_0}-$$
$$-\frac{1}{\pi}\sum_{m=0}^{\infty}\left[\frac{\left(-1\right)^m\dfrac{\beta_0 r_0}{2}}{m!\left(m+1\right)!}\left(\sum_{k=1}^{m+1}\frac{1}{k}+\sum_{k=1}^{m}\frac{1}{k}\right)\right],$$

то

$$\lim_{r_0\to 0} r_0\left(J_1(\beta_0,r_0)Y_0(\beta_0,r_1)-J_0(\beta_0,r_1)Y_1(\beta_0,r_0)\right)=\frac{2J_0(\beta_0,r_1)}{\pi\beta_0},$$
$$\lim_{r_0\to 0} r_0\left(J_1(\beta_0,r_1)Y_1(\beta_0,r_0)-J_1(\beta_0,r_0)Y_1(\beta_0,r_1)\right)=-\frac{2J_1(\beta_0,r_1)}{\pi\beta_0}. \quad (24)$$

Позначивши

$$B(r_n,r_1,\omega)=B_{n-1}(r_n,r_{n-1},\omega)\cdot B_{n-2}(r_{n-1},r_{n-2},\omega)\cdot\ldots\cdot B_1(r_2,r_1,\omega)=$$
$$=\begin{pmatrix}c_{11} & c_{12}\\ c_{21} & c_{22}\end{pmatrix},$$

відповідне характеристичне рівняння можна записати наступним чином [10]:

$$\left(\alpha r_n c_{11}+c_{21}\right)\frac{\pi\beta_0 r_0\left(J_1(\beta_0,r_0)Y_0(\beta_0,r_1)-J_0(\beta_0,r_1)Y_1(\beta_0,r_0)\right)}{2}+$$
$$+\left(\alpha r_n c_{12}+c_{22}\right)\frac{\pi\lambda_0\beta_0^2 r_1 r_0\left(J_1(\beta_0,r_1)Y_1(\beta_0,r_0)-J_1(\beta_0,r_0)Y_1(\beta_0,r_1)\right)}{2}=0,$$

а на основі (24) отримуємо характеристичне рівняння після граничного переходу:

$$\lim_{r_0\to 0}\Delta(r_0)=\left(\alpha r_n c_{11}+c_{21}\right)J_0(\beta_0,r_1)-$$
$$-\left(\alpha r_n c_{12}+c_{22}\right)\lambda_0\beta_0 r_1 J_1(\beta_0,r_1)=0.$$

Відповідні власні вектори після граничного переходу зобразяться так:

$$\mathbf{R}_{k0}(r,\omega_k)=\tilde{B}_0(r,0,\omega)\cdot(1,\ 0)^T=$$
$$=\left(J_0(\beta_0\cdot r),\ -\lambda_0\beta_0 r J_0(\beta_0\cdot r)\right)^T,$$
$$\mathbf{R}_{k0}(0,\omega_k)=(1,\ 0)^T.$$
$$\mathbf{R}_{ki}(r,\omega_k)=\tilde{B}_{i-1}(r,r_{i-1},\omega)\cdot\tilde{B}(r_{i-1},r_1,\omega)\cdot\left(J_0(\beta_0\cdot r_1),\ -\lambda_0\beta_0 r_1 J_0(\beta_0\cdot r_1)\right)^T.$$

На основі вище наведених формул можна зробити висновок, що функція $T(r,\tau)$ є обмеженою у всій конструкції та немає особливостей в точці $r=0$.

VI. Модельний приклад

У якості модельного числового прикладу розглянемо систему чотиришарову суцільну циліндричну конструкцію, для якої необхідно знайти розподіл нестаціонарного температурного поля, якщо температура навколишнього середовища змінюється за законом $\psi(\tau)=345\,lg\left(\frac{8\tau}{60}+1\right)+20$ [11], коефіцієнт теплообміну між поверхнею та середовищем $\alpha=25$. В початковий момент часу конструкція має температуру 20 ^{0}C. Теплотехнічні характеристики матеріалів, з яких виготовлені кулі, та вихідні дані для розрахунку, наведено у таблиці 1.

TABLE II. Теплотехнічні характеристики матеріалів

№ шару	Параметр					
	Радіус, м	*Коеф. теплопров.*	*Питома теплоємність*	*Густина*	*Джерело тепла*	*Коеф. теплооб.*
1	0-0,05	0,93	837	2000	25000	80
2	0,05-0,08	209	894	2680	0	20
3	0,08-0,15	64	389	8000	0	130
4	0,15-0,25	34,6	130	11400	35000	

Використавши запропонований метод розрахунку розподілу нестаціонарного температурного поля у системі багатошарових сферичних куль та програмне забезпечення Maple 13, отримуємо розв'язок поставленої задачі у рис 1. Слід зауважити, що для одержання результату із заданою точністю при обчислені було використано перших 50 коренів характеристичного рівняння.

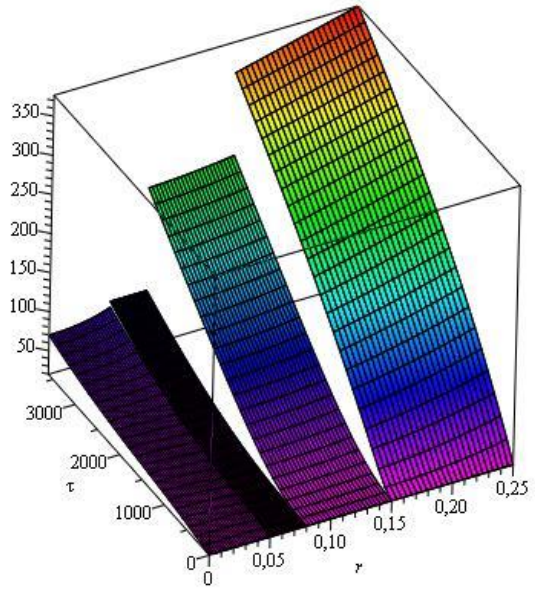


Рис 1. Розподіл нестаціонарного температурного поля у чотиришаровій циліндричній конструкції

Слід зауважити що поставлена задача є модельною, метою якої є ілюстрація можливостей запропонованого методу.

Література References

[1] Кусковець С. Л., Половко А. П., Борис О. П., Величко Л. Д. Розподіл температурного поля в двохшаровій плоскій конструкції при умові неідеального теплового контакту міжшарами та наявності граничних умов третього типу. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2011. №54. С. 143-150.

[2] Гера Б. В. Математичне моделювання умов неідеального теплового контакту шарів через тонке включення з джерелами тепла. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2013. №18. С. 61-72. http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/9361.

[3] Окрепкий Б. С., Неміш В. М. Осесиметрична температурна задача для системи двох контактуючих шарів з урахуванням неідеального теплового контакту. *Міжвузівський збірник Наукові нотатки*. 2014. №47. С. 131-136.

[4] Таций Р. М., Стасюк М. Ф., Пазен О. Ю. Расчет нестационарного температурного поля в многослойной плите при условиях неидеального теплового контакта между слоями. *Вестник Кокшетауского технического института КТИКЧСМВД Республики Казахстан.* 2019. № 2(34). С.40-49.

[5] Tatsiy R. M., Pazen O. Yu. Rasčet stacionarnogo temperaturnogo polâ v mnogoslojnoj plite s učetom vnutrennih istočnikov tepla pri usloviâh neideal′nogo teplovogo kontakta meždu sloâmi. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza.* CNOBP-PIB, BiTP. 2015. № 40. P. 51-59. DOI:10.12845/bitp.40.4.2015.4.

[6] Pazen, O.Yu., & Tatsii, R.M. (2017). Direct (classical) method of calculation of the temperature field in a hollow multilayer cylinder. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 91,* 1373-1384. https://doi.org/10.1007/s10891-018-1871-3.

