



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



Матеріали
Міжнародної науково-практичної конференції

Івано-Франківськ – Яремче
23-28 травня 2016 року

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ)
Вінницький національний технічний університет
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки
і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
AGH науково-технологічний університет, Польща
Інститут кібернетики НАН України
Національний технічний університет України "КПІ"
Новий університет Лісабона, Португалія
Люблінська політехніка, Польща
Азербайджанська державна нафтова академія
Об'єднаний інститут проблем інформатики НАН Білорусі
Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (ІЕЕЕ), Українська секція
Громадська організація "Івано-Франківський ІТ кластер"

"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"

**матеріали
міжнародної науково-практичної конференції**

**23–28 травня 2016 року
Івано-Франківськ**

**"INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER MODELLING"
proceedings
of the International Scientific Conference
2016, May, 23th to 28th
Ivano-Frankivsk**

Івано-Франківськ
Видавець Супрун В. П.
2016

УДК (004:004.2/004.9+007):33/37+51+621

ББК 22.17 32.81

I-74

Матеріали статей опубліковані в авторській редакції

I-74 Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання : матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 23–28 травня 2016 року. – Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2016. – 232 с. – 100 пр.

ISBN 978-966-8969-85-0

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

ISBN 978-966-8969-85-0

© ПНУ ім. В. Стефаника, 2016

СЕКЦІЯ 1.

Інформаційні технології в технічних системах

Визначення дефектів друкованих плат з допомогою особливих точок скелетону зображення

Р.А. Мельник

кафедра програмного забезпечення
національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна

В.Я. Кончук

кафедра програмного забезпечення
національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна

Printed circuit board defects detection by specific points of image skeleton

R. Melnyk

Software Department
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine

V. Konchuk

Software Department
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine

Анотація—Представлено реалізацію відомого алгоритму скелетонізації. На скелетонах знаходяться координати особливих точок. Алгоритми застосовано до друкованих плат з метою визначення координат можливих дефектів з'єднань : розривів доріжок та короткого замикання. Представлені приклади застосування алгоритму.

Abstract—The known skeletonization algorithm was realized and the skeleton feature points were found. The algorithms were applied to printed circuit boards to detect the main defects : wire breaks and short circuits. Some examples of applications are shown.

Ключові слова—скелетон зображення, особливі точки, друковані плати, розриви доріжок, замикання

Keywords—skeleton, printed circuit board, defect detection, wire, break, short connection

I. INTRODUCTION

There are many works devoted to skeletonization algorithms. Main of them are listed in the survey [1]. Two examples of pixel skeletonization algorithms was introduced in [2,3] which run on the distance map of a digital figure, computed according to any among four commonly used path-based distance functions. Non-pixel-based skeletonization techniques based on a constrained Delaunay triangulation was presented in [4]. Algorithm in [5] can be used to detect some kinds of defects in PCBs. In this paper, the conception of linkage information table was presented which is regarded as correlation features of template PCBs. The designed analogic algorithms [6] to solve the problems above were tested on real-

life examples using the CNN-HAB digital multiprocessor system with 1 million cell space. The work [7] considers parallelization issues for intrinsically sequential algorithms of thinning. The discussed algorithms are complicated enough, some of them use neural networks etc. In this article we present realization of very simple algorithm and its application to PCB defects detection.

II. ALGORITHM OF SKELETONIZATION

Removing the maximum number of pixels without changing the shape of object model is called skeletonization. By this approach a skeleton should help identification of the image itself. The skeleton properties are as follows : • thinnest lines; • all segments are connected ; • lines are located in the centre of the observation objects..

The example of a letter skeleton are shown on fig. 1.

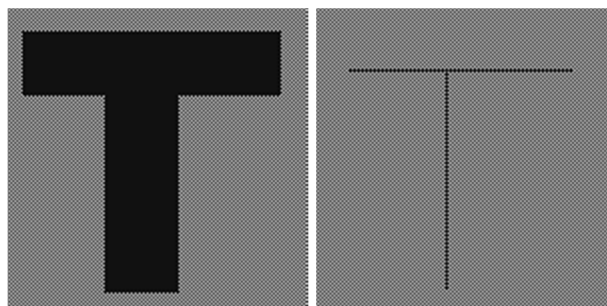


Fig. 1. Image and its skeleton

III. PCB DEFECTS DETECTION

We consider the Hilditch's Algorithm [2] which is very simple for realization. The algorithm works with binary images. The main idea of the algorithm is iterative scanning window with matrix of pixel positions and eventually replacing black pixels by white ones. The window has a size of 3x3 or 4x4 positions. We consider a version of the algorithm for scanning window size of 3x3. Then all pixels are numbered from P1 to P9 and are shown on fig.2.

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

Fig. 2. Scanning window with numbered pixels

When scanning the image a decision must be taken to change or not a colour of pixel P1 (centre of window). To answer the questions about the pixel P1 colour to be left or changed in the skeleton two functions are needed to calculate:

$B(P1)$ = number of neighbours for P1 being not null
and

$A(P1)$ = number of pairs {0,1} in order p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p2.

Examples of different configurations with neighbouring pixel P1 and functions for it are on fig.3.

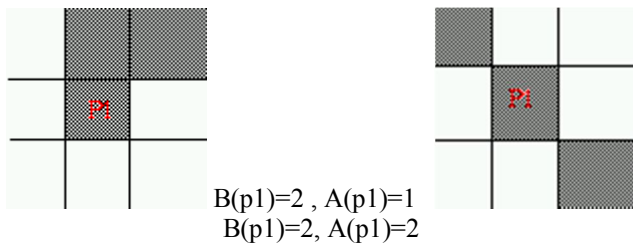


Fig. 3. Two variant of pixel placement in window

When scanning the surface of the image for the central and some neighbouring pixels functions $B(p)$ and $A(p)$ are calculated. The decision to exclude the pixel P1 from the black list is not accepted, if they simultaneously don't satisfy the following conditions:

- 1) $2 \leq B(p1) \leq 6$
- 2) $A(p1) = 1$,
- 3) $p2.p4.p8 = 0$ or $A(p2) \neq 1$
- 4) $p2.p4.p6 = 0$ or $A(p4) \neq 1$

Scanning stops if an iteration will not cause a colour changing.

At the beginning we consider the examples of the algorithm result for constructing the skeleton. On fig.4 we can see a set of letters, numbers, etc. and their corresponding skeletons.

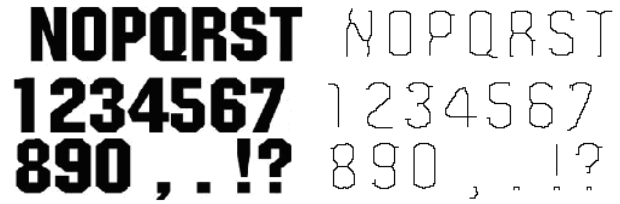


Fig. 4. Skeletons of letters and digitals

Skeleton allows to find the coordinates of specific points, namely the ends and switches of wires. An example of such singular points are shown for the letter "Y" and "X" on Fig.5. A switch - a point at which three or more lines are connected. Start and end line points also are considered as special.

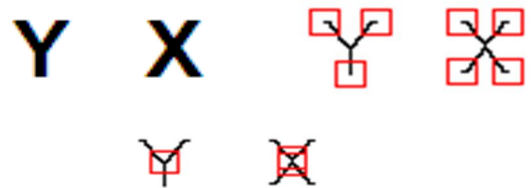


Fig. 5. Feature points: ends and switches

Tools of skeletons and special points are useful for finding defects of connections in printed circuit boards and chips. Printed circuit boards usually consists of contacts and wires that connect together certain groups of contacts. On fig.6 an example of printed circuit board without any defect is presented. On the same figure we can see corresponding skeleton with specific points: switches and ends. Switches are for all wires approaching the contacts. The wire ends are only on the right border of the image. They correspond to abrupt wires.

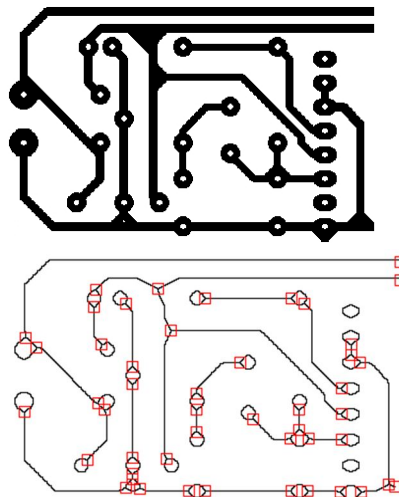


Fig. 6. PCB and its skeleton with specific points

After doing two breaks of wires by a single-pixel line we get a new version of PCB (fig.7.) and skeleton. On the skeleton we can see two gaps marked by three red rectangles on wires. Each of them indicates the coordinates of wire breaks.

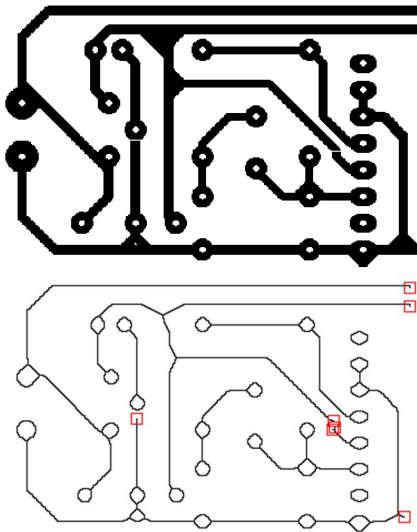


Fig. 7. PCB with defects and skeleton with their coordinates

The skeletonization algorithm also allows to detect a short circuits of wire. We assume that short circuit is similar to a switch with four outputting lines. In contrary, a switch of wires with contacts or between themselves has three outputting lines.. On fig.8 we can see an example of PCB and its skeleton on fig.9 with two short circuit points.

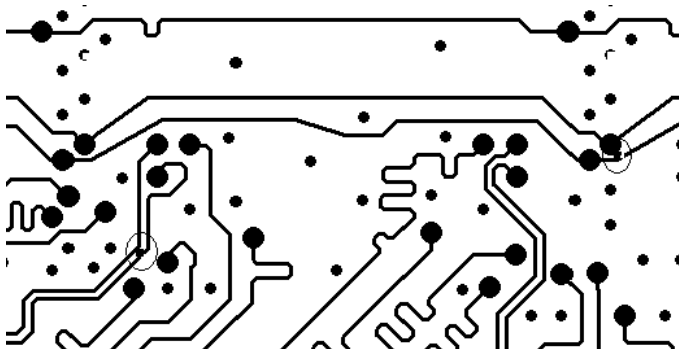


Fig. 8. PCB with short circuits of wires (two circles)

Thus, breaks in the wires for contact connections could be detected by two ways: 1) by direct analysis of the skeleton and its specific points, 2) by comparing the specific points of the skeleton of an industrial boards with skeleton points of reference template.

CONCLUSION

Simple Hilditch's skeletonization algorithm was realized and its application to process binary images was demonstrated. Two types of feature points: ends and switches of skeleton help to detect PCB defects. First ones indicate the wire breaks and the second ones – short circuits. So, the developed software can be used in automated systems of PCB defect detection.

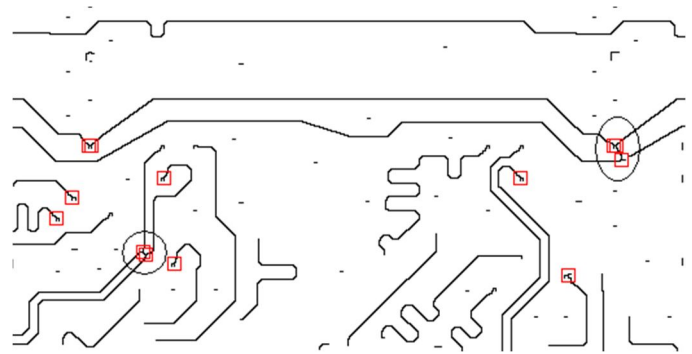


Fig. 9. Skeleton with coordinates of switches (two circles)

REFERENCES

- [1] Khalid Saeed, Marek Tabędzki, Mariusz Rybnik, Marcin Adamski, 2010. K3M: A universal algorithm for image skeletonization and a review of thinning techniques International. Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol.20.
- [2] Danielle Azar, Godfried Toussain, 1997. Hilditch's algorithm for skeletonization, <http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/projects97/azar/skeleton.html>
- [3] Gabriella Sanniti di Baja, Edouard Thiel, 1996. Skeletonization algorithm running on path-based distance maps. Image and Vision Computing vol.14, 47–57
- [4] P. Morrison, Ju Jia Zou, 2005. An effective skeletonization method based on adaptive selection of contour points. Proceedings of International Conference on Information Technology and Applications vol.1, 644 – 649.
- [5] S. H. Oguz, L. Onural, 1991. An automated system for design-rule-based visual inspection of printed circuit boards. Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol.3, 2696 - 2701
- [6] Péter Szolgay, Katalin Tömördi, 1991. Analogic algorithms for optical detection of breaks and short circuits on the layouts of printed circuit boards using CNN. International Journal of Circuit Theory and Applications, vol.27, 103–116.
- [7] L. Z. Lin, L. S. Zhou, J. D. Wan, Z. Q. Qian, 2009. Study of PCB automatic optical inspection system based on mathematical morphology. International Conference on Computer Technology and Development, vol.:2, 405 – 408.

Радіовимірювальний перетворювач тиску з MEMS чутливим елементом

О.В. Осадчук
кафедра радіотехніки
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
osadchuk69@mail.ru

Я.О. Осадчук
кафедра радіотехніки
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
yaruslav.osa@mail.ru

Radiomeasuring pressure transducers from MEMS sensing element

A. Osadchuk
Department of Radioengineering
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
osadchuk69@mail.ru

I. Osadchuk
Department of Radioengineering
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine
yaruslav.osa@mail.ru

Анотація—У даній роботі представлені дослідження радіовимірювального перетворювача тиску на основі реактивних властивостей біполярних транзисторів з чутливим MEMS елементом. Отримано аналітичні залежності функції перетворення й рівняння чутливості. Теоретичні й експериментальні дослідження показали, що чутливість розробленого радіовимірювального перетворювача тиску становить 650 Гц/кПа.

Abstract—This paper presents the research of radiomeasuring pressure transducer from reactive properties of bipolar transistors with MEMS sensing element. Analytical dependences of transformation function and sensitivity equation. Theoretical and experimental studies have shown that the sensitivity developed pressure transducers 650 Hz/kPa.

Ключові слова—радіовимірювальний перетворювач тиску, від'ємний опір, частотний вихідний сигнал, MEMS сенсор

Keywords—radiomeasuring pressure transducer, negative resistance, frequency output signal, MEMS sensor.

I. ВСТУП

В останнє десятиліття MEMS сенсори знайшли широке застосування в авіаційній та автомобільній техніці. Це обумовлено тим, що MEMS сенсори мають вищу чутливість ніж традиційні сенсори, їх застосування дає можливість створення мініатюрних багатофункціональних приладів з розширеним діапазоном робочих температур, підвищеною надійністю та радіаційною стійкістю [1].

Застосування MEMS технологій істотно знижує витрати на виготовлення вимірювальних приладів і знижує експлуатаційні витрати, що в подальшому збільшує інтервал між періодичними повірками. Наразі ведуться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових MEMS перетворювачів тиску [2], хоча дослідження частотних перетворювачів тиску на основі реактивних властивостей біполярних транзисторів перебуває в початковій стадії.

Радіовимірювальні перетворювачі із частотним виходом мають ряд переваг перед амплітудними, які полягають у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості одержання більших вихідних сигналів. Це створює передумови відмови від підсилювальних пристроїв у наступній обробці сигналів. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитися від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури [3]. Тому дана робота присвячена дослідженню функції перетворення й рівняння чутливості радіовимірювального перетворювача тиску на основі транзисторної структури з від'ємним опором і тензочутливим MEMS елементом.

II. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Електрична схема радіовимірювального перетворювача наведена на рис.1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, що складається із трьох біполярних транзисторів,

опорів R_5 - R_{10} , а також MEMS тензорезистивного мосту на мембрані (R_1 - R_4), що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою реалізований на основі еквівалентної ємності повного опору на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів VT1 і VT2 і активної індуктивності на основі транзистора VT3 з фазозсувним ланцюгом $R_{10}C_1$ [4]. Чутливим до тиску елементом виступає MEMS сенсор фірми Melexis MLX90815. На тензочутливий міст MEMS сенсора (R_1 - R_4) діє тиск, що приводить до зміни еквівалентної ємності коливального контуру, що у свою чергу, викликає зміну резонансної частоти автогенератора. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються за рахунок від'ємного опору [5, 6].

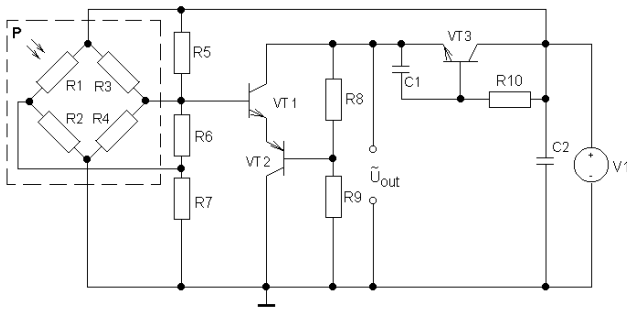


Рис. 1. Електрична схема радіовимірювального перетворювача тиску

Розглянемо фізичний механізм роботи активного індуктивного елемента на основі біполярного транзистора VT3 і фазозсувний ланцюжок $R_{10}C_1$, що дозволяє регулювати величину індуктивності й добротності елемента. Виникнення індуктивних властивостей у біполярних структурах пов'язане з кінцевою швидкістю руху носіїв заряду в базовій області. Сигнал, прикладений до емітеру, не може з'явитися на колекторному переході поки носії заряду проходять базу, у результаті чого виникає затримка в часі, що одержала назву часу прольоту. Таким чином, струм колектора відстає в часі від напруги на емітері, що викликало цей струм, що відповідає індуктивній реакції на електродах емітер-колектор біполярного транзистора. Величина індуктивності й добротності визначається на основі нелінійної моделі індуктивного транзистора, основаної на моделі Еберса-Молла, що отримана із загальної математичної моделі транзистора. Індуктивність теоретичної моделі залежить від електрофізичних параметрів напівпровідникового матеріалу бази, режиму живлення транзистора за постійною і змінною напругами, а також від геометричних розмірів транзистора, що дозволяє керувати її величиною як електричним, так і технологічним шляхами.

Розглянемо принцип роботи і деякі конструктивні особливості тензочутливого мосту. Чутливий елемент мікросенсора являє собою мембрану, сформовану в пластині з монокристалічного кремнію методом плазмового травлення. На поверхні чутливого елемента, у місцях найбільших механічних напруг, сформовані тензочутливі резистори, які становлять вимірювальну схему. Конфігурація мембрани залежить від конфігурації вікна травлення й має квадратну форму. Тензорезистори

розміщені на краях мембрани і спрямовані уздовж кристаліграфічних напрямків $\langle 110 \rangle$ таким чином, що при деформації мембрани у двох з них виникають позитивне збільшення напруги ($+\Delta U_1$) внаслідок поздовжнього тензоефекту, а у двох інші $(-\Delta U_2)$ внаслідок поперечного тензоефекту, причому $|\Delta U_1| = |\Delta U_2|$. Розкид по номіналах тензорезисторів приводить до початкового розбалансу мосту. Важливим етапом проектування подібних сенсорів є вибір і розрахунок компонентів електричної схеми. Відомо, що в напівпровідникових тензорезисторах залежність питомого опору і коефіцієнта тензочутливості від температури більш сильна, ніж в інших тензорезисторах (фольгових, дротових). Відомо з [7], що з підвищенням рівня легування зменшується вплив температури на тензочутливість напівпровідника. Однак зі збільшенням концентрації легуваних домішок зменшується як коефіцієнт тензочутливості Π , так і номінал резистора. При кімнатній температурі $\Pi=160$ для концентрації $N=10^{17}$ (см^{-3}) і $\Pi=75$ при $N=10^{20}$ (см^{-3}). Другим параметром, що залежить від температури, є опір тензорезистора. Як відомо з [7], залежність температурного коефіцієнта опору (ТКС) з підвищенням рівня легування від температури менш виражена і при $N=10^{20}$ см^{-3} ТКС кремнію рівний $0,96 \cdot 10^{-3}$, тобто кожному градусу зміни температури відповідає $0,96 \cdot 10^{-3} \cdot 100\% = 0,1\%$ зміни опору плеча мосту.

Для розрахунку відносної зміни опору тензорезисторів і чутливості мікросенсора розглянемо напружений стан мембрани. Механічні напруги мембрани квадратної форми розраховуються за формулами [7]:

$$\tau_r = \frac{3 P \cdot r^2}{4 h^2}, \quad \tau_t = \nu \frac{3 P \cdot r^2}{4 h^2}, \quad (1)$$

де τ_r – радіальні напруги, Па; τ_t – тангенціальні напруги, Па; ν – коефіцієнт Пуассона; r – радіус мембрани (половина сторони мембрани), мм; h – товщина мембрани, мкм.

Розраховувачи τ_r і τ_t , виходячи із заданого діапазону вимірювання мікросенсора, переходимо до розрахунку відносної зміни опору [7]

$$\frac{\Delta R}{R} = S_{np} \tau_{np} + S_{nm} \tau_{nm}, \quad (2)$$

де S_{np}, S_{nm} – поздовжня і поперечна чутливості тензорезисторів відповідно, мВ/(В·Па); τ_{np}, τ_{nm} – механічні напруги в тензорезисторах у поздовжньому і поперечному напрямках, Па.

Відносна зміна опору тензорезистора біля краю мембрани визначається [7]:

$$\left(\frac{\Delta R}{R} \right)_r = S_{np} \tau_r + S_{nm} \tau_t = S \tau_r (1 - \nu), \quad (3)$$

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t = S_{np} \tau_t + S_{nn} \tau_r = S \tau_r (v-1). \quad (4)$$

Для мосту із чотирма активними плечима для тензорезисторів з однаковими початковими опоромі відносна зміна електричної напруги буде дорівнювати [7]:

$$\frac{\Delta U}{U} = 4 \frac{\Delta R}{R}, \quad (5)$$

де $R, \Delta R$ – електричний опір і його зміна відповідно, Ом; $U, \Delta U$ – електрична напруга і його зміна відповідно, В.

На підставі еквівалентної схеми відповідно до методу стійкості Ляпунова визначена функція перетворення пристрою, що являє собою залежність частоти генерації від тиску. Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B_1 + \sqrt{B_1 + 4LC_{BK}(C_B(P)R_B(P))^2}}{2LC_{BK}(R_B(P)C_B(P))^2}}, \quad (6)$$

де $B_1 = LC_{BK} - (C_B(P)R_B(P))^2 - C_{BK}C_B(P)R_B^2(P)$, L – еквівалентна індуктивність активного елемента, C_B, R_B – еквівалентна ємність і опір імпедансу на електродах колектор-колектор транзисторів VT1 і VT2, C_{BK} – ємність база-колектор транзистора VT1.

Графічна залежність функції перетворення представлена на рис.2. Чутливість перетворювача тиску із частотним виходом визначається на підставі виразу (6) і описується рівнянням

$$\begin{aligned} S_{F_0}^P = & -0.0198 \left(-2C_B(P)R_B^3(P)C_{BK} \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) \sqrt{B_1 + 2B_2} - \right. \\ & - 2C_B^2(P)R_B^3(P) \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) - 2C_B^3(P)R_B^2(P) \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) - C_{BK} \times \\ & \times 3C_B(P)R_B^3(P) \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) - 2C_{BK}C_B^2(P)R_B^2(P) \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) + \\ & + 8C_B^2(P)R_B^3(P)LC_{BK} \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) + 8LC_{BK}C_B^2(P)R_B^2(P) \times \\ & \times \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) + 4LC_{BK}R_B(P) \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) \sqrt{B_1 + 2B_2} + 4R_B(P) \times \\ & \times \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) LC_{BK} + 4C_B(P)LC_{BK} \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) \sqrt{B_1 + 2B_2} + \\ & \left. + 4LC_{BK}C_B(P) \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) \right) / \left(\left(2\sqrt{B_1 + \sqrt{B_1 + 2B_2}} / B_2 \right) \times \right. \\ & \left. \times LC_{BK}C_B^3(P)R_B^3(P)\sqrt{B_1 + 2B_2} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

де $B_2 = 2LC_{BK}(C_B(P)R_B(P))^2$.

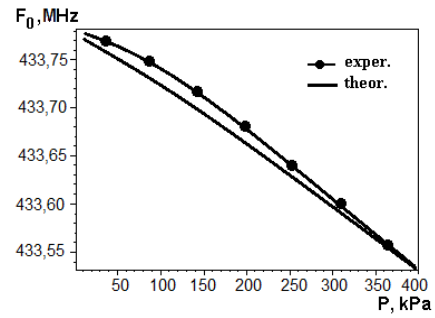


Рис. 2. Залежності функції перетворення

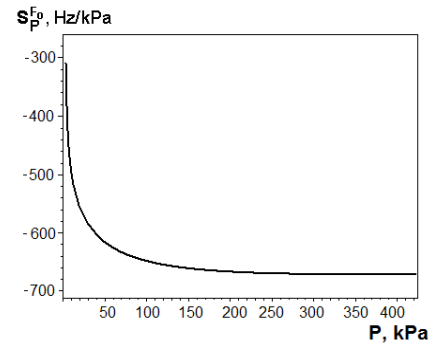


Рис. 3. Залежність чутливості від тиску

Графік залежності чутливості радіовимірювального перетворювача тиску представлений на рис.3. Як видно із графіка, найбільша чутливість пристрою лежить у діапазоні від 100 до 400 кПа й становить 650 Гц/кПа.

ВИСНОВКИ

Показано можливість перетворення тиску в частоту на основі автогенераторного пристрою. Отримано аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні і експериментальні дослідження показали, що чутливість розробленого радіовимірювального перетворювача тиску із частотним виходом становить 650 Гц/кПа.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Мікроелектронні сенсори фізичних величин. За редакцією З.Ю. Готри. В 3 томах. - Львів: Ліга-Прес, 2003. Т.2. - 595 с.
- [2] И. Н. Баринов Высокотемпературные датчики абсолютного давления на структуре «поликремний-диэлектрик» с улучшенными метрологическими характеристиками /И.Н. Баринов, А.В. Федюлов, В.С. Волков // Датчики и системы. - 2012. - № 10. - с. 2 - 6.
- [3] П. В. Новицкий, В. Г. Кноринг, В. С. Гутников Цифрові прилади із частотними датчиками. -Л.: Энергія, 1970. - 424 с.
- [4] В. С.Осадчук, О. В. Осадчук Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. -Вінниця: « Універсум-Вінниця», 1999. - 275с.
- [5] В. С.Осадчук, О. В. Осадчук Сенсори тиску й магнітного поля. - Вінниця: « Універсум-Вінниця», 2005. - 207с.
- [6] Патент на корисну модель №83356 України, МПК G01R 31/315. Вимірювач тиску з активним індуктивним елементом / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Осадчук Я.О. Заявка № u201300303; Заяв. 09.01.2013; Пр. 18.04.13. Опубл.10.09.13 Бюл.17.
- [7] Э. Л. Егизарян Проектирование микродатчиков давления // Микроэлектроника. -№6, 1981. -С.320-332.

Засоби аналізу процесів перетворення інформації в системах управління

О.О. Ушкаренко
кафедра теоретичної електротехніки та електронних систем
Національний університет кораблебудування
ім. адм. Макарова
Миколаїв, Україна
guperion@mksat.net

Means of analysis of the information transformation processes in control systems

O. Ushkarenko
Department of Theoretical Electrotechnics and Electronic Systems
Admiral Makarov
National University of Shipbuilding
Nikolaev, Ukraine
guperion@mksat.net

Анотація—Запропоновано спосіб аналітичного опису структур систем управління, який дозволяє використовувати різні рівні декомпозиції для подання підсистем і елементів, що дає можливість виділити найбільш важливі аспекти опису на різних стадіях проектування і аналізу системи. Розроблено графоаналітичний вираз, що описує систему управління асинхронним двигуном. Визначено правила опису функціональних структур на різних рівнях декомпозиції системи частотного управління асинхронним двигуном. Розглянуто функціональну структуру обчислювального ядра мікроконтролера, який використовується в системі управління.

Abstract—The method of analytical description of the structures of control systems allows to use the different levels of decomposition for describing the sub-systems and components, which makes it possible to highlight the most important aspects of the description of the various stages of design and analysis system.

Ключові слова—система управління; асинхронний двигун; структурна схема; мікропроцесор

Keywords—control system; induction motor; structural scheme; microprocessor

I. ВСТУП

Сучасна теорія автоматичного управління може аналізувати системи управління і синтезувати для них закони. Однак цього недостатньо з огляду на різноманіття процесів управління [1]. Тому виникла велика кількість наукових напрямків, що займаються процесами управління в своїх областях. Системний аналіз вказує на той факт, що

подібні процеси повинні розроблятися з дотриманням певних принципів [2, 3]. Тому актуальною є задача створення математичного апарату, який дозволив би об'єднати процеси управління, що мають різну фізичну, організаційну та цільову природу.

Одним з можливих методів підвищення якості аналізу і синтезу логіко-динамічних процесів з підвищеним інформаційним змістом є аналітичний і графоаналітичний метод [1, 3], за допомогою якого з'являється можливість аналізу коректності сформованого процесу в різних системах управління. Основною якістю функціонально закінченої моделі повинна бути мінімізація словесного опису її змісту.

Метою роботи є розробка методики аналізу та синтезу логіко-динамічних процесів в системах управління, яка може бути використана при аналізі перетворення даних і вирішенні завдань по оптимізації структури системи.

II. СТРУКТУРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Оскільки аналітична форма запису необхідна для подальшої формалізованої оптимізації конкретного процесу, тому для цього необхідно, щоб математична модель була проста в запису і мала максимальне інформаційний зміст.

На рис. 1 представлено графоаналітичний вираз, що описує структуру системи управління асинхронним двигуном.

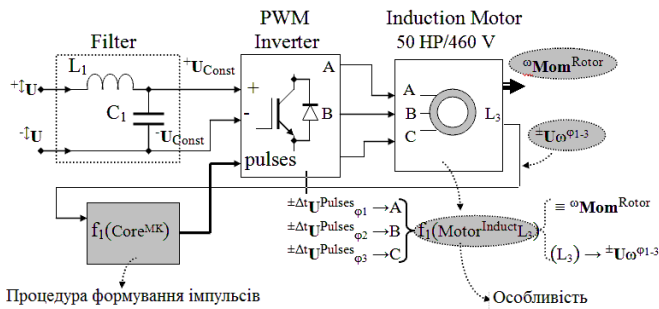


Рис. 1. Структура системи управління асинхронним двигуном

На рисунку позначено: $+\uparrow U$ – додатна пульсуюча напруга на виході випрямляча; $-\uparrow U$ – від’ємна пульсуюча напруга на виході випрямляча; $\pm U_{Const}$ – постійна (Const) напруга U на виході фільтра, величина якої може змінюватися (символ « \pm ») при зміні амплітуди змінної напруги на вході випрямляча (якщо випрямляч некерований, який складається з діодів), або ж при зміні кута управління (якщо випрямляч керований і складається з тиристорів); $\pm \Delta t U_{Pulses}$ – імпульсний сигнал (Pulses) з широтно-імпульсною модуляцією ($\pm \Delta t$), який поступає на фазу А асинхронного двигуна і має фазу ϕ_1 , рівну 0 градусів; $\pm \Delta t U_{Pulses}$ – імпульсний сигнал (Pulses) з широтно-імпульсною модуляцією ($\pm \Delta t$), який поступає на фазу В асинхронного двигуна і має фазу ϕ_2 , рівну -120 градусів; $\pm \Delta t U_{Pulses}$ – імпульсний сигнал (Pulses) з широтно-імпульсною модуляцією ($\pm \Delta t$), який поступає на фазу С асинхронного двигуна і має фазу ϕ_3 , рівну 120 градусів.

На рисунку «особливістю» є аналітичний запис функціональної структури асинхронного двигуна $f_1(\text{Motor}^{Induct}L_3)$ з результуючим аргументом $\omega \text{Mom}^{\text{Rotor}}$ оберտального моменту ротора й інформаційним аргументом напруги $\pm U_{\omega \phi^{1-3}}$ швидкості оберտання ротора трьох фаз в статорних індуктивностях.

Функціональна структура обчислювального ядра мікроконтролера $f_1(\text{Core}^{\text{МК}})$ представлена на рис. 2.