[7] Тацій Р. М., Стасюк М. Ф., Пазен О. Ю., Власій О. О. Застосування диференціальних рівнянь з імпульсною дією до розв'язування крайових задач теплопровідності. *Тези доповідей IV Всеукраїнської математичної конференції ім. Б.В. Василишина «Нелінійні проблеми аналізу».* Івано-Франківськ. 26-28 вересня 2018. С.58-60.

[8] Самойленко А. М., Перестюк Н. А. Дифференциальные уравнения с импульсным воздействием. К. : Вища школа, 1987. 288 с.

[9] Pazen O. Yu., Tatsii R. M. General boundary-value problems for the heat conduction equation with piecewise-continuous coefficients. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. vol. 89, no. 2. pp. 357-368. DOI:https://doi.org/10.1007/s10891-016-1386-8.

[10] Тацій Р.М. Пазен О.Ю., Шипот Л.С. Визначення нестаціонарного температурного поля в системі двох циліндричних тіл за умов пожежі. *Збірник наукових праць Пожежна безпека.* Львів. № 34. 2019. С. 84-90. DOI: 10.32447/20786662.34.2019.14

[11] EN 1991-1-2 (2002) (English): Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. DOI:https://doi.org/10.1002/9783433601570.ch1.

Просторове Моделювання Поширення Covid-19 в Україні та Європі з Використанням Поняття «Центру Тяжіння»

Олена Яворська
кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
olena.yavorska.pm.2017@lpnu.ua

Ростислав Бунь
кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
кафедра транспорту та інформатики
WSB університет, Домброва Гурніча, Польща
rostyslav.a.bun@lpnu.ua

Spatial Modeling of Covid-19 Spreading in Ukraine and Europe Using "Center of Gravity" Concept

Olena Yavorska
dept. of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
olena.yavorska.pm.2017@lpnu.ua

Rostyslav Bun
dept. of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
dept. of Transport and Computer Science
WSB University, Dąbrowa Górnicza, Poland
rostyslav.a.bun@lpnu.ua

***Анотація*—Представлено підхід до просторового моделювання та аналізу процесу поширення COVID-19 з використанням поняття «центр тяжіння». Наведено результати аналізу траєкторії переміщення цього центру тяжіння для країн Європи та областей України, як приклад аналізу на національному рівні, стосовно нових виявлених випадків захворювання та стосовно летальних випадків. Проаналізовано затримки між хвилями захворюваності та летальних випадків.**

***Abstract*—An approach to spatial modeling and analysis of the COVID-19 spreading process using concept of "center of gravity" is presented. The results of the analysis of trajectory of this center of gravity for European countries and regions of Ukraine as an example of analysis at the national level are presented, regarding new cases and deaths. Delays between waves of new cases and deaths for many countries have been analyzed.**

Ключові слова—просторове моделювання; поширення COVID-19; центр тяжіння; геоінформаційний підхід

Keywords—spatial modeling; COVID-19 spreading; center of gravity; geoinformation approach

I. Вступ

Пандемія, викликана COVID-19, зачепила усі країни і перетворилася у справжній виклик людству [1]. Щоденні дані про нові випадки, а що дуже прикро фатальні випадки для усіх країн та регіонів [2], вражають своєю жорстокістю і спонукають вчених до інтенсивного аналізу усіх аспектів цієї глобальної проблеми. Зокрема, значні зусилля прикладаються до аналізу поширення хвороби, а також короткострокового прогнозування наслідків запровадження різноманітних обмежувальних заходів як на національному, так і на регіональному рівнях.

Спричинена COVID-19 пандемія мала вплив на всі сфери життя суспільства, зокрема на економіку та на довкілля, тому дослідження цих впливів – це ще один виклик для вчених. Адже спад господарської активності привів економіки багатьох країн до рівня рецесії, якого не спостерігалося з часів Другої світової війни. З іншого боку, це привело до покращення якості повітря у багатьох регіонах планети, чому сприяло зменшення промислового виробництва та зниження мобільності населення. Крім того, людство уже прожило цілий 2020 рік в умовах пандемії, тому нагромаджені статистичні дані дають можливість порівнювати його результати з попередніми непандемічними роками в усіх сферах життєдіяльності.

Зокрема, у роботі [3] досліджено вплив COVID-19 та локдаунів на економіку та довкілля, використовуючи щоденні дані супутникового моніторингу Землі, включаючи денні та нічні смуги (National Oceanic and Atmospheric Administration Suomi-NPP), вимірювання NO2

з TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), а також усереднені місячні дані стільникового зв'язку як індикатора мобільності населення. Місячні композити денних та нічних смуг супутникового моніторингу з використанням Suomi National Polar-orbiting (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) задемонстрували зниження інтенсивності освітлення у ряді регіонів планети, що було наслідком локдаунів та інших урядових обмежень під час пандемії COVID-19 [4]. У роботі [5] проаналізовано емісії діоксиду вуглецю від виробництва електроенергії під час локдаунів, у [6] – ефект зменшення емісії CO_2 протягом заходів вимушеної ізоляції, спричинених пандемією. Можна також відзначити аналіз впливу пандемії на денні [7] та місячні [8] як глобальні [9], так і регіональні (зокрема в Китаї [10]) емісії CO_2 від використання викопного палива.

Метою наших досліджень було застосування поняття «центру тяжіння» до просторове моделювання та аналізу поширення COVID-19 в Україні та загалом у Європі на основі даних про нові випадки захворювання та летальні випадки.

II. Модель на основі «центру тяжіння»

Загалом, центром тяжіння механічної системи є точка, відносно якої сумарний момент сил тяжіння, які діють на систему, дорівнює нулю [11]. В однорідному полі гравітації центр тяжіння завжди співпадає з центром мас. У задачах, які не є пов'язані з астрономією, гравітаційне поле зазвичай вважається постійним у межах аналізованого об'єкта, тому на практиці центр тяжіння та центр маси співпадають. Така ж ситуація має місце, коли ці поняття за аналогією використовують в інших галузях, де немає реального гравітаційного поля і немає сенсу говорити про його однорідність [12]. У такому сенсі ці два терміни є синонімами. Саме у такому сенсі ми використали поняття центру тяжіння у поточному дослідженні для моделювання поширення COVID-19.

Можна відзначити декілька досліджень, у яких поняття центру тяжіння використано для аналізу різноманітних процесів. Наприклад, аналіз міжнародної економічної діяльності Китаю OBOR (One Belt One Road) та глобального економічного центру тяжіння [13], аналіз фінансових ринків та політичного центру тяжіння [14], оцінювання «гравітаційних» моделей у міжнародній торгівлі [15], використання гравітаційних моделей для аналізу глобальних процесів відмивання грошей на основі торгівлі [16, 17] та аналіз мінливості локалізації центрів тяжіння чотирьох основних глобальних показників (валовий внутрішній продукт, емісії вуглекислого газу, загальне населення та населення урбанізованих територій) для пояснення моделі економічного зростання та її стійкості до різноманітних викликів, пов'язаних з глобалізацією [18]. Цікавими є використання поняття центру тяжіння для аналізу забруднення повітря та емісії діоксиду вуглецю від використання викопного палива в окремих регіонах Китаю [19], аналіз глобальних емісій діоксиду вуглецю при виробництві енергії [20] та дослідження сезонної мінливості емісій CO_2 від використання викопного палива у США на основі високої роздільної здатності даних Vulcan v.3.0 [21]. Автори [22] використали поняття центру тяжіння для аналізу поширення COVID-19 на глобальному рівні, причому цей їхній підхід базується на попередній роботі [23]. Об'єктом нашого дослідження є процеси поширення COVID-19 у країнах Європи та областях України, як частковий випадок.