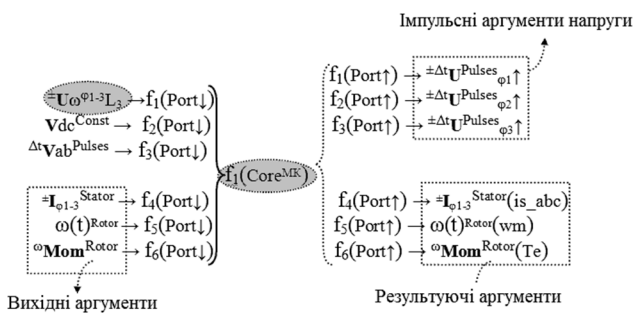


Рис. 2. Функціональна структура обчислювального ядра мікроконтролера

На рисунку позначено: $f_1(\text{Core}^{\text{МК}})$ – обчислювальне ядро мікроконтролера; \downarrow – вхідний зв’язок, що з’єднується з вихідним зв’язком; \uparrow – вихідний зв’язок, що з’єднується з

вхідним зв’язком; \rightarrow – вхідний аналоговий зв’язок; $f_1(\text{Port}\downarrow)$ – вхідний (input) порт (port) або вивід (pin) мікроконтролера – через цей порт сигнали поступають в мікроконтролер для їх подальшої обробки; нижній індекс позначає номер порта або виводу, тобто $f_1(\text{Port}\downarrow)$, $f_2(\text{Port}\downarrow)$... $f_N(\text{Port}\downarrow)$ – виводи мікроконтролера, на які поступають різні сигнали; $f_1(\text{Port}\uparrow)$ – вихідний (output) порт (port) або вивід (pin) мікроконтролера; через цей порт або вивід мікроконтролер формує керуючі сигнали; $\pm I_{\phi^{1-3}}^{\text{Stator}}$ – виміряне значення змінного (\pm) струму (I) статора (Stator) трьох фаз (ϕ_1 -3) асинхронного двигуна; $\omega(t)^{\text{Rotor}}$ – виміряне значення кутової швидкості оберտання ротора асинхронного двигуна; $\omega \text{Mom}^{\text{Rotor}}$ – виміряне значення моменту (Mom) на валу ротора Rotor, який обертається з кутовою швидкістю ω ; $\Delta t \text{Vab}^{\text{Pulses}}$ – виміряне значення лінійної імпульсної ($^{\text{Pulses}}$) напруги (V) між фазами А та В (ab) x широтно-імпульсною модуляцією (Δt); $\pm U_{\omega \phi^{1-3}}L_3$ – змінна (\pm) напруга U з кутовою частотою (ω) на виході трьохфазного (ϕ_1 -3) інвертора, яка подається на статорні обмотки трьохфазного асинхронного двигуна, кожна з яких має індуктивність L .

ВИСНОВКИ

Запропонований метод формалізації процесів роботи елементів систем управління дозволяє використовувати різні рівні декомпозиції для опису підсистем і елементів, що дає можливість виділити найбільш важливі аспекти опису на різних стадіях проектування і аналізу системи. Розроблено структурно-функціональну модель мікропроцесорної системи частотного управління асинхронним двигуном. Визначено правила опису функціональних структур на різних рівнях декомпозиції системи частотного управління асинхронним двигуном. Наявність аналітичної моделі мікропроцесорної системи управління дозволяє оцінити її повноту і несуперечність, визначити відносини і типи зв’язків між підсистемами управління і візуалізації, а також описати функціональні можливості елементів окремих підсистем і алгоритми обробки даних. При цьому основним якістю функціонально закінченої математичної моделі логіко-динамічного процесу перетворення сигналів є мінімізація словесного опису їх змісту.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] А. В. Ярошенко Единое управление разнородными взаимосвязанными процессами в судостроении / А.В. Ярошенко // Судостроение, – 2001. № 5. – С. 30 – 31.
- [2] Н. Н. Моисеев Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
- [3] А. Схрейвер Теория линейного и целочисленного программирования. / А.Схрейвер. В 2-х т. – М. : Мир, 1991. – 726 с.
- [4] Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін. За ред. М.Г. Поповича. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.

Безпроводна передача даних з використанням мікроконтролера PSoC 4 BLE

М. М. Собко
кафедра радіофізики та
комп'ютерних технологій
ЛНУ імені Івана Франка
Львів, Україна
sobko.nick@gmail.com

Б. Я.Благітко
кафедра радіофізики та
комп'ютерних технологій
ЛНУ імені Івана Франка
Львів, Україна
blagitko@gmail.com

Data transfer wirelessly using microcontroller PSoC 4 BLE

M Sobko
Department of Radiophysics and
Computer Technologies
Ivan Franko Lviv's National University
Lviv, Ukraine
sobko.nick@gmail.com

B. Blagitko
Department of Radiophysics and
Computer Technologies
Ivan Franko Lviv's National University
Lviv, Ukraine
blagitko@gmail.com

Анотація— Обґрунтовано використання мікроконтролера PSoC 4 BLE, який дозволяє збільшити спектр застосування технології Bluetooth з низьким рівнем енергоспоживання. Запропоновано застосування мікроконтролера для вимірювання смісних сенсорів. Проведено тестування роботи мікроконтролера при різних умовах.

Abstract—Microcontroller PSoC 4 Bluetooth Low Energy used to increase the Bluetooth technology using range. Capsense position measurement method proposed and tested in different conditions.

Ключові слова—мікроконтролер, компонента, Bluetooth з низьким рівнем енергоспоживання, режими живлення.

Keywords—microcontroller, component, Bluetooth Low Energy, energy modes.

I. ВСТУП

Попри значне поширення технології бездротової передачі даних по каналу WIFI, де для обміну цифрових потоків використовується радіоканал, технологія Bluetooth не втратила своїх позицій на ринку бездротового зв'язку короткого радіуса дії. Зі збільшенням кількості наручних та кишенькових приладів потреба у не шкідливому для здоров'я та енергоекономному способу передачі даних тільки виросла. Тому зараз постає завдання знаходження

якомога менш витратної технології для передачі інформації на невеликі відстані.

Bluetooth з низьким рівнем енергоспоживання (Bluetooth low energy, BLE) є стандартом для бездротової передачі даних з низьким енергоспоживанням для «інтернет речей» (англ. Internet of Things). Ця версія Bluetooth була створена для малопотужних продуктів з багатьма сенсорами таких як наручні, медичні та домашні пристрої. Тепер Bluetooth є у смартфонах, планшетах, ноутбуках та стаціонарних комп'ютерах, які разом утворюють цілу систему портів для простого підключення.

II. МІКРОКОНТРОЛЕР PSoC 4 BLE

Завдяки своїй архітектурі мікроконтролери PSoC підтримують взаємодію з малопотужними деталями. PSoC є першою у світі вбудованою програмованою платформою, яка включає в себе процесор, наприклад 32-розрядний ARM Cortex-M0, сенсори, лічильники, аналогові та цифрові програмовані блоки. Через це мікроконтролери PSoC прискорюють проектування надійних і простих у використанні систем, таких як вимірювання та передача сенсорних даних.

Проектування бездротових сенсорних систем для сучасних пристроїв не є простою задачею. Це пояснюється тим, що створення таких систем вимагає в інженерів працювати з кількома інструментами проектування від різних виробників мікросхем. При розробці наручних

датчиків необхідні аналогові інтерфейси для сенсорів, цифрова логіка для управління, Bluetooth для передачі та сам мікроконтролер. Ці системи часто працюють від звичайної монетної батарейки і потребують розумного використання режиму малої потужності. Мікроконтролер PSoC 4 BLE вирішує ці задачі за допомогою:

- Спрощення конфігурації стеку протоколів та профілів Bluetooth за допомогою простої у використанні BLE компоненти.
- Інтеграції програмованої цифрової логіки, ємнісних сенсорів, Bluetooth та процесора ARM Cortex-M0

Однією з головних переваг мікроконтролера PSoC 4 BLE є можливість роботи з високо енергоощадними системами, які здатні працювати при різних режимах живлення. Ці режими мають назви активний, сон, режим глибокого сну, бездіяльний режим та режим зупинки. Детальний опис характеристик енергетичних режимів зображений у таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МІКРОКОНТРОЛЕРА PSoC 4 BLE

Режим	Характеристики			
	Поточне споживання	Активна цифрова периферія	Активна аналогова периферія	Час на пробудження
Активний	2.2 мА	Всі прилади	Всі прилади	-
Сон	1.3 мА	Всі прилади	Всі прилади	0
Глибокий сон	1.3 мкА	WTD, LCD, Канальний рівень	Компаратор, Операційні підсилювачі	25 мкс
Бездіяльний	150 нА	Жодного	Компаратор	2 мс
Зупинки	60 нА	Жодного	Жодного	2мс

Під час переключення з одного стану в інший та в інтервалі з'єднання система Bluetooth споживає в середньому 19 мкА струму.

Мікроконтролер PSoC 4 BLE використовується як клієнт для передачі даних по каналу Bluetooth пристроям, які підключені до нього. Після ввімкнення мікроконтролера починається відлік часу (зазвичай 30 секунд), протягом якого Bluetooth компонента знаходиться у відкритому стані (вільна для з'єднання з сервером). Якщо цей час сплинув і жоден пристрій не під'єднався, вона переходить у стан глибокого сну для економії енергії. Щоб компонента Bluetooth знову стала відкритою, потрібно перезавантажити пристрій натиснувши кнопку "RESET" на мікроконтролері [1, 3].

III. МОБІЛЬНИЙ ТЕЛЕФОН ЯК ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ З PSoC 4 BLE

Для роботи з мікроконтролером необхідно, щоб пристрій, який буде виконувати роль сервера, мав Bluetooth 4.0. Іншою необхідною умовою є наявність

програмного забезпечення на серверному пристрої, яке має доступ до потрібних функцій та властивостей клієнта (мікроконтролера). Для смартфонів на базі операційної системи Android та смартфонів компанії Apple фірма Cypress створила мобільний додаток CySmart. Ця програма дозволяє користувачу отримати доступ до даних, які були отримані з мікропроцесора, у зручному та зрозумілому вигляді. CySmart підтримує такі профілі та сервіси BLE як: профіль частоти серцевих скорочень, сервіс батареї, профіль наближення, профіль тиску крові та інші. Такі додаткові можливості як реєстратор даних, база даних генеральних атрибутів (англ. GATT DB) та емулятор дистанційного керування дають користувачу повну інформацію про стан та можливості системи [2].

IV. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Оскільки мікроконтролер PSoC 4 BLE вже містить кілька вбудованих сенсорів (датчик наближення, ємнісний сенсор), він вже може бути використаний для вимірювання даних при взаємодії користувача з мікроконтролером. Одним з таких варіантів є вимірювання положення пальця, використовуючи лінійний ємнісний сенсор, та передача цього положення через Bluetooth 4.0 на смартфон.

Після під'єднання джерела живлення до мікроконтролера (через miniUSB чи за допомогою двох батарейок по 1.5 В, під'єднаних до портів VDD та GND) він стає доступним для підключення пристроїв, які отримуватимуть дані. Компонента BLE перебуває у відкритому стані 30 секунд, тобто тільки в цей час пристрій-сервер може підключитися до неї. Для того, щоб підключитися до мікроконтролера необхідно включити Bluetooth і вибрати пристрій «Caps» для з'єднання з ним. Потрібно також зазначити, що передача вимірюваних значень на пристрій-сервер можлива лише при стабільному з'єднанні та працює однаково, як на віддалі 5 м, так і на віддалі 20 м від мікроконтролера.

ВИСНОВКИ

Запропонований та реалізований метод бездротової передачі даних ємнісних сенсорів за допомогою мікроконтролера PSoC 4 BLE показав високу ефективність.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Cypress PSoC 4 BLE (Bluetooth Low Energy) [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Тіф-Рівер-Фолс: «Digi-Key Electronics» 1998-2016]. – Режим доступу: <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2015/dec/cypress-psoc-4-ble-bluetooth-low-energy> (дата звернення 17.04.2016). – Назва з екрана.
- [2] GATT | Bluetooth Development Portal [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Кіркланд: «Bluetooth SIG» 2016]. – Режим доступу: <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/GATT.aspx> (дата звернення 18.04.2016). – Назва з екрана.
- [3] Cypress offering BLE chipset, Here's what you need to know [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Мак-Кінні: «Argenox Technologies LLC» 2013-2016]. – Режим доступу: <http://www.argenox.com/blog/cypress-offers-ble-chipset/> (дата звернення 18.04.2016). – Назва з екрана.

Формування масиву вхідних даних в інтелектуальній системі мобільного робота

О.В. Харченко
кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
alexandrharченко106@gmail.com

Formation of an array of input in the intellectual mobile robot system

A. Kharchenko
Department of intelligent systems of acceptance of decision
Cherkasy National University Bohdan Khmelnytsky
Cherkasy, Ukraine
alexandrharченко106@gmail.com

Анотація— Обґрунтовано застосування процесу перетворення аналітичних сигналів отриманих від зовнішніх датчиків або системи технічного зору в моделі. Запропоновано новий метод покращення формування вхідних даних. Даний метод дозволяє значним чином підвищити показники адекватності математичних моделей.

Abstract— Application of analytical conversion process signals received from external sensors or vision systems in the model. A new method to improve the formation of input. This method allows to significantly improve the performance of adequacy of mathematical models.

Ключові слова— локальна метрична карта; база модельних знань

Keywords— local metric map; Knowledge base model

I. ВСТУП

Розширення кола задач, яке відбулось останнім часом для мобільних роботів вимагає підвищення потужності його інтелектуальних здібностей, тому в даній роботі розглядаються методи та моделі, що забезпечують можливість модального отримання нової інформації на базі існуючої. Типовими функціями, які виконує кожен робот, є функція позиціонування та його руху із точки А в точку Б із одночасним виконанням специфічних функцій.

Передбачається отримання результатів від датчиків інфрачервоних, ультразвукових та інших джерел отримання зовнішньої інформації.

Предметом дослідження даної роботи є процес перетворення аналітичних сигналів, отриманих від

зовнішніх датчиків або системи технічного зору в модель – багатопараметричну функціональну залежність характеристики стану об'єкту від множини аналітичних сигналів отриманих від датчиків. Для отримання цих функціональних залежностей застосовуються методи індуктивного моделювання, нейромережі, генетичні алгоритми. Використовуються технології багатопараметричного та багаторівневого моделювання. Отримані моделі поєднуються в єдину структуру бази модельних знань. Після того як база модельних знань сформована на етапі її використання аналітичні сигнали від датчиків перетворюються у інформацію, яка дозволяє мобільному роботу приймати рішення із управління своїми виконавчими механізмами – двигунами. Можливості синтезаторів моделей є стабільними і зростання корисності результатів моделювання можливо досягнути шляхом підвищення інформативності масиву вхідних даних – аналітичних сигналів від датчиків підсистеми технічного зору.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою даної роботи є дослідження процесу формування масиву аналітичних сигналів. Передбачається досягнути мету шляхом аналізу локальної метричної карти. Мета буде досягнута тоді, коли застосування методів формування вхідних даних дозволить покращити показники адекватності моделей середню похибку та середньоквадратичне відхилення результатів моделювання від еталонних даних.

III. ЛОКАЛЬНА МЕТРИЧНА КАРТА

Локальна метрична карта створює покриття даних від ультразвукових датчиків. Для окремого ультразвукового датчика ми можемо розділити площу, яку він покриває, на 4 області (рис. 1).

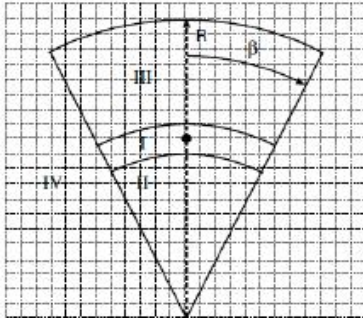


Рис. 1. 4 області в середині ультразвукового датчика вимірювання

Регіон I. Відіграє роль у розпізнаванні об'єкта. Цей регіон має вигнуту форму, тому що інформація про перешкоди має розширюватися по всій дузі. Висота цієї області визначається локальною метрикою карти (для конкретного датчика) і помилкою вимірювань. У нашій моделі області I і III однакові.

Регіон II. Інтерпретується як вільний регіон. Це логічно, тому що якщо є ще одна перешкода, область I буде ближче до ультразвукового датчика.

Дані з ультразвукового датчика можуть бути записані в локальній метричній карті з простої адитивної моделі. Однак використання деякої імовірнісної моделі є більш правильним. Ця модель найбільше відповідає реальному ультразвуковому датчику. Для регіону II можливість захвату в кожній клітинці може обчислюватися таким чином:

$$P(x, y) = P_{\beta} \cdot P_R$$

де:

$$P_{\beta} = 1 - \left(\frac{\frac{16}{3} \cdot \beta^2 - \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot \beta}{\alpha^2} \right)$$

$$P_R = (P_{point} - R_{min}) \cdot \Delta_{\varepsilon}$$

$$\Delta_{\varepsilon} = \frac{P_{\varepsilon}}{R_{mes} - R_{min}}$$

β є кутовий радіус конуса датчика, α кутова ширина конуса датчика, R_{point} радіус записаної точки в локальній метричній карті, яка отримана з положення ультразвукового датчика, R_{min} це мінімальний радіус який походить від мінімального діапазону вимірювання датчика, R_{mes} це фактичний виміряний радіус для перешкоди який отримано з датчика і P_{ε} це діапазон інтерпретації для області II.