У цій роботі для визначення географічних координат центру тяжіння для певного аналізованого параметру (нових випадків захворювання чи летальних випадків) для множини географічних об'єктів (країн чи регіонів) використано векторну залежність

$$\vec{r}_{c,i} = \frac{\sum_{n=1}^{N} p_{n,i} \cdot \vec{r}_n}{\sum_{n=1}^{N} p_{n,i}}, \quad i = 1,2,\ldots, \qquad (1)$$

де $\vec{r}_{c,i}$ – радіус-вектор від початку координат до шуканої точки центру тяжіння за i-й тиждень (власне координати цієї точки використано для побудови траєкторії переміщення центру тяжіння), $p_{n,i}$ – значення аналізованого параметру (нових випадків захворювання чи смертності) за i-й тиждень для n-го географічного об'єкта, $\vec{r}_n$ – радіус-вектор від початку координат до центру тяжіння n-го географічного об'єкта, i – номер тижня охопленого дослідженням, починаючи від 22.03.2020, $n = \overline{1,N}$ – номер країни чи регіону, охопленого аналізом, N – їх загальне число. Тут використано припущення, що центр тяжіння для аналізованого параметра для окремо взятого географічного об'єкта співпадає з центроїдом полігону, що відповідає межі цього об'єкта (країни чи регіону). На практиці це рівноцінно припущенню, що аналізований параметр (число нових випадків захворювання чи смертей) рівномірно розподілений у межах країни/регіону.

III. Результати: просторовий аналіз поширення

У Європі дослідженням було охоплено 44 країни. Офіційні дані про кількість виявлених нових випадків захворювання та летальних випадків для країн Європи та областей України взято з [2]. Для усунення випадкових стрибків у даних, їх агреговано до щотижневих значень і сформовано відповідну базу геопросторових даних. Державні кордони країн у вигляді полігонів векторної карти завантажено з [24]. У дослідженні не взято до уваги віддалені морські території (острови в океані) ряду країн, зокрема Іспанії, Португалії та Норвегії. Ці території є мало заселені і не впливали на загальну картину поширення захворювання. У Російській Федерації взято до уваги тільки її європейську частину, а статистичні дані для цієї частини обчислено пропорційно населенню, яке там проживає (55%).

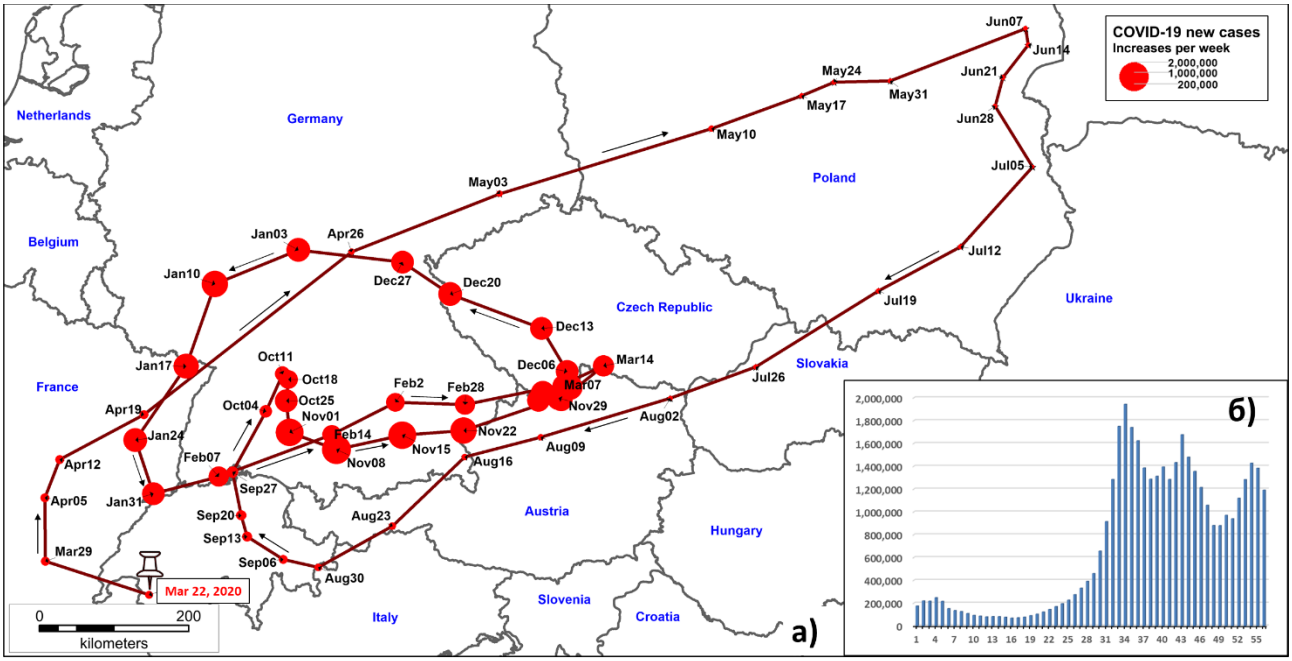


Рис. 2. Траєкторія переміщення центру тяжіння для щотижневих нових випадків захворювання на COVID-9 для країн Європи: динаміка поширення (а), починаючи з 22.03.2020; піки захворюваності (б) (по осі абсцис – номери тижнів, починаючи з 22.03.2020, по осі ординат – сумарне число виявлених нових випадків у країнах Європи).

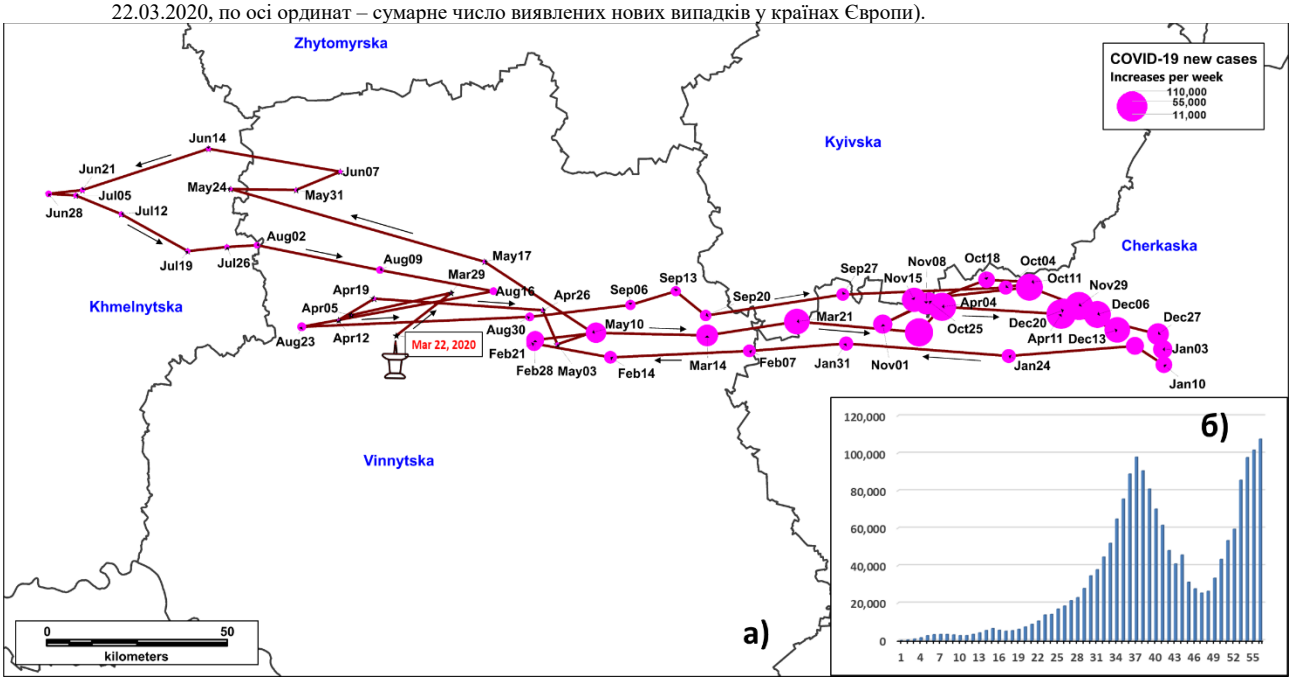


Рис. 3. Переміщення центру тяжіння для щотижневих нових випадків захворювання на COVID-9 в областях України: траєкторія центру тяжіння (а), починаючи з 22.03.2020, та піки захворюваності (б) (по осі абсцис – номери тижнів, починаючи з 22.03.2020, по осі ординат – число виявлених нових випадків).

Використовуючи залежність (1) та описані вище припущення обчислено географічні координати центрів тяжіння як для нових зареєстрованих випадків захворювання на COVID-19, так і для числа летальних випадків на основі щотижневих даних для країн Європи. Як приклад, на рис. 1 показано траєкторію переміщення центру тяжіння для щотижневих нових випадків захворювання для країн Європи. Діаметри кругів, що відображають центри тяжіння, є пропорційні сумарному за тиждень числу нових випадків у 44 країнах Європи. На рисунку добре видно так звані хвилі захворюваності та відповідні їм піки. Південно-західний початок траєкторії пояснюється високою захворюваністю у цей період в Італії та Іспанії. Пізніше крива пішла вверх, на що вплинула ситуація у Великобританії. Далі інтенсивність захворювання у цих країнах зменшилася, проте відчутну роль почала відігравати ситуація в Російській Федерації і, відповідно, траєкторія центру тяжіння рухалася в північно-східному

напрямку. Проте, доволі швидко (більша густота точок на траєкторії) центр тяжіння повернувся до території Швейцарії та південної Німеччини, адже в Європі розпочалася нечувано висока хвиля захворюваності.

Досліджено також переміщення аналогічних центрів тяжіння для областей України, зокрема стосовно нових випадків захворювання на COVID-19 (рис. 2), а також летальних випадків. Із-за відсутності відповідних даних не враховано ситуацію в Автономній республіці Крим та непідконтрольних територіях Луганської та Донецької областей. Наведена на рис. 2 траєкторія добре ілюструє переважання західних чи східних регіонів України у певні періоди пандемії. Причому, західні регіони переважали під час порівняно невеликих перших двох хвиль, а східні регіони – під час катастрофічно високих хвиль, коли число нових випадків за тиждень становило понад 100 тис. Локалізація початку траєкторії визначається великим числом захворювань у Чернівецькій області на початковому етапі пандемії. Далі центр тяжіння перемістився ще західніше, а починаючи з червня 2020 року почав стрімкий рух у східному напрямку. Амплітуда траєкторії у горизонтальному напрямку склала понад 300 км, а у вертикальному напрямку – була незначною.

IV. Висновки

Отримані результати наочно ілюструють використання поняття центру тяжіння для просторового аналізу процесів поширення захворювань на COVID-19, зокрема зареєстрованих нових випадків, а також летальних випадків. Ці результати показують, які країни чи регіони є найбільш впливовими на переміщення загально-європейського чи національного центрів тяжіння для відповідного параметру.

Апроксимація даних про нові випадки захворювання та летальні випадки дала можливість визначити затримку між піками цих двох параметрів. Зокрема, у Європі під час другої хвилі пандемії спостерігався найвищий пік нових випадків захворювання (1 943 538 випадків протягом тижня, який закінчився 8 листопада 2020 року). За ним із затримкою 3,3 тижня (приблизно 23 дні) мав місце пік смертності (33 233 випадки). Натомість найвищу смертність Європа пережила під час третьої хвилі пандемії (36 780 випадків протягом тижня, який закінчився 24 січня 2021 року), хоча йому передував дещо менший пік нових випадків, ніж під час другої хвилі. Затримка між піками нових випадків та смертності становила тільки 1,9 тижня (13 днів).

Результати аналізу також показали, з якою затримкою проходили країни піки нових захворювань та піки смертності у відношенні до Італії, яка першою пройшла першу хвилю пандемії. Загалом, дані по окремих країнах сильно відрізняються і демонструють наскільки підготовленими виявилися країни до пандемії.

Література References

[1] Worldometer (2021): “COVID-19 coronavirus pandemic” [Online]. Available: https://www.worldometers.info/coronavirus/

[2] Azure Open Datasets Catalog (2021): “COVID-19 Data Lake” [Online]. Available: https://azure.microsoft.com/en-us/services/open-datasets/catalog/covid-19-data-lake/

[3] W. Straka, S. Kondragunta, Z. Wei, H. Zhang, S. D. Miller, A. Watts, “Examining the economic and environmental impacts of COVID-19 using Earth observation data”, *Remote Sensing*, vol. 13(1), no. 5. 2021.

[4] T. Ghosh, C. D. Elvidge, F.-C. Hsu, M. Zhizhin, M. Bazilian, “The dimming of lights in India during the COVID-19 pandemic. *Remote Sensing*, vol. 12, no. 3289. 2020.

[5] Y. Yusup, et al., “Atmospheric carbon dioxide and electricity production due to lockdown”, *Sustainability*, vol. 12(22), no. 9397. 2020.

[6] C. Le Quéré, et al., “Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement”, *Nat Clim Chang*, vol. 10, pp. 647-653. 2020.

[7] Z. Liu, et al., “Near-real-time monitoring of global CO2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic”, *Nat Commun*, vol. 11, no. 5172. 2020.

[8] N. Zeng, et al., “Global to local impacts on atmospheric CO_2 caused by COVID-19 lockdown”, arXiv:2010.13025. 2020

[9] Y. Wang, et al., “Transportation CO_2 emissions stayed high despite recurrent COVID outbreaks”, arXiv:2101.06450. 2021.

[10] P. Han, et al., “Assessing the recent impact of COVID-19 on carbon emissions from China using domestic economic data”. *Sci Total Environ*, vol. 750, no. 141688. 2021.

[11] I. Asimov, Understanding Physics. Buccaneer Books, New York, 1988.

[12] M. Levi, The Mathematical Mechanic: Using Physical Reasoning to Solve Problems. Princeton University Press, 2012.

[13] U. M. Chohan, “The political economy of OBOR and the global economic center of gravity”, in *The Belt and Road Initiative*, J. Chaisse, J. Górski, eds. Brill&Nijhoff, 2018.

[14] M. J. Roe and T. G. Coan, “Financial markets and the political center of gravity”, *J of Law, Finance & Accoun*, vol. 2, no. 1, pp. 125-171. 2017.

[15] B. H. Baltagi, P. H. Egger and K. Erhardt, “The estimation of gravity models in international trade”, in *The Econometrics of Multi-Dimensional Panels: Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics*, vol. 50, pp. 323-348. Springer, 2017.

[16] J. Ferwerda, M. Kattenberg, H.-H. Chang, B. Unger, L. Groot, J. A. Bikker, “Gravity models of trade-based money laundering”, *Appl Econom*, vol. 45, no. 22, pp. 3170-3182. 2013.

[17] J. Walker and B. Unger, “Measuring global money laundering: The Walker gravity model”, *Rev of Law and Econom*, vol. 5, no. 2, pp. 821-853. 2019.

[18] J. Balsa-Barreiro, Y. Li, A. Morales and A. Pentland, “Globalization and the shifting centers of gravity of world's human dynamics: Implications for sustainability”, *J Clean Prod*, 2019, vol. 239, no. 117923. 2019.