За допомогою локальних метричних карт було сформовано масив вхідних даних, наведений в таблиці 1, який відображає відстані до об'єктів цієї карти.

ТАБЛИЦЯ 1. ПОКАЗНИКИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ

Кут повороту	Лівий датчик	Центральний датчик	Правий датчик
1.00	2.00	3.00	4.00
0.00	1.00	3.00	5.00
-0.83	3.00	1.00	-1.00
-1.83	1.60	0.20	-1.20
-2.33	1.50	0.80	0.10
-2.83	1.40	1.40	1.40
-3.33	2.50	2.10	1.70
...
-4.33	1.58	0.58	-0.43

Результати дослідження наведено на рисунку 2.

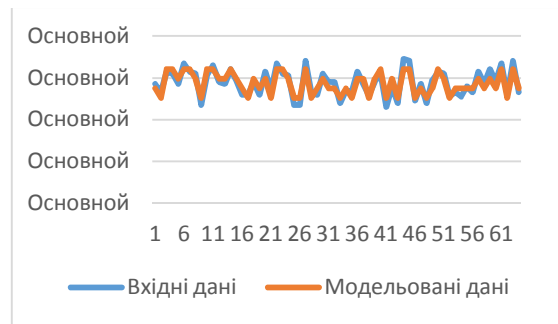


Рис. 2. Результати порівняння модельованих та реальних показників.

ВИСНОВКИ

Дана робота демонструє дослідження формування локальних метричних карт які використовуються для побудови ієрархічних математичних моделей для прийняття рішень в багаторівневій структурі мобільного робота.

Проведена параметрична оптимізація дозволила покращити результати моделювання на 14%.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] V. J. Aidala: 1979. Kalman filter behaviour in bearings-only tracking applications, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-15(1), 29-39, January.
- [2] Bar-Shalom, Y. and Fortmann, T. E.: 1988. Tracking and Data Association, Academic Press.

Метод класифікації масиву вхідних даних в інформаційній технології багаторівневого кризового моніторингу

С.В. Голуб

кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
fpkpk@ukr.net

А.С. Авраменко

кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
RedStar929@gmail.com

Method for classification of input data arrays in the multilevel information systems for crisis monitoring

S. Golub

Department of intelligent decision support systems
Bogdan Khmelnsky Cherkassy National University
Cherkassy, Ukraine
fpkpk@ukr.net

A. Avramenko

Department of intelligent decision support systems
Bogdan Khmelnsky Cherkassy National University
Cherkassy, Ukraine
RedStar929@gmail.com

Анотація— Запропоновано новий метод оптимізації структури інформаційної системи кризового моніторингу. Зменшення часу оптимізації досягнуто шляхом класифікації масиву вхідних даних. Для кожного масиву підбирається кращий алгоритм синтезу моделі. Експериментально підтверджено ефективність нового методу. Час перебудови структури зменшується в 3-4 рази. Похибка моделювання значимо не погіршується.

Abstract— New method for optimizing the structure of the crisis monitoring information systems is proposed. Reducing time of optimization achieved by classifying the input data arrays. Best algorithm of model synthesis is selected for each input data array. Effectiveness of the new method was experimentally confirmed. Time for restructuring of models reduced by 3-4 times. Errors of modelling is not significantly worse.

Ключові слова— кризовий моніторинг, багаторівневе моделювання, час перебудови системи, похибка моделювання.

Keywords— crisis monitoring, multilevel modeling, system restructuring time, modelling error

І. ВСТУП

Прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій накладає ряд обмежень на технології, що забезпечують інформацією ці процеси. Існує технологія багаторівневого перетворення даних яка реалізована у вигляді інформаційної системи з

ієрархічним поєднанням багатопараметричних моделей [1]. Ці моделі можуть бути реалізовані за допомогою індуктивних алгоритмів, нейронних мереж, генетичних алгоритмів та інших.

В цій системі реалізовано сценарій вибору кращого алгоритму синтезу багатопараметричних моделей (АСМ) шляхом послідовного їх випробування та вибору кращого.

Далі формується ієрархія моделей які на кожному рівні ієрархії розв'язують локальні задачі із перетворення даних. В таких ієрархічних структурах можуть поєднуватися велика кількість моделей, від п'ятдесяти і більше.

У випадку коли властивості масиву вхідних даних змінюються і одна з моделей перестає працювати, то проводиться заміна «пошкодженої» моделі із повторним синтезом моделей, що з нею пов'язані.

Цей процес займає тривалий час, приблизно 40 хвилин, в залежності від кількості моделей в структурі. В умовах кризового моніторингу де на обґрунтування рішення виділяється не більше 2-3 хвилин, а властивості МВД змінюються динамічно – є необхідність в зменшенні часу перебудови ієрархії моделей.

II. МЕТА РОБОТИ

Метою цієї роботи є зменшення часу перебудови структури ієрархії моделей без значної втрати точності результатів моделювання на виході системи.

Для досягнення поставленої мети була сформована гіпотеза про те, що зменшення часу повторного формування структури моніторингової системи можливо досягнути, якщо розв'язувати задачу розпізнавання образу кращого АСМ із переліку попередньо заданих для кожного МВД. На відміну від послідовного випробування кожного із наявних АСМ із наступним вибором кращого алгоритму, пропонується побудувати вирішуюче правило, яке забезпечить для кожного МВД вибір найбільш придатного АСМ.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сформульована гіпотеза була перевірена експериментально. Вирішуюче правило створювалось за допомогою багаторядного алгоритму МГУА [2]. В якості класифікаційних ознак МВД використовувався набір характеристик, запропонований в [3].

Для синтезу моделей використані результати моніторингу захворюваності населення Черкаської області впродовж 2000-2014 років. Досліджувався процес синтезу моделі, яка містила залежність захворюваності населення від концентрації шкідливих речовин у воді, повітрі, продуктах харчування.

Порівнювались результати розрахунків досліджуваного показника, одержаних за моделлю, що була синтезована після послідовного випробування всіх попередньо сконструйованих АСМ та моделей, що були отримані після розпізнавання кращого АСМ за допомогою індуктивної моделі МГУА.

В результаті час синтезу моделі зменшився в дев'ять разів і досягнув восьми секунд. Похибка могла зрости приблизно на 6.4% і досягнути значення 9,7%.

ВИСНОВКИ

Зростання похибки моделювання є «платою» за скорочення часу синтезу моделей. Зважаючи на те, що в структурі інформаційної системи багаторівневого перетворення даних міститься від 50 моделей і більше, вдається досягнути значного скорочення часу адаптації структури системи до зміни властивостей МВД. В умовах кризового моніторингу такі результати дають надію на можливість застосування моніторингових інформаційних систем із технологіями багаторівневого перетворення даних для підтримки прийняття рішень із локалізації наслідків надзвичайних ситуацій.

Таким чином запропонований новий метод класифікації масиву вхідних даних в інформаційних системах багаторівневого кризового моніторингу. Зменшення часу перебудови структури моніторингової інформаційної системи для розв'язку нових задач в умовах надзвичайних ситуацій досягається шляхом розв'язку задачі розпізнавання кращого алгоритму синтезу моделей за правилом, що створене за багаторядним алгоритмом МГУА.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища / С.В.Голуб ; Черкас. нац. ун-т ім. Б.Хмельницького. - Черкаси : ЧНУ, 2007. - 218 с.
- [2] А. Г. Ивахненко Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. Думка, 1981. 296 с.
- [3] П. О. Колос Визначення множини інформативних параметрів таблиці первинного опису об'єкта моделювання./ Вісник Черкаського університету, випуск 173. – Черкаси: Вид. ЧНУ, 2009. – С. 121-128.

Інтелектуальний пошук відомостей технічними системами інформаційного моніторингу

М.С. Голуб

кафедра інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
Mas-golub@yandex.ru

Intelligent search for details in technical systems information monitoring

M. Holub

Department of Information Security and Computer Engineering
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
Mas-golub@yandex.ru

Анотація — Описана інформаційна технологія інтелектуального пошуку відомостей технічними системами. Для формування вирішуючих правил запропоновано використати методи багаторівневого моделювання. Експериментально підтверджено можливість та доцільність застосування описаної технології для автоматизації процесу пошуку текстів заданого змісту.

Abstract — Described the information technology of intelligent search information technology systems. To form the deciding rules proposed use multilevel modeling techniques. Experimentally confirmed the possibility and feasibility of the technology to automate the process of finding a given text content.

Ключові слова — Пошук тексту за змістом, багаторівневе моделювання, технічна система, інформаційний моніторинг.

Keywords — Search for text content, multilevel modeling, system engineering, information monitoring

I. ВСТУП

Інтелектуальні властивості технічного пристрою визначається його здатністю здобувати нову інформацію на основі вже відомої. Системи інформаційного моніторингу, на відміну від інших, Моніторингові інформаційні системи призначені для забезпечення відомостями про властивості об'єктів процеси прийняття рішень шляхом обробки та перетворення результатів

неперервних спостережень, поданих у вигляді текстових повідомлень, аудіо – та відео-файлів .

Необхідність контекстного пошуку інформації технічними системами викликана потребою підвищити ефективність пошуку відомостей, які потрібні саме для синтезу моделі, що призначена для профілювання текстів із заданими характеристиками. Тобто потрібно знаходити тексти заданого змісту, а не тільки за ключовими словами.

Поставлене завдання вирішується шляхом використання методів багаторівневого моніторингу [1]. Забезпечується ієрархічне поєднання багатопараметричних моделей, що навчені еталонними текстами заданого змісту [2].

Автором розвивається напрямок багаторівневого моніторингу в предметній області інтелектуального аналізу текстових повідомлень.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

В цій роботі розв'язується задача класифікації тестових повідомлень за заданим змістом. Наперед відомою інформацією є перелік класів та зміст повідомлень, що належать до цих класів. Завданням є пошук тих ділянок текстів серед множини текстових повідомлень, зміст яких відповідає наперед заданому змістові одного із класів.

III. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОНТЕКСТНОГО ПОШУКУ ВІДОМОСТЕЙ

Поставлена задача розв'язувалась шляхом побудови множини вирішуючи правил, що дозволяли відносити виділені ділянки тексту до наперед заданих змістовних класів. Правила синтезувались у вигляді багаторівневих функціональних залежностей, що поєднують в своїй структурі індуктивні моделі, нейромережі, генетичні алгоритми, гібридні моделі, отримані за завершеними алгоритмами. Для розв'язання задачі узгодження взаємодії цих моделей використовується метод висхідного синтезу елементів [1]. Ці методи, засоби та алгоритми синтезу моделей (АСМ) поєднані в інформаційну технологію інтелектуального пошуку відомостей технічними системами інформаційного моніторингу (ТСІМ). Вона містить такі етапи.

1. Підготовчий. Формуються моделі змісту повідомлення. Проводиться аналіз тексту, перетворення текстового повідомлення в масив його чисельних характеристик, синтез та випробування моделей.

Текст аналізується шляхом виділення окремих ділянок (вікон) із послідовно розміщених в тексті речень. Перетворення текстового повідомлення проводиться шляхом розрахунку частотних характеристик наперед заданих ознак тексту. В результаті розрахунків отримуємо вектор ознак — точку спостереження в багатовимірному просторі ознак первинного опису об'єкта моделювання. Після оцінки інформативності деякі ознаки, що мають незадовільні частотні характеристики, текстів видаляються із первинного опису. Точки спостереження, що сформовані за вектором інформативних ознак утворюють масив вхідних даних (МВД).

Належність ділянки тексту до заданого змістовного класу відображалась шляхом позначення точки спостереження як «Свій». Таким чином утворюється послідовність точок спостереження, які відображають в своїй структурі зміст повідомлення, що належить до заданого класу. Іншим точкам спостереження надавався статус «Чужий». Вони відображають зміст повідомлення, які належать до інших класів.

Синтез моделей забезпечує розв'язок задачі групування точок спостереження. Кожна модель використовується як вирішуючи правило, що дозволяє віднести кожному точці до одного із заданих класів. Для формування цього правила забезпечується ієрархічне поєднання багатопараметричних моделей [1] відповідно до індуктивного методу [3]

За результатами випробування моделі визначалося порогове значення результатів моделювання, вище якого модельоване спостереження позначалося як «Свій». Після цього модель заноситься до бази модельних знань.

2. Оперативне використання. Аналізований текст подається на вхід ТСІМ. За результатами перетворення МВД паралельно кількома вирішуючими правилами бази модельних знань приймається рішення про відповідність дослідженого фрагменту тексту заданому змісту.

При випробуванні описаної технології визначалась кількість вірно розпізнаних фрагментів тексту відповідно до наперед заданого змісту та залежність результатів контекстного пошуку від виду опорної моделі. В таблиці 1. подані види опорних моделей, що приймали участь в процесі синтезу вирішуючого правила.

ТАБЛИЦЯ 1. ВИДИ ОПОРНИХ МОДЕЛЕЙ

Модель	Вид моделі
$x_1 + x_2$	1
$x_1^2 + x_2^2 + x_1 x_2$	2
$x_1^2 x_2 + x_2^2 x_1 + x_1 x_2 + x_1 + x_2$	3
$x_1^2 + x_2^2 x_1 + x_1 x_2 + x_1 + x_2$	4

На рис. 1 подані результати випробувань описаної технології.

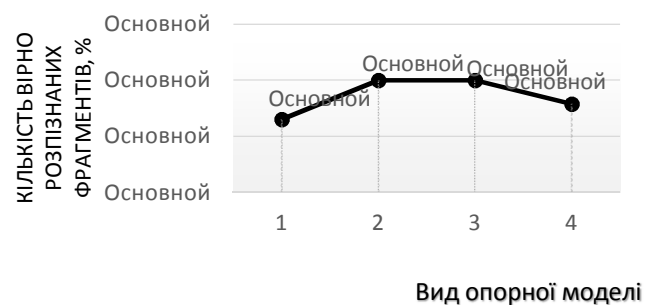


Рис. 1. Результати контекстного пошуку відомостей

ВИСНОВКИ

Розв'язано задачу інтелектуального пошуку текстових повідомлень заданого змісту за технологією багаторівневого моніторингу. Ефективність інтелектуального пошуку залежить від інформативності заданих ознак тексту та вигляду опорної моделі. Після параметричної оптимізації процесу інтелектуального пошуку відомостей досягнуто прийнятної надійності розв'язку поставленої задачі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] S. V. Holub Bagatorivneve modeluvanya v tehnologiah monitoringu otchujuchogo seredovischa / S.V. Holub. – Cherkasy: Vidavnichiy viddil Cherkaskogo natsionalnogo universitetu imeni Bohdana Hmel'nitskogo, 2007. – 220 s.

[2] S. V. Holub Vidobragenia vlastivostey avtora tekstu v strukturі bagatoparametrichnoi modeli / S.V. Holub, O.V. Konstantinovska, M.S. Holub // Sistemy obrobky informatsii: Zbirnik naukovih prats. – Harkiv: Harkivskii universitet povitrianih sil imeni Ivana Kozeđuba, 2014. – Vipusk. 9 (125). – S. 82-87

[3] A. G. Ivahnenko Induktivniy metod samoorganizatsii modeley sloĝnih sistem / A.G. Ivahnenko. – Kiiv. : Naukova dumka, 1981. – 296 s.

Гібридний еволюційний алгоритм формування топології глибокої нейромережі

Д.Ю. Коваль, О.І. Чумаченко
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
НТУУ «КПІ»
Київ, Україна

Hybrid evolutionary algorithm for formation of deep neural network topology

D. Koval., O. Chumachenko
Faculty of Information Technology and Computer Engineering
NTUU "KPI"
Kiev, Ukraine

Анотація—Запропоновано використання еволюційних алгоритмів для формування топології глибоких нейронних мереж.

Abstract—Usage of evolutionary algorithms for formation of deep neural network topology is proposed.

Ключові слова—алгоритм рою частинок; генетичний алгоритм; глибокі нейронні мережі.

Keywords—particle swarm optimisation; genetic algorithm; deep neural network.

I. ВСТУП

В даний час широке розповсюдження знайшли глибокі нейронні мережі. Синтез оптимальної структури такої нейронної мережі (визначення кількості шарів, нейронів, зв'язків між нейронами) є доволі непростим завданням, оскільки, з одного боку, необхідно забезпечити високу точність роботи, яка залежить від кількості нейронів. З іншого боку, для уникнення проблеми перенавчання, зменшення обчислювальної складності та підвищення швидкості роботи, необхідно мінімізувати кількість нейронів та зв'язків між ними. В даній роботі пропонується для синтезу оптимальної структури штучних нейронних мереж (ШНМ) скористатися модифікованими версіями генетичного алгоритму і алгоритму рою частинок, а також комбінованим алгоритмом, що поєднує в собі два вищезгаданих, та порівняти їх ефективність.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задана вхідна вибірка, елементами якої є пари (x_i, d_i) , де x_i – вхідні дані, d_i – еталонні виходи. Необхідно визначити

структуру ШНМ (кількість шарів, кількість нейронів у шарах, міжшарові зв'язки) для основної глибокої мережі.