[19] H. Li, Y. Song and M. Zhang, “Study on the gravity center evolution of air pollution in Yangtze River Delta of China”, *Nat Hazards*, vol. 90, pp. 1447-1459. 2018.

[20] Y. Song and M. Zhang, “Study on the gravity movement and decoupling state of global energy-related CO_2 emissions”, *J Environ Manage*, vol. 245, pp. 302-310. 2019.

[21] K. R. Gurney, J. Liang, R. Patarasuk, Y. Song, J. Huang and G. Roest, “The Vulcan version 3.0 high-resolution fossil fuel CO_2 emissions for the United States”, *JGR Atmosph*, vol. 125, no. 19, e2020JD032974. 2020.

[22] J.-M. Grether and N. A. Mathys, “The Coronavirus center of gravity (CCG)” [Online]. 2021. Available: https://ferdi.fr/en/publications/the-coronavirus-center-of-gravity-ccg

[23] J.-M. Grether, C. Lutzelschwab and N. A. Mathys, “L’essor et le déclin de l’Occident: une perspective géographique”, *Revie D’Économie du Développement*, vol. 20, no. 2, pp. 31-56. 2012.

[24] DIVA-GIS (2021): “Free Spatial Data” [Online]. Available: http://www.diva-gis.org/gdata

Підхід до вирішення завдання розрахунку та візуалізації зон затоплення територій засобами ГІС

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

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

Терещенко Тетяна Михайлівна
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
ORCID 0000-0001-7691-6996
tereshchenko.odessa @gmail.com

An Approach to Solving the Problem of Detection and Visualization of Flood Prone Areas by GIS

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

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

Tetiana Tereshchenko
Department of Information Technology
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
tereshchenko.odessa @gmail.com

***Анотація*—В роботі запропоновано підхід до вирішення завдання розрахунку та візуалізації зон затоплення територій засобами ГІС. Даний підхід заснований на рекурсивному алгоритмі заливки, який широко використовується в графічних редакторах для заливки кольором обмежених областей зображення. Створено скриптовий інструмент геообробки для середовища ESRI ArcGIS 10.7. на мові програмування Python. Інструмент дозволяє розрахувати наближені зони затоплення за вказаною висотою та координатами точки-джерела повені, але завдяки своїй простоті і швидкодії може бути корисним для первинної оцінки можливих ризиків повені.**

Abstract— The paper proposes an approach to solving the problem of calculation and visualization of flood prone areas by GIS. This approach is based on a recursive flood fill algorithm, which is widely used in graphic editors to fill color limited areas of the image. A geoprocessing scripting tool has been created for the ESRI ArcGIS 10.7 environment in the Python programming language. The tool allows you to calculate the approximate areas of flooding at the specified height and coordinates of the source point of the flood, but due to its simplicity and speed can be useful for the initial assessment of possible flood risks.

Ключові слова: геоінформаційна система, алгоритм заливки, растрова графіка, цифрова модель рельєфу, скрипт, ArcGIS, Python

Keywords: geographic information system, flood fill algorithm, raster graphics, digital elevation models, script., ArcGIS, Python

I. Вступ

Водні ресурси і водогосподарський комплекс визначають соціально-економічну стійкість і напрям розвитку країни. Від водогосподарської та екологічної безпеки, стану водних об'єктів і водних ресурсів, достовірності прогнозування надзвичайних водогосподарських ситуацій, їх своєчасного запобігання та мінімізації наслідків залежить національна безпека держави.

На території України розташована велика кількість водних об'єктів і для автоматизації вирішення низки завдань з управління водними ресурсами необхідно використовувати можливості ГІС-аналізу та просторового моделювання. Геоінформаційні системи (ГІС) загального призначення мають широкий набір інструментів геообробки просторової інформації [1,2]. Але для виконання окремих вузькоспеціалізованих завдань аналізу

(наприклад, гідрологічного), іноді є необхідним створення власних інструментів, які можуть бути виконані в середовищі ГІС [3].

Метою даної роботи є розробка ГІС-орієнтованого програмного забезпечення (скриптового інструменту геообробки) для розрахунку та візуалізації зон затоплення територій за вказаною висотою та координатами точки-джерела повені.

Завданням розрахунку зон затоплення на деякій ділянці поверхні будемо називати задачу знаходження безлічі регіонів, в яких будуть утворюватися скупчення води для певної висоти повені.

В якості вхідних даних для просторового моделювання будемо використовувати файли ЦМР (DEM) – цифрові моделі рельєфу формату STRM.

SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) – глобальна радіолокаційна багаторазова топографічна зйомка, яка проведена для більшої частини території земної кулі. Основна база даних SRTM знімків за різні роки перебуває у вільному доступі на американському сервері usgs.gov у вигляді растрових файлів, представлених як квадратні області розміром 1×1◦ з просторовою роздільною здатністю 1 арксекунди (~ 30 м) або 3 арксекунди (~ 90 м). Цієї точності достатньо для оціночних досліджень в масштабі області або адміністративного району.

II. ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ

Побудова складних моделей гідрологічних паводків це дуже важке та трудомістке завдання, яке виконуються із залученням висококваліфікованих фахівців-гідрологів. Ці моделі необхідні при створенні складних систем контролю паводків. Проте, більш прости моделі можуть допомогти швидко оцінити вплив повені, що насувається, для виконання перших заходів та попередження потенційних жертв.

Щоб спрогнозувати вплив повені на території, що досліджується, можна використовувати простий і зрозумілий інструмент, заснований на графічному алгоритмі заливки. який може успішно застосовуватися для цифрової моделі рельєфу в ГІС. Робота алгоритму починається з однієї точки і заповнює область максимальним об'ємом води, який може утримувати басейн на конкретній стадії повені. Зазвичай цей аналіз є найгіршим сценарієм. Сотні інших факторів впливають на підрахунок того, скільки води потрапить в басейн після паводку, таких як поглинання грунтів, наявність ґрунтових вод, температура повітря та ін. Однак, на практиці при проектуванні геооб'єктів досить і наближеного рішення, яке може бути отримано за допомогою розглянутої моделі.

На рис.1 представлена ЦМР з точкою джерела, що відображається у вигляді жовтої зірки. У реальному аналізі ця точка буде покажчиком потоку, де існують дані про рівень води в річці.

Є багато способів реалізувати алгоритм заливки. Один з найбільш поширених способів – це рекурсивне сканування кожного пікселя зображення. Проблема з рекурсією полягає в тому, що треба обробляти пікселі більш ніж один раз, що створює непотрібний обсяг роботи. Використання ресурсів для рекурсивної заливки може легко привести до збою програми навіть на зображенні середнього розміру.

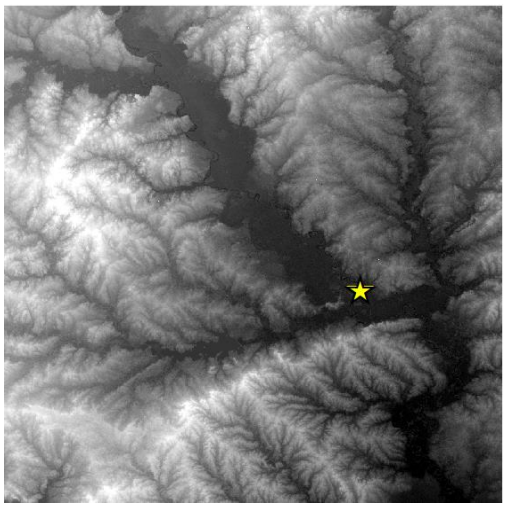


Рис 1. Цифрова модель рельєфу з відміченим покажчиком потоку

В скрипті, що розроблюється, використовується заливка, що заснована на чотирьох спрямованій черзі, яка може проходити комірку більш ніж один раз, але гарантує, її обробку тільки один раз. Черга містить тільки унікальні необроблені комірки, використовуючи вбудований в Python тип set (множина), який містить тільки унікальні значення [4]. Використовується дві множини: fill, що складається з комірок, які потрібно залити, і filled, що містить оброблені комірки.