Вирішення поставленої задачі виконується на основі мінімізації помилки роботи мережі (оцінюється по перевірочній вибірці) та складності ШНМ (оцінюється по кількості зв'язків між нейронами).

III. ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ГЛИБОКОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ

В загальному вигляді структура нейронної мережі глибокого навчання представлена на рис. 1.

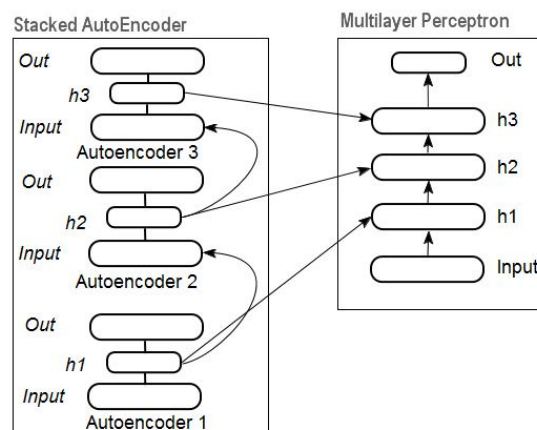


Рис. 1. Глибока нейронна мережа з використанням автоенкодерів

Набір автоенкодерів (або машин Больцмана) використовується для попереднього налаштування ваг основної нейромережі, в якості якої використовується

багатошаровий перцептрон. Використання попереднього налаштування дозволяє прискорити процес навчання та запобігти потраплянню в локальні мінімуми під час навчання. Одним із шляхів підвищення ефективності навчання є попередній вибір оптимальної структури основної нейромережі. Для розв'язання даної задачі можна скористатися еволюційними алгоритмами: методом рою частинок або генетичним алгоритмом.

IV. ОГЛЯД МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ТОПОЛОГІЇ ШНМ

A. Алгоритм рою частинок

Щоб зрозуміти алгоритм рою частинок, уявімо n -мірний простір (область пошуку), в якому нишпорять частки (агенти алгоритму) [1]. На початку частки розкидані випадковим чином по всій області пошуку і кожна частинка має випадковий вектор швидкості. У кожній точці, де побувала частинка, розраховується значення цільової функції. При цьому кожна частка запам'ятовує, яке (i де) краще значення цільової функції вона особисто знайшла, а також кожна частка знає де розташована точка, яка є найкращою серед усіх точок, які розвідали частки. На кожній ітерації частки коректують свою швидкість (модуль і напрямок), щоб з одного боку бути ближче до кращої точки, яку частка знайшла сама і, в той же час, наблизитися до точки, яка в даний момент є глобально кращою. Через деякий кількість ітерацій частки повинні зібратися поблизу найбільш хороших точок.

B. Генетичний алгоритм

Для опису генетичних алгоритмів використовується біологічна термінологія, де ключовим поняттям є хромосома, що представляє собою вектор (ланцюжок), утворений нулями і одиницями [2]. Алгоритм починає свою роботу з генерації початкової популяції хромосом, розмір якої P вважається постійним. Для кожної із хромосом можна оцінити її пристосованість, яка визначається значенням цільової функції E . Далі починається процес репродукції популяції, який формується генетичними операторами кросовера, мутації та інверсії та операцією селекції. У результаті, формується розширена популяція хромосом, що містить як вихідну множину хромосом-батьків, так і множину нащадків. Кожен стринг розширеної популяції оцінюється з точки зору його пристосованості за критерієм E , після чого формується нова популяція W , яка містить $P(1)$ хромосом з найменшими значеннями критерію E . Таким чином, алгоритм накопичує вдалі рішення, «стягуючи» популяцію до глобального екстремуму цільової функції.

V. МОДИФІКОВАНІ АЛГОРИТМИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ НЕЙРОМЕРЕЖІ

В усіх розглянутих нижче алгоритмах для навчання та оцінки якості отриманої конфігурації нейронної мережі вхідна вибірка розбивається на дві частини:

- навчальна вибірка — містить 70% елементів та використовується для навчання ШНМ;
- контрольна вибірка — містить 30% елементів та використовується для оцінки точності роботи ШНМ

A. Алгоритм рою частинок

Нехай необхідно розрахувати кількість нейронів прихованих шарів для n -шарової мережі.

Крок 1. Задаємо розмір популяції (кількість частинок) P , ліміт на кількість ітерацій пошуку L та задовільне значення помилки роботи нейромережі ϵ .

Крок 2. Побудуємо випадковим чином набір векторів

$$Y_i(y_1 y_2 \dots y_n), \quad (1)$$

де y_k — кількість нейронів у k -тому шарі, $k=1..n$, $i=1..P$.

Кожен такий вектор відповідатиме одній частинці рою.

Крок 3. Для кожної частинки випадковим чином задаємо її швидкість v_i , i — номер частинки, $i=1..P$.

Крок 4. Для кожної частинки будемо відповідну їй нейронну мережу. Навчаємо кожну з отриманих мереж та обчислюємо середню квадратичну помилку її роботи на контрольній вибірці даних. Обчислена помилка слугуватиме функцією якості для відповідної частинки.

Крок 5. Для кожної частинки знаходимо мінімальне значення її функції якості за всю історію. Позначаємо значення вектора Y_i (де i — номер частинки), що відповідає знайденому мінімальному значенню функції якості, як Y_i^{lbest} — локальне найкраще рішення для відповідної частинки

Крок 6. Серед усіх частинок знаходимо мінімальне значення функції якості за всю історію рою. Позначаємо значення вектора Y , що відповідає знайденому значенню функції якості, як Y^{gbest} — глобальне найкраще рішення

Крок 7. Модифікуємо швидкість v_i , i — номер частинки, кожної частинки наступним чином [3]:

$$v_{i,t+1} = v_{i,t} + \varphi_p r_p (Y_i^{lbest} - Y_{i,t}) + \varphi_g r_g (Y^{gbest} - Y_{i,t}) \quad (2)$$

де $v_{i,t}$ — швидкість i -ї частинки при t -ій ітерації,

$Y_{i,t}$ — вектор i -ої частинки при t -ій ітерації алгоритму,

Y_i^{lbest} — локальне найкраще рішення i -ої частинки,

Y^{gbest} — глобальне найкраще рішення,

r_p, r_g — випадкові числа з інтервалу $(0, 1)$,

φ_p, φ_g — вагові коефіцієнти, що обираються довільним чином. Є аналогами «швидкості навчання» для ШНМ.

Крок 8. Модифікуємо значення вектора Y_i , що відповідає кожній частинці наступним чином:

$$Y_{i,t+1} = \text{int}[Y_{i,t} + v_{i,t+1}] \quad (3)$$

де i — номер частинки, t — номер ітерації, $\text{int}[]$ — ціла частина.

Крок 9. Критерій зупинки.

Якщо знайдене на бтому кроці значення глобального найкращого рішення забезпечує необхідну точність

$$Y^{gbest} < \epsilon, \quad (4)$$

або досягнуто ліміту кількості ітерацій

$$t \geq L, \quad (5)$$

то закінчуємо процес пошуку. А вектор $Y^{g_{best}}$ відповідає найкращій знайденій конфігурації нейромережі. Інакше — збільшуємо лічильник ітерацій і переходимо до кроку 4.

В. Генетичний алгоритм

Крок 1. Задаємо розмір популяції (кількість хромосом) P , ліміт на кількість ітерацій пошуку L та задовільне значення помилки роботи нейромережі ϵ .

Крок 2. Генеруємо випадковим чином початковий набір хромосом

$$W_i(w_{11} \dots w_{1k} \ w_{21} \dots w_{2k} \ \dots \ w_{n1} \dots w_{nk}), \quad (6)$$

де $w_{p1} \dots w_{pk}$ - закодований у двійковому форматі вектор, що описує кількість нейронів у p -тому шарі нейронної мережі, $k=1..n$, $i=1..P$.

Кожна хромосома відповідатиме певній архітектурі ШНМ.

Крок 3. Для новостворених хромосом виконуємо операції кроссовера та мутації.

Крок 4. У результаті схрещувань та мутацій отримуємо розширену популяцію хромосом, що містить як вихідну множину хромосом-батьків, так і множину нащадків.

Крок 5. Для кожної хромосоми з розширеної популяції будемо відповідну їй нейронну мережу. Навчаємо кожну з отриманих мереж та обчислимо середню квадратичну помилку її роботи на контрольній вибірці даних.. Обчислена помилка слугуватиме функцією пристосованості для відповідної хромосоми.

Крок 6. Формуємо нову популяцію W , яка містить P хромосом з найменшим значенням функції пристосованості.

Крок 7. Критерій зупинки.

Якщо знайдене на бтому кроці значення помилки E забезпечує необхідну точність

$$E_p < \epsilon, \quad (7)$$

або досягнуто ліміту кількості ітерацій

$$t \geq L, \quad (8)$$

то закінчуємо процес пошуку. А хромосома w_p відповідає найкращій знайденій конфігурації ШНМ. Інакше — збільшуємо лічильник ітерацій і переходимо до кроку 3.

С. Комбінований алгоритм

Алгоритм рою частинок забезпечує вищу точність рішення (за рахунок пам'яті частинок) і швидше отримання прийнятної розв'язку (за рахунок меншої обчислювальної складності). В той же час генетичний алгоритм краще пристосований для розв'язання дискретних проблем і має кращі механізми боротьби з локальними мінімумами (за рахунок мутацій і вдалих кроссоверів). Авторський алгоритм дозволяє поєднати в собі переваги обох алгоритмів і тим самим досягти швидшого і точнішого вирішення поставленої задачі.

Крок 1. Обидва алгоритми (рою частинок і генетичний) запускаються одночасно в паралельному режимі для синтезу структури однієї і тієї нейромережі.

Крок 2. Виконується одна ітерація кожного алгоритму відповідно до описаної в попередніх пунктах методики.

Крок 3. Після кожної ітерації порівнюються результати знайдені обома алгоритмами і вибирається найкраще рішення.

Нехай $Y^{(i)}_{ps}$ — найкраще рішення знайдене алгоритмом рою частинок на i -тій ітерації, а $W^{(i)}_{ga}$ — найкраще рішення знайдене генетичним алгоритмом.

Якщо

$$E(Y^{(i)}_{ps}) < E(W^{(i)}_{ga}), \quad (9)$$

тобто, отримане алгоритмом рою частинок рішення забезпечує менше значення функції якості E , то переходимо до кроку 4а. Інакше—переходимо до кроку 4б.

Крок 4а. Замінюємо найгірше рішення генетичного алгоритму $W^{(i)}_{ga_worst}$ рішенням $Y^{(i)}_{ps}$

$$W^{(i)}_{ga_worst} := Y^{(i)}_{ps} \quad (10)$$

І переходимо до кроку 5.

Крок 4б. Замінюємо найгірше рішення алгоритму рою частинок $Y^{(i)}_{ps_worst}$ рішенням $W^{(i)}_{ga}$

$$Y^{(i)}_{ps_worst} := W^{(i)}_{ga} \quad (11)$$

І переходимо до кроку 5.

Крок 5. Якщо обидва алгоритми продовжують свою роботу (тобто, критерій зупинки не виконується для жодного з них), то переходимо до кроку 2.

Даний підхід повторюється до зупинки одного з алгоритмів. В якості остаточного рішення приймається краще із рішень, знайдених обома алгоритмами на момент зупинки.

ВИСНОВКИ

Запропоновано алгоритм формування топології ШНМ, який дозволяє сформувати оптимальну з точки зору точності, швидкості навчання та швидкості роботи ШНМ. Алгоритм було перевірено на вибірці MNIST і помилка роботи глибокої ШНМ скоротилася з 2,51% до 2,09%.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Алгоритм рою частинок. Описание и реализации на языках Python и C#. <http://jenyay.net/Programming/ParticleSwarm#outro>
- [2] Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. – Х: Телетех, 2004. – 369 с.
- [3] J. Kennedy and R. Eberhart, Swarm Intelligence, Academic Press, 1st ed., San Diego, CA, 2001

Метод побудови прогнозуючої моделі з динамічними параметрами

В.М.Синєглазов
кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів
Інститут інформаційно-діагностичних систем
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

О.І. Чумаченко
кафедра технічної кібернетики
НТУУ «КПІ»
Київ, Україна
lobach21@mail.ru

В.С. Горбатюк
кафедра технічної кібернетики
НТУУ «КПІ»
Київ, Україна
vladislav.horbatiuk@gmail.com

Method of building the forecasting model with dynamic parameters

V. Sinyeglazov
Department of Aviation Computer-Integrated Complexes
Institute of Information and Diagnostic Systems
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

O. Chumachenko
Department of Technical Cybernetics
NTUU "KPI"
Kyiv, Ukraine
lobach21@mail.ru

V. Gorbatiuk
Department of Technical Cybernetics
NTUU "KPI"
Kyiv, Ukraine
vladislav.horbatiuk@gmail.com

Анотація—Із задачею прогнозування пов'язані такі проблеми як нестійкість впливу вхідних факторів на прогнозований процес, велика кількість придатних моделей та інші. У цій роботі запропоновано нову постановку задачі прогнозування та метод побудови прогнозуючої моделі, який динамічно вибирає набір моделей в залежності від заданих входів і враховує мінливий характер значущості / впливу факторів. Запропонований метод було порівняно з 2 іншими методами побудови прогнозуючих моделей на 11 різних наборах даних, і він мав найменшу середню середньоквадратичну помилку.

Abstract—The forecasting problem is rightly considered to be one of the most important and interesting tasks. It is also one of the most difficult ones, since it is associated with such problems as the impact of volatility of input factors on the forecast process, a large number of suitable models and others. In this paper a method that tries to deal with the first two questions is suggested,

as it dynamically selects a set of models based on specified inputs and takes into account the changing nature of factors significance / impact. The approach designed by the authors allows to move from the global to globally-local methods, allowing to receive more qualitative forecasting model (in terms of minimum error estimation of the forecasting model), applying it to the existing global practices. The described algorithm was tested on a set of samples that are publicly available on the Internet. The proposed method was compared with two other methods of forecasting models building for 11 different sets of data, and it had the lowest average mean square error.

Ключові слова—алгоритм прогнозування, прогнозування часових рядів, штучні нейронні мережі, неоднорідна вибірка, динамічні параметри

Keywords—forecasting algorithm, time series forecasting, artificial neural networks, homogeneous sample, dynamic parameters

I. ВСТУП

Задачу прогнозування по праву можна вважати однією з найбільш важливих і цікавих проблем. Вона також є однією з найскладніших задач, так як при її вирішенні доводиться стикатися з такими труднощами:

- неможливо врахувати всі чинники, що впливають на прогнозований процес; більш того, їх вплив може змінюватися з плином часу - фактор, який не був важливий сьогодні, може грати критичну роль завтра;

- зазвичай існує нескінченне число можливих моделей, які добре відповідають наявним даним - необхідно вирішити, яку модель або множину моделей використовувати;

- часто буває важко (якщо не неможливо) знайти оптимальну складність моделі.

У даній роботі запропоновано метод, який намагається впоратися з першими двома питаннями: він динамічно вибирає набір моделей в залежності від заданих входів і враховує мінливий характер значущості / впливу факторів.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

При постановці задачі прогнозування найчастіше робиться припущення, що характер прогнозованого процесу на спостережуваному періоді не змінюється, і, таким чином, завдання можна вирішити шляхом знаходження потрібної моделі і оцінки її параметрів, використовуючи всі наявні дані. Однак найчастіше поведінка прогнозованого процесу може кілька разів змінюватися протягом спостережуваного періоду, що робить таку постановку задачі некоректною - одна єдина модель не зможе описати кілька різних станів процесу. Розглянемо постановку задачі прогнозування, яка явно враховує проблему непостійного характеру прогнозованого процесу.

Нехай є:

а) множина прикладів $S = \{(\bar{x}_i, y_i) : i = 1 \dots n\}$, де кожен приклад (\bar{x}_i, y_i) складається з вектора значень входних факторів і відповідного вихідного значення;

б) модель f , яка залежить від деякого вектора параметрів $\bar{\theta} = [\theta_1, \dots, \theta_m]^T$ і найбільш загальним способом описує прогнозований процес - мається на увазі, що в залежності від значень параметрів модель здатна описати всі можливі стани об'єкта, який прогнозується.

Необхідно знайти:

а) множину векторів параметрів $\Theta = \{\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_k\}$, таких, що вектор $\bar{\theta}_j$ є оптимальним згідно критерію L_j на деякій підмножині вихідних даних S_j :

$$\Theta = \left\{ \bar{\theta}_j : \bar{\theta}_j = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} (L_j[f, \bar{\theta}, S_j]), S_j \subseteq S, j = 1 \dots k \right\}.$$

Кожен вектор параметрів таким чином буде описувати один стан прогнозованого процесу на деякій підмножині вихідної вибірки. Дана постановка задачі робить припущення, що наявні дані описують кілька різних станів процесу, і кожен такий стан може бути описаний певним набором ваг. Однак кількість таких станів невідома - це завдання відповідного методу прогнозування.

б) функцію визначення кінцевого вектора параметрів θ_s для нових входних даних \bar{x}_s виходячи з знайденої множини Θ векторів параметрів і самих вихідних даних: $\bar{\theta}_s = F(\bar{x}_s, \Theta, S)$;

такі, що мінімізують деяку оцінку помилки прогнозу $\hat{e} = e(F, \Theta, S)$.

III. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ

Усі методи прогнозування можна розділити на 3 групи.

1. Глобальні методи. До цієї групи входить найбільша кількість методів: усі методи даної групи знаходять єдиний набір параметрів деякої прогнозуючої моделі, використовуючи всі наявні дані. З точки зору формалізованої постановки задачі методи в цій групі мають такі параметри:

а) $k = 1$ - використовується лише один вектор параметрів $\bar{\theta}_1$, при цьому $S_1 = S$ - значення цих параметрів знаходяться шляхом оптимізації деякого критерію L_1 на всіх вихідних даних;

б) в якості кінцевого вектора параметрів θ_s для нових входних даних \bar{x}_s просто використовується вже знайдений вектор $\bar{\theta}_1$: $\bar{\theta}_s = \bar{\theta}_1$. При такому записі стає очевидно, що значення нових даних ніяк не використовуються при визначенні параметрів моделі.

Найбільш відомі методи в зазначеній групі: лінійна регресія, ARIMA, штучні нейронні мережі (ШНМ), МГУА.

2. Локальні методи, є протилежністю глобальним: замість однієї глобальної будується кілька локальних моделей, параметри для яких підбираються на деяких підмножинах вихідних даних. Дані методи враховують проблему непостійної поведінки прогнозованого процесу, але й мають свої недоліки:

- вони більш вимогливі до кількості навчальних даних - чим більше локальних моделей, тим більше потрібно даних;
- втрачається глобальна інформація - кожна локальна модель навчається тільки на своїх даних, що може привести до зайвої «спеціалізації» і перенавчання моделей.

Найбільш відомі методи в цій групі: локальна регресія, кластеризація з регресією, локальна апроксимація та ін..

3. Глобально-локальні методи. Методи з цієї групи намагаються об'єднати найкраще з обох підходів: всі

IV. АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ

Наведемо етапи отриманого глобально-локального методу прогнозування:

1. Навчається нейронна мережа прямого поширення з використанням множини усіх наявних прикладів $S = \{(\bar{x}_i, y_i) : i = 1..n\}$. У якості опції помилки мережі використовується стандартна середньоквадратична помилка:

$$E = \sum_{i=1}^n [net(\bar{x}_i) - y_i]^2$$

Ваги $\bar{\theta}^g$ даної мережі є інформацією про глобальний характер прогнозованого процесу. Питання вибору оптимальної структури нейронної мережі і оптимального алгоритму навчання в даній статті не розглядаються - автори використовували звичайний багат шаровий перцептрон з одним прихованим шаром з 10 нейронів, з гіперболічним тангенсом у якості активаційної функції прихованого шару і лінійної функції в якості активаційної функції вихідного шару; для навчання використовувався алгоритм Rprop.

2. Виконується кластеризація множини прикладів S . В ідеалі, кожен кластер C_j повинен містити приклади, які найкращим чином описуються деяким єдиним набором ваг мережі $\bar{\theta}_j, j = 1..k$, де k - кількість кластерів, тобто, виконуючи кластеризацію, ми сподіваємося, що схожі приклади повинні описуватися схожими вагами моделі. Природно, якість прогнозування в такому випадку буде сильно залежати від використаного методу кластеризації. Для ілюстрації підходу в даній статті використовувався один з найбільш відомих методів кластеризації - k-means, з фіксованою кількістю кластерів - 10.

3. Навчаються k нейронних мереж - по одній на кожен кластер. Навчання виконується наступним чином:

а. Ваги кожної мережі ініціалізуються попередньо знайденими вагами $\bar{\theta}^g$.

б. Мережа net_j навчається тільки на прикладах з кластера C_j з використанням наступної функції помилки:

$$E_j = \gamma * \sum_{\bar{x}_i \in C_j} (net_j(\bar{x}_i) - y_i)^2 + \sum_{\theta_l \in \bar{\theta}_j} (\theta_l - \theta_l^g)^2.$$

Таким чином, при навчанні ваги мережі будуть прагнути як зменшити помилку мережі на прикладах зі свого кластера, так і не віддалятися занадто сильно від початкових ваг $\bar{\theta}^g$ - тобто не буде втрачена інформація про глобальний характер процесу.

4. Після навчання локальних мереж, прогнозування для нових прикладів виконується наступним чином: для вхідного вектора \bar{x}_s знаходиться відповідний йому

вихідні вхідні дані використовуються для отримання глобальної інформації про прогнозований об'єкт (часто званий трендом), в той час як деякі підмножини даних використовуються для знаходження локальних особливостей. У роботі [1] в якості прикладу глобально-локального методу названий метод MARS. Авторами також був розроблений підхід «перетворення» глобальних параметричних методів в глобально-локальні методи [2].

Суть підходу полягає в навчанні спочатку однієї глобальної моделі, після чого навчається множина локальних моделей з додатковим критерієм близькості параметрів локальних моделей до параметрів глобальної моделі; на стадії прогнозу просто вибираються параметри декількох «найближчих» локальних моделей, які потім усереднюються і застосовуються до нових входів (аналогічно деяким локальним методам). Завдяки такому підходу, а саме використанню критерію близькості параметрів локальної та глобальної моделей, при побудові локальних моделей не втрачається глобальна інформація та самим локальним моделям не потрібна велика кількість даних. Даний підхід був застосований до лінійної регресії, а отриманий метод названий «лінійна регресія з динамічними вагами» - ще один приклад глобально-локального методу.

Найбільш перспективними є глобально-локальні методи, так як вони позбавлені недоліків інших 2 груп:

- на відміну від глобальних методів, параметри прогнозуючої моделі залежать від значень вхідних змінних - тобто використовується локальна інформація про прогнозований процес;
- на відміну від локальних методів, не губиться глобальна інформація, що дозволяє уникнути перенавчання локальних моделей і знизити необхідну кількість навчальних даних.

Саме тому розроблений авторами підхід, що дозволяє переходити від глобальних до глобально-локальних методів, дає можливість отримувати більш якісну прогнозуючу модель (з точки зору мінімуму оцінки помилки прогнозу моделі), застосовуючи його до існуючих глобальних методів. Для демонстрації розглянемо глобально-локальний метод, отриманий шляхом застосування описаного підходу до глобального методу прогнозування з використанням нейронних мереж прямого поширення - найбільш відомої і застосовуваної архітектури нейронних мереж для вирішення задач прогнозування [3-5]. Основні переваги використання ШНМ для вирішення завдання прогнозування наступні:

- можливість навчання - нейронну мережу дуже просто адаптувати до нових даних - досить просто навчити її на них, при цьому результати попередніх навчань не втрачаються;
- можливість моделювати складні нелінійні залежності, функціональний вид яких заздалегідь невідомий.

кластер C_h (шляхом знаходження найближчого центру кластера), і для прогнозу використовується мережа, навчена на прикладах цього кластера.

Описаний алгоритм було перевірено на наборі вибірок, що знаходяться у відкритому доступі в мережі Інтернет. У порівнянні з моделями, отриманими з використанням штучних нейронних мереж та лінійної регресії, середня похибка запропонованого методу була найменша, при чому середня похибка штучних нейронних мереж була більша на 24.4% а середня похибка лінійної регресії більша на 45.33%.

ВИСНОВКИ

Запропонований метод було порівняно з 2 іншими методами побудови прогнозуючих моделей на 11 різних наборах даних, і він мав найменшу середню середньоквадратичну помилку. Однак деякі питання у використанні описаного підходу залишаються невіршеними:

- оптимальний метод поділу наявних даних на кластери, що описують різні стани прогнозованого процесу;
- оптимальний спосіб об'єднання усіх знайдених параметрів моделі на етапі прогнозування.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] P. Lewis, and J. Steven, «Nonlinear modeling of time series using multivariate adaptive regression splines (MARS)», Journal of the American Statistical Association, 1991, 87, pp. 864–877.
- [2] V. Sineglazov, O. Chumachenko, V. Gorbatiuk, «A method for building a forecasting model with dynamic weights», Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 2(4). - С. 4-8..
- [3] F. A. Amir, I. S Samir, «A comparison between neural-network forecasting techniques – case study: river flow forecasting», IEEE Transactions on Neural Networks, 1999, 10(2), pp. 402–409.
- [4] T. O. Blinova, «Analysis of possibility of using neural network to forecast passenger traffic flows in Russia», Aviation, 2007, 11(1), pp. 28–34.
- [5] P. Kozik, J. Şep, «Aircraft engine overhaul demand forecasting using ANN», Management and Production Engineering Review, 3(2), 2012, pp. 21–26.

Покращення ефективності структури навчального контенту шляхом використання баз знань

Т.Р. Стисло, М.С. Чесановський, Р.В. Рошак
кафедра програмного забезпечення
автоматизованих систем
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
styslotr@gmail.com

The improvement of the learning content structure by means of knowledgebased systems approach

T. Styslo, M. Chesanovkyy, R. Roshak
Department of software automated systems
Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
styslotr@gmail.com

Анотація—Пропоноване дослідження представляє концепцію нового інтелектуального рішення в області цифрових бібліотек та засобів їх інтелектуалізації. Основна ідея пропонованого підходу полягає в розробці інформаційних технологій на основі баз знань, що дозволяють вибирати навчальний матеріал який оптимальний для розуміння студентами відповідності з концепцією зон найближчого розвитку. Пропонована імплементація базується на технології ключових слів, але з індексацією в форматі систем на основі баз знань.

Abstract—The given research presents the new intelligible solution in the area of information library systems. The main idea of proposed approach is developed on the information technologies of knowledgebase that allow the students to find that exact learning material which is optimal for understanding in accordance with the conception of proximal development zone of the student. The proposed implementation uses the technology of keywords, indexed in the format of system knowledgebase.

Ключові слова—автоматизовані бібліотечні системи; видобування документів; оцінка вимірювання ефертивності; запити користувача; релевантність; добування інформації.

Keywords—automated library information systems, documents mining, evaluation of effectiveness measure, user queries, relevancy, information mining.

I. INTRODUCTION

The university and public libraries in Ukraine, Russia and other CIS countries are using a lot of automated information systems for meeting of users' information needs. In our research we have profoundly analyzed the following systems: "ALEPH", "MARK-SQL", IRBIS, "MehaPro", LIBER MEDIA, "UFD/Library" [1-2].

These systems give typical integrated solutions in the area of library technology automation and they are intended for using in libraries of any type and specialization. Such systems meet all the possible requirements to similar systems and they conform to all national bibliographic standards and formats.

All typical library information tasks are implemented in these systems, including technologies of acquisition, systematization, cataloging, reader search, book issue and management. Nevertheless, the contemporary trends of the newest ITs open wide fields for intellectualization of such systems.

II. IMPLEMENTATION OF KNOWLEDGEBASE FACILITIES IN THE ENVIRONMENT OF AUTOMATED LIBRARY SYSTEMS

The **goal** of this brief outline report is to form the necessary formal and logical foundations for development the intelligible solutions within the frameworks of existing information software support of university libraries in Ukraine and for

maintaining the best selection of teaching and methodological support in the process of learning the professional subjects by using the knowledgebase and methods of data mining.

The projected decision support system when one chooses the teaching and methodical materials at the university library is based on the methodology of expert systems in order to have sufficient functionality for managing the data-handling procedure in the context of solving the tasks of resources classification at the university library. Thus the main task of such system is to provide the recommendations concerning the method of dominant characters mining of one teaching source or another in accordance with set of evaluations that are specified by the experts (lecturers of courses), and to set the classifier for specified data set in accordance with available sets of rules that describe the concrete educational problem, solved in learning the specific topic of learning module (LM).

According to the mathematical modulation of information intelligence systems development process for library case one of the key questions is the knowledge representation medium, based on which the system must make the decisions in the certain situations. Thus knowledge representation should be specified by the medium, allowing the transition to representation of information fragments about library resource in the terms of knowledgebase structure (KB), particularly metadata knowledgebase as a support medium of inference on metadata set [3-5].

Def. 1. Let's assume that the learning concept $Conception^1$ for KB_{MD} produces the other concept $Conception^2$ if every initialization of knowledgebase structure with metadata is an appropriate production rule.

Statement 1. Modification

$$Conception^1 \rightarrow Conception^2$$

occurs only if

$$[Conception^2]^{Models} \subseteq [Conception^1]^{Models}$$

for all logical models of metadata knowledgebase $Models_{KB_{MD}}$, that set the representation of implemented symbols on universe of knowledge domain objects, where $[Conception^2]^{Models}$ and $[Conception^1]^{Models}$ are expansions (i. e. set of objects for these concepts).

Def. 2. The meaning of concepts can be interpreted as a function that specifies the representation from sets of logical models onto sets of concepts expansion

$$f_{Conception} : Models_{KB_{MD}} \rightarrow Conception^{Models_{KB_{MD}}}$$

Def. 3. Let's consider the formal learning ontology FO as set of constraints $Constr_{set}$, that is applied on the set of possible models $Models_{KB_{MD}}$.

Def. 4. Let's Q_{MD} is a modifying enquiry through the metadata knowledgebase in the selected conception $SelectedConception$, and KB_{MD1} and KB_{MD2} two knowledgebases. Let's define the residue for Q_{MD} regarding (KB_{MD1}, KB_{MD2}) as $Q_{MD}^{KB_{MD2}} | KB_{MD1}$, that are gained as a result of:

1) Removal out of Q_{MD} every modifying rule, body-part of which has no matching with KB_{MD2} (as a result we have $Q_{MD}^{KB_{MD2}}$) according to input set $Constr_{set}$.

2) Removal of every modifying literal out of body-part rules in $Q_{MD}^{KB_{MD2}}$, that has matching with KB_{MD1} in the set $Constr_{set}$.

Def. 5. Let Q_{MD} -modifying enquiry through the metadata knowledgebase in the selected conception $SelectedConception$ and KB_{MD1} , KB_{MD2} — two knowledgebases. Then: $\lambda_{nm}(Q_{MD}^{KB_{MD1}, KB_{MD2}})$ is coherent and

$$KB_{MD2} = KB_{MD1} \circ \lambda_{nm}(Q_{MD}^{KB_{MD1}, KB_{MD2}}) |_{Constr_{set}}$$

$\lambda_{nm}(Q_{MD}^{KB_{MD2}} | KB_{MD1})$ is coherent and

$$KB_{MD2} = KB_{MD1} \circ \lambda_{nm}(Q_{MD}^{KB_{MD2}} | KB_{MD1}) |_{Constr_{set}}$$

Every consecutive modification of the user's (student's) enquiry will meet much better representation of user's information needs. Thus the main results of our study with regards to the effective intelligible methods creation for the relevant information material and relevant learning documents mining.

According to the concept of Bologna process the learning course (LC) consists of content module LM_j , that represents the specific conceptual direction of the course. At the real courses at the National University of Oil and Gas the quantity of content modules vary from one to several modules. Every learning module consists of learning elements (LE) totality LE_k , that are list of topics (or subtopics) of learning module. At the level of formal representation it gives

$$LC_i = \{LM_j\}, LM_j = \{LE_k\}, i, j, k \in N$$

We need such a structuring for creation of the approach of student's knowledge control and forming the appropriate projections of its proximal development zone (PDZ) according to before mentioned features. Thus in the terms of keywords set that shows the essence of learning materials at the level of course, learning elements and content accordingly would finally get the following representation form

$$LC_i \rightarrow KeyWords_{LC_i}^{set}$$

$$LM_j \rightarrow KeyWords_{LM_j}^{set}$$

$$LE_k \rightarrow KeyWords_{LE_k}^{set}$$

$$PDZ \cong \left[KeyWords_{LC_i}^{set} \right] = \bigcup_j \left\{ \begin{array}{l} KeyWords_{LM_j}^{set} = \\ \bigcup_k \left[KeyWords_{LE_k}^{set} \right] \end{array} \right\}_{j,k \in N}$$

Lets consider some *knowledgebase* with imposed initial constraint hierarchy as an set of informational entities with constraints in the form of atomic predicate from some finite information space $InSp: CH_1, \dots, CH_{n_{InSp}}$. All changes (*modifications*), that can take place in the context of defined knowledgebase surroundings, will be interpreted as stable consequences of performing of modification predicate queries, which are generated by intelligible system accordingly to the user's instructions, where we have *controlled* parameter ($lc, lc \in LC_i, lm, lm \in LM_i, le, le \in LE_k$) [6].