У скрипті на першому етапі треба витягнути інформацію з заголовка ASCII DEM і представити ЦМР у вигляді числового масиву висот. Заголовок ASCII містить наступну інформацію: кількість стовпчиків і рядків в растрі; координата лівого нижнього кута лівої нижньої комірки; розмір комірки растру та ін. Для створення файлу ASCII в ArcGIS може бути використана функція бібліотеки ArcPy – arcpy.RasterToASCII_conversion() [5].

Алгоритм стартує із заданої комірки і починає перевірку сусідніх комірок на схожість (подібність). Фактором подібності є висота. Якщо сусідня комірка має ту же або меншу висоту, що і поточна комірка, то ця комірка позначається для перевірки її сусіда, поки не буде перевірена вся регулярна сітка (grid). При проході через кожну комірку виконується перевірка її сусідів на півночі, півдні, сході і заході. Будь-яка з цих комірок, яка може бути залита, додається у множину filled, а її сусіди додаються у множину fill, яке перевіряється алгоритмом. Алгоритм, за яким працює функція заливки floodFill(), представлено на рис.2.

Після роботи скрипта створюється файл ASCII, в якому комірки растру, що будуть затоплені мають значення 1, а інші – 0. Приклад класифікованої карти зон затоплення для висот повені 70 та 90 м наведено на рис. 3.

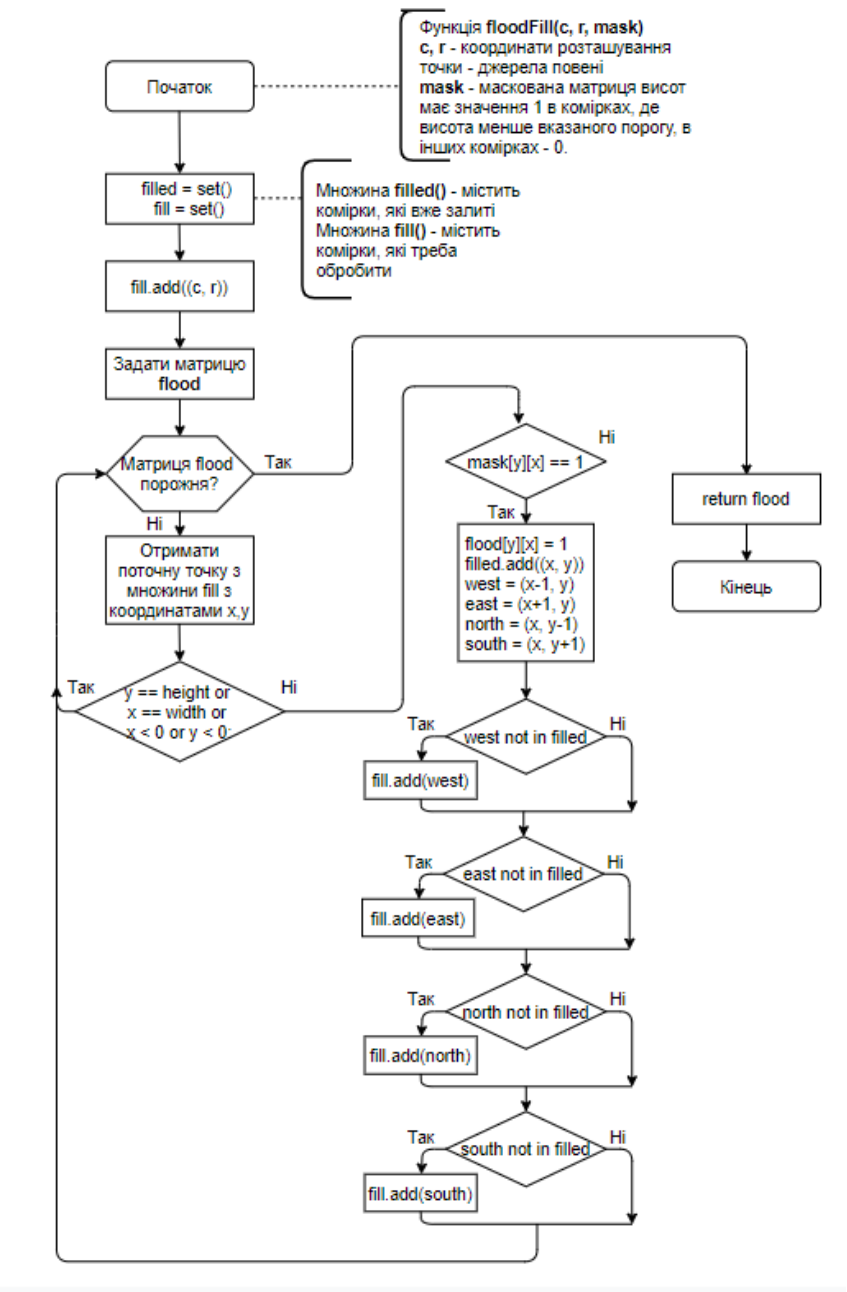


Рис 2. Блок-схема алгоритму заливки

III. ВИСНОВКИ

В роботі створено скриптовий інструмент геообробки для середовища ESRI ArcGIS 10.7. для розрахунку зон затоплення за вказаною висотою та координатами точки-джерела повені на основі алгоритму заливки.

В якості вхідних даних для просторового моделювання були використані файли DEM – цифрові моделі рельєфу формату STRM. Для обробки растрів застосовувалися бібліотеки ArcPy, NumPy, GDAL. Скрипт розрахунку зон затоплення є автономним і може бути виконаний в любому іншому ГІС-пакеті, який підтримує Python, наприклад в QGIS.

Хоча запропонований алгоритм може розрахувати лише наближені зони затоплення (гірший варіант), подібний інструмент може бути корисним для первісної оцінки можливих ризиків повені.

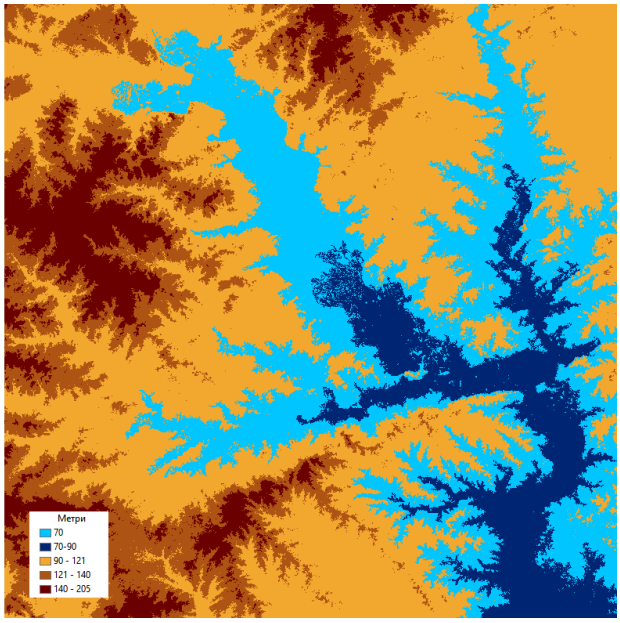


Рис 3. Растр зон затоплення для різних значень висот повені

Подальшим напрямком розвитку моделі може бути використання метод polygonize() GDAL маски потопу для побудови векторного полігону затоплення. Завдяки цьому можна здійснити вибір будівель, що потребляють у полігон для визначення впливу повені на населення. Тобто на основі отриманої карти зон затоплення при умові доопрацювання моделі може бути побудована система підтримки прийняття рішень по управлінню ризиками повеней. За допомогою подібної системи можуть бути прийняти оперативні рішення по запобіганню великих втрат та жертв повені серед населення.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Шипулін В.Д.Основи ГІС-аналізу: навч. Посібник. Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Х: ХНУМГ, 2014. с 330.

[2] Світличний О.О., Плотницький С.В. Основи геоінформатики: Навчальний посібник. За заг. ред. Світличного ОО, Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. с 295.

[3] Kuznichenko, S., Buchynska, I., Kovalenko, L., Tereshchenko, T. Integrated information system for regional flood monitoring using internet of things. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2683, стр. 1–5

[4] Zandbergen PA (2015) Python Scripting for ArcGIS. Redlands. US:Esri Press, p 343.

[5] Шипулин В.Д. Введение в использование ArcGIS. Учебно-методическое пособие. Харьков: ХНАГХ, 2005. с 258.

[6] ArcGIS. Redlands. US:Esri Press, p 343.

[7] Shipulin V.D. An introduction to using ArcGIS. Study guide. Kharkov: KHNAGKh, 2005. p. 258.

З М І С Т

СЕКЦІЯ 1. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕХНІЧНИХ ТА СИСТЕМАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 3

SECTION 1. INFORMATION TECHNOLOGIES IN TECHNICAL SYSTEMS AND SYSTEMS OF SPECIAL PURPOSE 3

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR CALCULATION OF SUBSTITUTION LIMITS IN SOLID SOLUTIONS 4

Oleg Bisikalo, Oleksii Kudryk, Eugeni Get'man, Yuliia Oleksii

ДОСТОВІРНІСТЬ ОЦІНКИ ЗНАНЬ МЕТОДОМ ЗАКРИТОГО ТЕСТУВАННЯ 8

Володимир Бондарєв, Олексій Галуза

ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЗАХИЩЕНОСТІ КІБЕРПРОСТОРУ 11

Алла Гаврилова

ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН 13

Олександр Коваль, Ольга Гаврилюк, Тетяна Чоботок, Сергій Іовов

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНОЇ СПАДЩИНИ МІСЦЕВОГО РІВНЯ 16

Олександр Макаренко, Євген Самородов, Ольга Морева, Алла Патіоха

STRUCTURE AND FUNCTIONING OF INFORMATION SYSTEMS OF BACKGROUND MONITORING OF LANDSCAPE ELEMENTS OF GORGANY NATURE RESERVE 19

Yaroslav Nykolaychuk, Ihor Pitukh, Yaroslav Petrachuk, Taras Grynchychyn, Lubov Nykolaychuk, Volodymyr Hryha

КОМП'ЮТЕРНО-ПРИЛАДОВА ПІДТРИМКА ДІАГНОСТИКИ ТА ЛІКУВАННЯ ПАЦІЄНТІВ З ЗАЛЕЖНОСТЯМИ 24

Іван Варава, Валерій Писаренко, Юлія Писаренко, Микола Фесенко

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАННИХ ІНФОРМАЦІЙНОГО СХОВИЩА ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАТ-БОТІВ 27

Юлія Писаренко, Володимир Малачинський

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД НА БАЗІ ARDUINO ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ 30

Юлія Писаренко, Надія Чумакова

РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО ДІАГНОСТИЧНОГО ВИРІШАЛЬНОГО ПРАВИЛА В МЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ 33

Анатолій Поворознюк, Оксана Поворознюк

ПРАКСЕОЛОГІЯ БЕЗЕКІПАЖНИХ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ, РИЗИКИ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ 35

Наталія пунченко

ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА ТРАНСФЕРНОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ COVID-19 НА КТ ЗОБРАЖЕННЯХ 37

Віктор Синєглазов, Олена Чумаченко, Володимир Хоцянівський

ЗМЕНШЕННЯ ШУМУ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ 42

Віктор Синєглазов, Андрій Рябоконєв

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ АДАПТИВНОГО НАКОПИЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА **46**

Валентин Собчук, Юрій Харкевич, Inna Kal'chuk, Андрій Барабаш

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ І СУБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ **49**

Володимир Олександрович Темніков, Андрій Володимирович Темніков

ПЛАНУВАННЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ЧАСОВИХ ЗАТРАТ ЗА ЕТАПАМИ ІТ-ПРОЕКТУ **52**

Федорчук Євдоким, Вонс Юрій

АВТОМАТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ДИХАННЯМ ЯК ДОПОМІЖНИЙ ЗАСІБ ПСИХОЛОГІЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ **54**

Антон Шарипанов, Віталій Вишневський, Ілля Чайковський, Оксана Сивак

СЕКЦІЯ 2. ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЇ, КОДУВАННЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМИ, ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТА УЩІЛЬНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ **57**

SECTION 2. INFORMATION THEORY, CODING AND INFORMATION FORM TRANSFORMATION **57**

МЕТОД ПОБУДОВИ ТРІЙКОВИХ УНАРНИХ ФУНКЦІЙ **58**

Юрій Гунченко, Лариса Мартинович, Дмитро Слуцький, Костянтин Смірнов

УЩІЛЬНЕННЯ ДАНИХ ЗІ ШВИДКИМ ДЕКОДУВАННЯМ **60**

Ігор Завадський

ДЕЯКІ ПРИНЦИПИ СКЛАДАННЯ ДВІЙКОВИХ БІНОМІАЛЬНИХ ЧИСЕЛ **62**

Ігор Кулик, Марина Шевченко

IMAGE HISTOGRAMS FOR ESTIMATION THE LIMITATION LEVEL **62**

Olena Osharovska, Mikola Patlayenko

ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА МОНТЕ-КАРЛО **66**

Марія Семаньків

МОДИФІКАЦІЯ ЦИКЛІЧНИХ КОДІВ НА ОСНОВІ АВТОМАТНИХ МОДЕЛЕЙ **69**

Василь Семеренко, Олександр Войналович

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ З МЕДІАДИЗАЙНУ **71**

Олена Смалько

ДОМЕННЕ ТЕСТУВАННЯ ЯК ТЕХНІКА ТЕСТ-ДИЗАЙНУ **73**

Антон Бровді, Іван Половко, Маріанна Шаркаді 73

СЕКЦІЯ 3. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ **76**

SECTION 3. SYSTEM ANALYSIS **76**

INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS OF SOLAR ACTIVITY DATA **77**

Danylo Ivantyshyn

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВ РІШЕНЬ МЕТОДОМ ПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ 79

Надія Недашківська

ПОТОКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ СПІЛЬНОТ У СКЛАДНИХ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМАХ 81

Олександр Поліщук

ПРО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПОШУКУ МАКСИМАЛЬНОЇ КЛІКИ..... 85

Шило Володимир, Рощин Валентина, Шило Петро, Боярчук Дмитро, Мороз Валерій

СЕКЦІЯ 4. ГЛИБИННИЙ АНАЛІЗ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДАНИХ, BIG DATA, СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, SMART ДОДАТКИ..... 87

SECTION 4. DEEP ANALYSIS AND DATA ORGANIZATION, BIG DATA TECHNOLOGIES, ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS, SMART APPLICATIONS 87

MANIPULATOR DEEP LEARNING MODELS FOR OBJECT FINDING 88

Dmytro Myroniuk, Bohdan Blagitko, Ihor Zajachuk

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ ПОЛІАГЕНТНИХ ФУНКЦІОНАЛІВ 90