In their summation this parameters defines the values of the expected output-parameter ($ocp \rightarrow l_out$):

$$\left[\dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j_3}} (le_{i_3}^{Cset_{i_3}}) \dots \right]_{j_3} \rightarrow \left[\dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j_4}} (l_out_{i_4}^{Cset_{i_4}}) \dots \right]_{j_4}$$

$$\left[\dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j_1}} (lc_{i_1}^{Cset_{i_1}}) \dots \right]_{j_1}, \left[\dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j_2}} (lm_{i_2}^{Cset_{i_2}}) \dots \right]_{j_2},$$

where $i_1, \dots, i_4; j_1, \dots, j_4 \in N$; C_{set_i} – constraints sets, which are imposed on corresponding parameters; $K_{B_{\pm}}()$ – modifiers, that implements the operation of adding / removing from knowledgebase KB of corresponding entry in the form initialized or as well not initialized set of parameters values; CS_j – constraints systems, that defines the influence for each parameters on the final result on some relevant level and possibly existing interdependencies and reciprocal influence of parameters at each other basis as well.

Introduced so far the sets and systems of constraints in the general would form some dynamically functioning constraints hierarchy imposed on over the knowledgebase as the whole entity $KB.CH = \{Rules_k, \{CSet_i\}_{i \in N}, \{CS_i\}_{j \in N}\}_{k \in N}$.

Let be Q_m a modification predicate query i K_B^{CH} some knowledgebase with imposed constraints hierarchy. The semantics imposing allows specification for the set of knowledgebases, each one of which can be chose as an modification of initial knowledgebase K_B^{init} , after the performing of modification predicate query Q_m . Such a set

$\left\{ \left[K_{B_1}^{CH_1} \right]^m, \dots, \left[K_{B_n}^{CH_n} \right]^m \right\}$ will be named as an set of Q_m -

modifications of the initial knowledgebase K_B^{init} . Besides, every of Q_m -modifications will in turn have a constraints hierarchies of its own.

Modification predicate rules does have an declarative interpretation in terms of constraints, which are imposed on knowledgebase in the form of hierarchies which in turn is formed up by initial rules it self: $\frac{head}{SC} : - \left[CS, \frac{body}{[RC_1, \dots, RC_n]} \right]$, where SC – satisfaction condition, RC – relevancy condition, CS – the imposed constraint system.

Def. 6. Modification predicate query Q_m would be interpreted as an set of modification predicate rules with imposed constraints hierarchies $\left\{ PR_{Q_m}^i, CH^i = \bigcup_j CS^j \right\}$.

Statement 2. Let Q_M be predicate queries modification and $K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}$ – some two knowledgebase's. Then its true,

that: $\lambda_{nm} \left(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}} \right)$ is coherent and

$$K_{B_2}^{CH_2} = K_{B_1}^{CH_1} \circ \lambda_{nm} \left(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}} \right), \quad \text{and} \quad CH_2 \subset CH_1,$$

$\lambda_{nm} \left(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1} | K_{B_2}^{CH_2}} \right)$ is coherent and

$$K_{B_2}^{CH_2} = K_{B_1}^{CH_1} \circ \lambda_{nm} \left(Q_M^{K_{B_2}^{CH_2} | K_{B_1}^{CH_1}} \right), \quad \text{and} \quad CH_2 \subset CH_1.$$

Statement 3. Let Q_m be some predicate queries modification and $K_{B_2}^{CH_2}$ result of Q_m -modification for $K_{B_1}^{CH_1}$. Then finally we will got that:

$$\lambda_{nm} \left(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}} \right) = \left[CS^{CH_2 \setminus CH_1}, head \left(Q_M^{K_{B_2}^{CH_2}} \right) \right].$$

Statement 4. Following from the declared before it will be useful too that:

1) knowledgebase $K_{B_2}^{CH_2}$ would be an Q_m -modification of knowledgebase $K_{B_1}^{CH_1}$ in some constraint system CS^1 , if $CS^1 \triangleq CH_2 \setminus CH_1$;

$$2) \lambda_{nm} \left(Q_M \cup \left\{ lc \ll [lc \in PS] : \left(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2} \right) \right\} \right) \subset K_{B_2}^{CH_2};$$

$$3) \lambda_{nm} \left(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}} \right) \cup PS_1 \left(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2} \right) \subset K_{B_2}^{CH_2}.$$

Statement 5. Let Q_m – be modification query and $K_{B_1}^{CH_1}$ –

some knowledgebase with imposed constraints. If the knowledgebase $K_{B_2}^{CH_2}$ is an Q_m -modification for $K_{B_1}^{CH_1}$, then $K_{B_2}^{CH_2}$ is a model for Q_m in the constraints system $CS, CS = CH_2 \setminus CH_1$

Besides, the new definition for modification predicate query would satisfy too the minimal difference notion. That's means, that if we got to do Q_m -modification for $K_{B_1}^{CH_1}$, then the resulted knowledgebase $K_{B_2}^{CH_2}$ would differ from the initial one just minimally, provided the case that constraints hierarchies CH_2 and CH_1 would not include any redundancies. For the purpose of measuring of this characteristic would be most appreciate the next approach:

$$dist(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}) = (K_{B_1}^{CH_1} \setminus K_{B_2}^{CH_2}) \cup (K_{B_2}^{CH_2} \setminus K_{B_1}^{CH_1}) = |(CH_1 \setminus CH_2) \cup (CH_2 \setminus CH_1)|$$

Thus, the relation built up on the base statement would be devoid of all the expected shortcomings of the projected translation routine as well.

Generally, by implementation of $R_{K_B^{CH}}$ – transformation for knowledgebase K_B^{CH} there would be completed the construction of the stable model for $\sigma_M^P(K_{B_+}^{CS+}(R_{K_B^{CH}}(Q_m)))$ and verification of the fact of satisfaction for resulted constraints hierarchy.

The fulfillment of transformation for the set of modification predicate queries in the set of relevant Prolog-programs allows in the very end to calculate respective Q_m -modifications accordingly to the algorithm.

The detailed review of presented algorithm, allows to get the next sequence of formalized operation, so far as:

1. Lets there to be given modification predicate query Q_m and some initial knowledgebase K_B^{CH} . Lets apply $R_{K_B^{CH}}$ –

transformation, which is described by constraints system CS^1 with the purpose of becoming of a new modification query of the kind $Q_M^1 = R_{K_B^{CH}}(Q_m) \Big| CS^1$.

2. Lets Q_M – be modification predicate query, which consist of $K_{B_+}^{CS+}$ – rules of modification query Q_M^1 :

$$Q_M = K_{B_+}^{CS+}(Q_M^1). \text{ Let } Q_M'' \text{ – be modification query, which consist of } K_B^{CH} \text{ – rules for } Q_M^1: Q_M'' = Q_M^1 \setminus Q_M^1.$$

3. Lets consider now the logical Prolog-program $[\sigma_M^P(Q_M^1), LP.CS^1]$, which corresponds to Q_M^1 by imposed constraints system CS^1 .

4. Recalculation of stable models for $[\sigma_M^P(Q_M^1), LP.CS^1]$. All

of them would be an Q_M^1 -modification for $K_B^{init.}$, if CS^1 is correct and not contradictory.

5. From the all stable recalculated models do select those, who satisfy Q_M'' by supposition, that CS^1 does satisfy CS'' .

They would be too an Q_M^1 -modifications for $K_B^{init.}$.

6. Lets apply the transformation $R_{K_B^{CH}}$ to the modification of results from previous step by initialized constraints system CS and so far will got the final Q_M -modifications for K_B^{CH} in the imposed CS .

Lets get back to the analysis of well-founded semantic of the kind $S_{Q_M}^f \cdot S_{Q_M}^f$ for every modification literals finds out whether this is case of founded, unfounded or *uncertain* (*unknown*) literals actually. Such mechanism can be interpreted as follows: for every predicate $[lc|=l_out] \in PS$ are assigned some labels pair $\langle CF_1, CF_2 \rangle$, where CF_1, CF_2 belongs to the subset of $\{founded, unfounded, uncertain\}$, besides preference is that CF_1 – corresponds to values $K_{B_+}^{CS+}(lc|=l_out)$, and CF_2 – to values $K_{B_-}^{CS+}(lc|=l_out)$. To keep the right properties of well founded entries as well, all the pairs $\langle CF_1, CF_2 \rangle$ should to have own confirmations in $S_{Q_M}^f$.

CONCLUSION

The main contribution of this research is based on the proposed formal logical approach for using the knowledgebase technologies for the purpose of intellectualization of automated and integrated library information systems. The key feature of explored intellectualization is to develop the intelligent module which maintains the filtration and selection of library learning content in accordance with the conception of student's proximity development zone.

REFERENCES

- [1] T.R. Styslo, O.R. Styslo, "The structuring of information mining process at the university digital library", Mathematical and Software of Intelligent Systems, Dnipropetrovsk, Ukraine, 2010, pp.218-219.
- [2] Taras Styslo, "The information space structuring of digital library by directed graphs", The Theoretical and Practical Aspects of Software Systems Development, Kiev, 6-8th December, 2009, pp. 108-109.
- [3] Robert Korfhage, "Information Storage and Retrieval", New York: John Wiley&Sons, Inc., 1997.
- [4] Jr M. Shaw, R. Burgin, P. Howell, "Performance standards and evaluations in IR test collections: Vector-space and other retrieval models. Information Processing E Management", 1997, pp.15-36.
- [5] Tague – Sutcliffe J., "Measuring the informativeness of a retrieval process", ACM SIGIR Conf. on R&D in Information Retrieval, Copenhagen, Denmark, 1992, pp. 23-36.
- [6] Vasyi Sheketa, Mykola Demchyna, Roman Vovk, Yulia Romanyshyn, "The Formally Stated Model for Technological Process Operator Queries Interpretation", Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science, Lviv-Slavske, Ukraine, 23-26th february, 2016, pp. 476-479.

Особливості визначення коефіцієнта теплопровідності металеві пластини

Ю.Й. Стрілецький
кафедра методів та приладів контролю якості і
сертифікації продукції
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
momental@ukr.net

В.А. Ровінський
кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
x_audio.info@gmail.com

Specifics of determining thermal conductivity in metal plate

Y. Striletsky
Department of methods and devices of quality control and
certification of production
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
momental@ukr.net

V. Rovinsky
Department of Informatics
Vasyl Stefanyk Precarpatian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
x.audio.info@gmail.com

Анотація—Запропоновано спосіб визначення коефіцієнта теплопровідності сталі за допомогою аналізу температури під час нестационарного теплового процесу утвореного точковим нагріванням.

Abstract—A method for determining the thermal conductivity of steel by analyzing temperature during the unsteady thermal process formed by heating point was proposed.

Ключові слова—коефіцієнт теплопровідності, рівняння теплопровідності, неруйнівний контроль, вимірювання температури, згладжування апроксимацією

Keywords—thermal conductivity, heat equation, non-destructive control, temperature measurement, smoothing by approximation

I. ВСТУП

Розвиток сучасного суспільства отримав найбільшого прискорення із початком промислової революції, яка була неможлива без масового виготовлення металу. Метал як конструкційний матеріал дозволив побудувати верстати і механізми, що суттєво підвищило продуктивність праці і докорінно змінило людське життя.

Сталь – відносно легкий і міцний метал, з якого виготовляють більшість сучасних промислових виробів. Цей метал може багаторазово перероблятися, тому

використання сталі здешевлює виробництво. Однак внаслідок експлуатації вона змінює свої властивості. Окрім явних ознак руйнування, які викликають корозійні процеси і надмірні навантаження, сталь може змінювати свою структуру. Одним із чинників зміни структури сталі є механічне навантаження, яке не руйнує деталь, а тільки безповоротно деформує її. При цьому проходить холодна пластична деформація внутрішньої структури сталі та змінюються її фізичні властивості. Після пластичної деформації експлуатувати деталь не можна.

Сталь є застиглою сумішшю матеріалів, які змішуються при плавленні. Оскільки змішувані матеріали різноманітні за своєю природою, то і застигають вони при різній температурі. Це призводить до появи матеріалу, що складається із частинок, які умовно називають зернами. Відомо, що при пластичній деформації сталі змінюється розмір і кількість зерен, із яких вона складається. При зміні параметрів зерен змінюється коефіцієнт теплопровідності сталі. Тому, вимірюючи теплопровідність сталі, можна виявити ділянки із зміненою структурою, що може свідчити про наявність пластичної деформації.

II. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Коефіцієнт теплопровідності характеризує здатність речовини проводити тепло. Його числове значення

визначається як відношення питомого теплового потоку до одиниці температурного градієнта, або як кількість тепла, що протікає через одиницю поверхні за одиницю часу при спаді температури по нормалі до цієї поверхні на 1°C на одиницю довжини. Також коефіцієнт теплопровідності входить до складу коефіцієнта температуропровідності. Коефіцієнт температуропровідності характеризує швидкість вирівнювання температури при нестационарній теплопровідності.

За умови незмінності фізичних параметрів металу при нагріві рівняння теплопровідності можна записати наступним чином[1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \nabla^2 T - \beta \cdot T$$

де T – температура в точці матеріалу, t – час, ∇ – оператор Лапласа, a – коефіцієнт температуропровідності, β – коефіцієнт тепловіддачі поверхні.

Коефіцієнт теплопровідності λ визначається наступним чином:

$$\lambda = a \cdot c \cdot \rho$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, c – питома теплоємність матеріалу, ρ – питома густина матеріалу.

Якщо для досліджень вибрати пластину, яку можна ізолювати від випромінювання теплової енергії, а для створення нестационарного теплового поля використати точковий нагрівник, то рівняння теплопровідності спрощується до наступного виду:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}$$

де r – відстань до точки прикладання джерела нагрівання.

Таким чином коефіцієнт температуропровідності є узгоджувачим коефіцієнтом між швидкістю зміни температури і прискоренням віддалення від точки нагрівання.

Дане рівняння розв'язується із врахуванням конкретних краєвих умов. Для випадку миттєвого точкового джерела нагрівання із потужністю Q в середовищі із нульовою температурою у всіх точках розподіл температури буде описуватися такою залежністю:

$$T(r,t) = \frac{Q}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a \cdot t)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}}$$

Для випадку тонкого безмежного диска, який нагрівається в точці протягом певного часу, розподіл температур буде визначатися наступною залежністю[2]:

$$T_{thin}(r,t) = -\frac{\gamma}{2} \cdot Ei\left(-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot t}\right)$$

де h – товщина пластини, Ei – інтегральна показникова функція.

Коефіцієнт γ визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{Q}{2\pi \cdot \lambda \cdot h}$$

Наведені рішення показують, що температура на поверхні пластини складним чином залежить від коефіцієнта температуропровідності a , до складу якого входить шуканий коефіцієнт теплопровідності.

III. ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення коефіцієнта теплопровідності сталі, з якої виготовлено пластину без її руйнування, було розроблено пристрій, що вимірює температуру в множині точок, які знаходяться на радіальній лінії і фіксованій віддалі від точки нагрівання. Нагрівання пластини проводилося за допомогою модуля Пельтьє.

Результати вимірної температури, отриманої в цих точках протягом певного проміжку часу, наведено на рис.1.

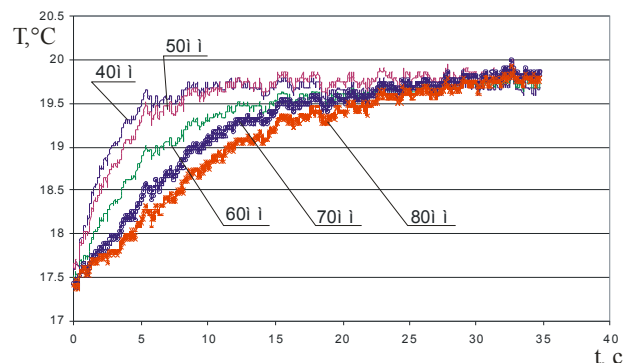


Рис. 1. Залежність температури, виміряної в п'яти точках від часу

Чим далі від точки нагрівання знаходиться точка вимірювання температури, тим менша швидкість зростання температури.