Сергій Голуб, Світлана Куницька

МАШИННЕ НАВЧАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ 92

Василь Горбачук, Геннадій Голоцуков, Максим Дунаєвський, Дмитро Ніколенко

ЗАСАДИ РОЗВИТКУ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 94

Василь Горбачук, Сергій Гавриленко, Геннадій Голоцуков, Максим Дунаєвський

ІДЕАЛЬНА МОВА ПРОГРАМУВАННЯ 96

Кондратенко Вікторія Олександрівна

DEEP LEARNING AND THE OPTIMAL REGRESSION MODEL 98

Dmytro Moroz

КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ РЕГУЛЯРНОГО ЛОГІЧНОГО ДЕРЕВА НА ОСНОВІ ПОНЯТТЯ ПОДІБНОСТІ..... 101

Повхан Ігор Федорович

ВИКОРИСТАННЯ РЕФЛЕКТОРНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ФУТБОЛЬНИХ МАТЧІВ 101

Юрій Тесля, Юлія Хлевна, Олексій Єгорченков, Андрій Хлевний, Євгенія Катаєва

СЕКЦІЯ 5. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ..... 108

SECTION 5. INFORMATION PROTECTION IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEM 108

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ВІДБИТКІВ ПАЛЬЦІВ В УМОВАХ ЗАШУМЛЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ 109

Олеся Войтович, Михайло Чайкін, Галина Крайнічук (Шелепало), В'ячеслав Майстренко

ЗАХИЩЕНІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ ТА ПОКАЗНИКИ ЗАХИЩЕНОСТІ ДЛЯ СУЧАСНИХ ІТС ВІД ВИТОКУ ТЕХНІЧНИМИ КАНАЛАМИ..... 111

Сергій Іванченко, Олег Рущак, Василь Некоз, Сергій Горліченко

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ **115**

Кренцін Михайло, Куперштейн Леонід 115

THREE-KEYS CRYPTOGRAPHIC ALGORYTHM FOR UAV NETWORK COMMUNICATION **118**

Maksym Ogurtsov

АНАЛІЗ ВИМОГ БЕЗПЕКИ FEDERAL INFORMATION PROCESSING STANDARDS (FIPS) **120**

Аліна Остапенко-Боженова, Ангеліна Сухоребра

БАГАТОРОЗРЯДНА ОПЕРАЦІЯ ПОРІВНЯННЯ У ПАРАЛЕЛЬНІЙ МОДЕЛІ ОБЧИСЛЕННЯ **122**

Андрій Терещенко

ВИЗНАЧЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ АЛГОРИТМУ СТВОРЕННЯ КЛЮЧІВ КРИПТОСИСТЕМИ AJPS **125**

Дарія Ядуха

СЕКЦІЯ 6. АРХІТЕКТОНІКА ТА КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ ***129***

SECTION 6. COMPUTER NETWORKS, SYSTEMS AND COMPONENTS ARCHITECTONICS ***129***

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗА МЕХАНІЗМОМ ОБСЛУГОВУВАННЯ **130**

Любомир Петришин, Михайло Петришин

ОПТИМІЗАЦІЯ КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ЕТАПІ РЕІНЖИНІРИНГУ **134**

Володимир Безкоровайний, Володимир Русскін

СЕКЦІЯ 7. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ***136***

SECTION 7. MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF COMPLEX SYSTEMS ***136***

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ **138**

Володимир Безкоровайний, Оксана Драз

СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РУХУ ДВОВІСНОГО КОЛІСНОГО ЕКІПАЖУ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ **138**

Володимир Вербицький, Анатолій Безверхий, Наталя Вельмагіна, Іван Цідило

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РОЗВ'ЯЗКИ ХВИЛЬОВИХ ЗАДАЧ ЛОКАЛЬНО ГРАДІЄНТНОЇ ТЕОРІЇ ДІЕЛЕКТРИКІВ **143**

Ольга Грицина

MODELS AND METHODS OF DEVELOPMENT OF SIMULATION SCHEMES OF ACCOUNTING OF ULTRAHIGH-FREQUENCY ELECTRIC INTERFERENCES **146**

Volodymyr Kudria, Maksym Shulhin, Volodymyr Sliusarenko

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНОСУ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ **148**

Ярослав П'янило

КЕРУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИМ РЕЖИМОМ МАГІСТРАЛЬНОГО АМІАКОПРОВОДУ 152

Ярослав П'янило, Назар Притула, Мирослав Притула

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РУХУ ГАЗУ В ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМАХ ЗА НАЯВНОСТІ ВИТОКІВ 156

Ярослав П'янило, Назар Притула, Мирослав Притула

ВПЛИВ ПОВЕРХНІ КАТАЛІЗАТОРА НА ТОНКУ СТРУКТУРУ КОЛИВНОЇ РЕАКЦІЇ ОКИСНЕННЯ МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ 160

Петро Костробій, Ірина Рижа 160

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ 164

Андрій Сафоник, Ігор Ільків

СИМЕТРІЯ В КОМБІНАТОРИЦІ, КОМБІНАТОРНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРИРОДІ 166

Тимофієва Н.К. 166

ПРО ПОБУДОВУ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ОПЕРАТОРА ПАРАБОЛІЧНОГО ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ЗА МІШАНИХ ГРАНИЧНИХ УМОВ І І ІІ РОДУ 166

Ольга Чернуха, Юрій Білущак, Анастасія Чучвара 168

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИФУЗІЇ ДОМІШКИ У СМУЗІ З ВИПАДКОВО РОЗТАШОВАНИМИ КУЛЬОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ ДЕКІЛЬКОХ ХАРАКТЕРНИХ РАДІУСІВ 168

Анастасія Чучвара, Ольга Чернуха, Юрій Білущак

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕПІДЕМІЧНОГО ПРОЦЕСУ COVID-19 В УКРАЇНІ 172

Сергій Яковлев, Павло Пирогов, Руслан Бородай, Сергій Кривцов

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN CARBON FOOTPRINT OPTIMIZATION: CASE-STUDY 174

Piotr Milczarski, Zofia Stawska, Artur Hłobaż, Bartosz Zieliński, Piotr Kosiński and Paweł Maślanka

СЕКЦІЯ 8. ПРИКЛАДНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНО-НЕПЕРЕРВНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ... 177

SECTION 8. APPLIED METHODS OF STUDYING DISCRETE-CONTINUOUS MATHEMATICAL MODELS 177

HOMOGENIZATION METHODS FOR MODELING PROCESSES IN POROUS MEDIA 180

Gennadiy Sandrakov, Andrii Hulianytskyi

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ В СИСТЕМІ «СУЦІЛЬНИЙ ЦИЛІНДР В БАГАТОШАРОВІЙ ОБОЛОНЦІ» . 182

Роман Таційй, Олег Пазен

ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ COVID-19 В УКРАЇНІ ТА ЄВРОПІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОНЯТТЯ «ЦЕНТРУ ТЯЖІННЯ» 188

Олена Яворська, Ростислав Бунь

ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОН ЗАТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ЗАСОБАМИ ГІС 188

Світлана Кузніченко, Ірина Бучинська, Тетяна Терещенко

З М І С Т 196

Наукове видання

"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"

матеріали
Міжнародної науково-практичної конференції
05-10 липня 2021 року
Івано-Франківськ

"INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER MODELLING"

proceedings
of the International Scientific Conference
2021, July, 05th to 10th
Ivano-Frankivsk

Науковий редактор: Л.Б. Петришин
Технічний редактор: В.З. Максимець
Коректор: Ю.Ю. Іляш
Комп'ютерна верстка: О.М. Голіней

Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
76018, Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57,
ПНУ, адміністративний корпус

Формат. Папір офсетний. Ум. Друк арк.
Тираж 150 прим.

Друк: підприємець Голіней О.М.
тел. (0342) 58 04 32