Залежність температури в різних точках для декількох моментів часу наведено на рис.2.

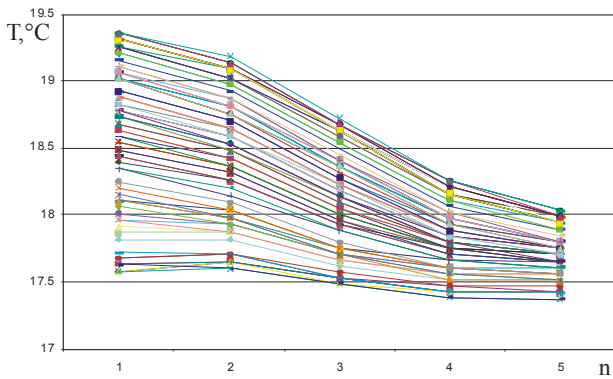


Рис. 2. Температура в п'яти точках, виміряних в різний момент часу під час нагрівання

В даному випадку – чим більше часу пройшло з початку нагріву, тим вища температура. Чим ближче точка вимірювання температури до точки нагрівання, тим більша динаміка наростання температури. Через деякий час всі точки нагріються до одної усталеної температури.

Із наведених графіків видно, що результати вимірювання температури мають випадкові складові, особливо ті, які залежать від часу. Тому використати виміряні дані для визначення коефіцієнта теплопровідності є некоректно.

Виміряні значення згладжені поліномом третього порядку. Згладжену залежність представлено на рис.3.

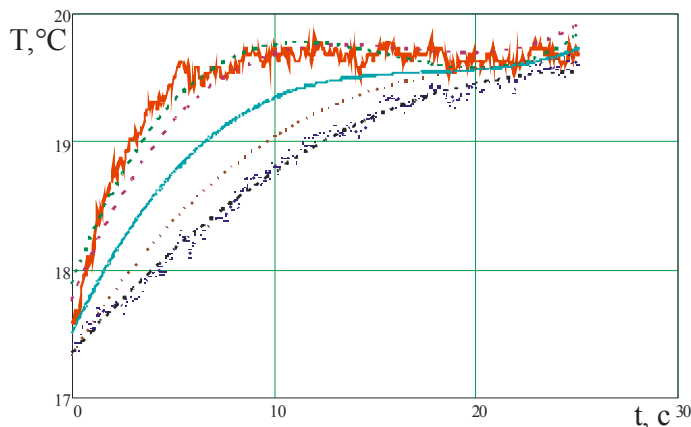


Рис. 3. Результат згладжування виміряної температури. Перехідні процеси при запуску генератора.

Числове диференціювання по часу, ігноруючи складові менших порядків, проводилося за допомогою залежності[3]:

$$T'(r,i) = \frac{3 \cdot y_{i,r} - 4 \cdot y_{i-1,r} + y_{i-2,r}}{2}$$

Числове диференціювання по відстані з ігноруванням складових менших порядків проводилося наступним чином:

$$T''(r,i) = y_{i,r+1} - 2 \cdot y_{i,r} + y_{i,r-1}$$

Знайшовши значення похідних, було визначено залежність для коефіцієнта теплопровідності в різний час експерименту(рис.4).

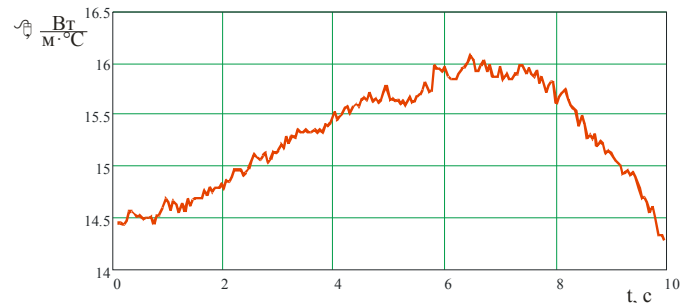


Рис. 4. Залежність коефіцієнта теплопровідності визначеної за різними даними під час експерименту

Із наведеної залежності видно, що отримане неточне значення коефіцієнту теплопровідності. Це зумовлено похибками у вимірюванні температури і похибками привнесеними обробкою набору дискретних значень. Проте отриманий результат дає можливість оцінити зміни в структурі металу.

Висновки

За допомогою нестационарного теплового процесу, який утворюється при нагріванні тонкої пластини зі сталі можна визначити її коефіцієнт теплопровідності. Для визначення коефіцієнта теплопровідності розроблено і виготовлено пристрій для нагрівання пластини в точці до фіксованої температури і вимірювання розподілу температури на її поверхні впродовж нагріву. При проведенні експериментального дослідження результати вимірювання температури згладжувалися поліномом третього порядку. Подальше числове диференціювання по часу і відстані дало можливість визначити коефіцієнт теплопровідності матеріалу, із якого було виготовлено досліджувану пластину.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Г. Паркус Неустановившиеся температурные напряжения. М. Физматгиз. 1963. 252с.
- [2] Н. Н. Рыкалин Расчеты тепловых процессов при сварке. М. Гос. Н.т. изд. Машиностроительной литературы. 1951. 290с.
- [3] И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов.//М. Наука. 1981.720с.

Система верифікації топології ВІС

С.П. Новосядлий

кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
nsp@pu.if.com

Л.В. Мельник

кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
nfsworld53@gmail.com

LSI verification system topology

S. Novosiadliy

Department of Computer
Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
nsp@pu.if.com

L. Melnyk

Department of Computer
Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
nfsworld53@gmail.com

Анотація — При проектуванні топології ВІС/НВІС надзвичайно важливо є не просто закодувати опис топології за допомогою графічного редактора, але і переконатися, що до формування структури кристала навіть до випуску управляючої інформації, що майбутній кристал, виготовлені за спроектованою топологією реалізує саме ту електричну схему, яку ця топологія і повинна реалізувати, будучи в кінцевому рахунку реалізованою в кристалі за даною топологією.

Abstract—When designing the topology LSI / VLSI extremely important is not simply encode description topology using a graphical editor, but also ensure that the formation of crystal structure even before the issue of the management of information coming crystal produced by the projected topology implements exactly the circuitry which that topology and must realize, being ultimately realized in crystal on this topology.

Ключові слова—система *Отто*; топологічний транслятор; ізоморфізм; топологія

Keywords— *Otto system; topological translator; isomorphy; topology*

I. Вступ

Програма контролю, що реалізує перевірку проектних норм (ПН) дозволяє знайти порушення ПН так, щоб, виправивши їх, отримати топологію, коректну з точки зору використовуваної технології виготовлення.

Програма відновлення дозволяє виділити із опису топології ту електричну схему, яку вона собою реалізує (з паразитними елементами).

Потім, порівнявши цю схему з вихідною електричною схемою за допомогою програми порівняння можна знайти її відмінності від вихідної схеми і, вносячи відповідні схематичні зміни в топологію, додати адекватності вихідної електричної схеми і її топологічної реалізації.

Таким чином, робота програм контролю, відновлення і порівняння в даній логічній зв'язці дозволяє отримати в результаті повністю коректну топологію проекту ВІС, як за формою (задоволення вміст ПН КТО), так і за змістом (реалізована в ній схема відповідає проекту).

Зазвичай, повнота і коректність контролю ПН КТО в більшій схемі залежить від створеного користувачем так званого технологічного файлу програми контролю, в якому описані у вигляді набору правил ті ПН, які необхідно перевірити. Вони всі входять в склад КД. Відповідальність за це бере на себе конструктор – розробник проекту, а необхідну допомогу йому надає програма аналізу технологічного файлу програми контролю, яка проводить спонтанний і повно семантичний аналіз технологічного файлу.

Аналогічно, якість відновлення електричної схеми із топології залежить від того, наскільки вірно тополог описав реальні фізичні процеси: по-перше, що приводить в процесі виготовлення до формування структур приладів і їх між'єднань, і по-друге, які зв'язують їх в електричне коло при функціонуванні схеми на майбутньому кристалі. Таким чином, тут велика відповідальність також лягає на інженера-технолога, що формував технологічний файл програми відновлення, яка проводить синтаксичний і семантичний аналіз цього файлу.

II. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В САПР

На сьогоднішній день є практично один програмний компонент TCAD (Technology Computer Aidid Design), який дозволяє моделювати як структури ВІС, так і технологію їх формування, тобто по суті справи є технологічною САПР. Вона особливо ефективна при проектуванні тестових структур (СТС) під певний вид технології (Р-МОР, n – МОР, КМОР, БІР на кремнії). Цей програмний комплекс зазнав 12 верстей і сьогодні використовується під графіки Synopsys. Ця остання версія дозволяє моделювати суб – і наномікронні структури та технологічні процеси, що їх формулюють. Цей інструментарій дозволяє створювати як фізичні моделі, так і сіткові (мережеві) моделі структур субмікронних ВІС.

Основними процесами, які моделюються даним інструментом, є:

- Окислювальні процеси, в тому числі й нітридні (динамічні) під тиском;
- Дифузійні процеси з використанням як планарних твердих джерел, так і газоподібних і рідинах;
- Імплаційні, в тому числі й високо енергетичного багатозрядного легування як кремнію, так і арсеніду галію;
- Епітаксійні процеси – газофазну епітаксію, молекулярно – променеву, низькотемпературну плазмову;
- Процеси осадження (електронні, термоіонні, іонно – плазмові, магнетронні) діелектричних та металевих плівок;
- Процеси іонно-плазмового та плазмо – хімічного травлення (ізотропного та анізотропного травлення, фрезерування, профілювання);
- Високотемпературний та фотонний відпалі структур
- Хімічні та плазмохімічні процеси очистки кремнієвих та арсенід – гелієвих підкладок перед процесами формування структур;
- Фотолітографічних процесів (контактної, проекційної, електронно – променевої);
- Осадження плівок в реакторах пониженого тиску;
- Динаміка росту плівок.

В останню версію 12 добавленні оптоелектронні структури СЕ та приладні структури (ТС) на арсеніді галію, що дозволяють формувати САПР фотоелектричних перетворювачів.

Проблемою на сьогодні для даної технологічної САПР є відсутність суміщення проектування кремнієвих і арсенід галієвих структур комбінованих і аналого – цифро – схем, а також можливість суміщення його з програмним комплексом Отто.

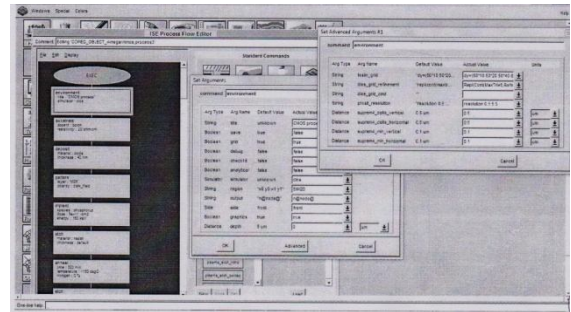
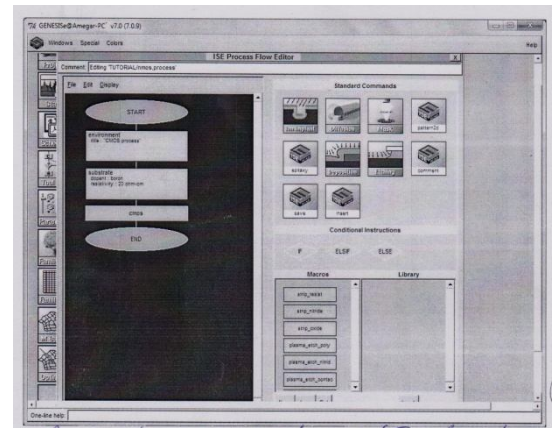


Рис. 1. Фрагменти програмного інструментального ТСАД-12.

ВИСНОВКИ

1.Проведено повний аналіз існуючих систем САПР для проектування суб-наномікронних структур ВІС для спеціалізованих комп'ютерних систем.

2.Визначено комплекс проблем, які виникають при функціональному, логічному, схемотехнічному і топологічному проектуванні та намічені шляхи їх вирішення.

3.Сьогодні відсутня операційна система, яка б дозволяла в єдине ціле об'єднати всі існуючі системи автоматизованого проектування (наскрізного) аналогових, цифрових та НВЧ-схем, це головна проблема.

4.Відсутня на сьогодні єдина система топологічного проектування і моделювання тестових структур, як під кремнієву, так і $A^{III}B^V$ -технології.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] С. П. Новосядлий Високоєфективні структури СЕ на основі аморфно гідрогенізованого Si. Новосядлий С.П., Мельник Л.В., Кіндрат Т.П., Варварук В.М. // Науковий вісник Чернівецького університету. Фізика. Електроніка. Збірник наукових праць. Чернівці «Рута». -2012. – С. 5 - 14.
- [2] С. П. Новосядлий Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем. Новосядлий С.П. // - Івано-Франківськ: Сімік. - 2003. – 370 с.
- [3] С. П. Новосядлий Суб-і наномікронна технологія структур ВІС. Новосядлий С.П. // - Івано-Франківськ: Місто НВ. – 2010. - 455 с.
- [4] Я. С. Буджак Лабораторно-розрахунковий практикум з фізики напівпровідників та теорії твердого тіла. Буджак Я.С., Мельник П.І., Новосядлий С.П. // – Івано-Франківськ: Альт. – 2008. – 240 с.

СЕКЦІЯ 2.

***Інформаційні технології в соціумі, освіті, медицині,
економіці та екології***

Застосування кластерного аналізу та багатofакторних моделей для визначення основних психофізіологічних функцій школярів

Н. І. Осадчук
кафедра мікробіології
Вінницький національний медичний університет
імені Миколи Пирогова, Вінниця, Україна
osadchuk69@mail.ru

Application of cluster analysis and multivariate models for the determination of the basic psycho-physiological functions schools

N. Osadchuk
Department of Microbiology
National Pirogov Memorial Medical University
Vinnitsa, Ukraine
osadchuk69@mail.ru

Анотація—В роботі представлені дослідження основних психофізіологічних функцій школярів, які мають соціальну та навчальну значущість, що показали тісний взаємозв'язок з комплексним показником гармонійності фізичного розвитку дівчат і юнаків. Проведені дослідження надали можливість розробити багатofакторні моделі щодо передбачення особливостей їх взаємозв'язку та взаємозалежності, імовірного передбачення критеріальних значень комплексного показника фізичного розвитку протягом різних вікових періодів життя, здійснити їх ґрунтовну прогностичну оцінку.

Abstract—This paper presents the study of basic psycho-physiological functions of pupils with social and educational significance of that showed a close relationship with the complex refractive harmonious physical development of girls and boys. The research made it possible to develop a multi-factor model for the anticipation of the characteristics of their interconnection and interdependence, the probabilistic prediction of criterion values of complex index of physical development for different age periods of life, to carry out their thorough prognostic assessment.

Ключові слова — кластерний аналіз; багатofакторні моделі; фізичний розвиток; психофізіологічні функції

Keywords — cluster analysis; multifactor models; physical development; physiological functions

I. ВСТУП

Специфіка системної організації інтеграційних процесів у дитячому та підлітковому віці визначається певним ступенем зрілості вищих відділів центральної нервової системи (ЦНС), зокрема, показників швидкості простої та диференційованої зорово-моторної реакції, врівноваженості, рухомості та лабільності нервових процесів, функцій уваги тощо. Водночас морфологічне дозрівання провідних ланок зорової сенсорної системи та рухового апарату, їх досить висока функціональна готовність до виконання різноманітних навчально-значущих операцій дозволяють використати як характеристики функціональних можливостей організму учнів показники критичної частоти світлових миготінь, лінійного окоміру, точності кінестезії, координації рухів та стійкості м'язів до динамічного і статичного навантаження [1, 2].

Одним із основних критеріїв вивчення функціонального стану ЦНС школярів є дослідження швидкості умовних сенсомоторних реакцій, насамперед таких, як зорово-моторна та слухо-моторна реакції. Такий підхід, перш за все, надає можливість оцінити ступінь функціональної готовності учнів до роботи в умовах

вираженого нервово-емоційного і зорового напруження, а також психологічного дискомфорту, які надзвичайно характерні для сучасної школи.

II. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилось з урахуванням даних аналізу сучасної наукової літератури гігієнічного, психофізіологічного, психологічного і педагогічного змісту, що визначають коло критеріальних, найбільш значущих з навчальної точки зору психофізіологічних функцій організму. До їх числа були віднесені: функціональні характеристики вищої нервової діяльності (латентний період (ЛП) простої зорово-моторної реакції (ПЗМР) і латентний період диференційованої зорово-моторної реакції (ДЗМР), рухомість та врівноваженість нервових процесів), уваги (ефективність праці, ступінь втягування у діяльність, що виконується, психічна витривалість), зорово-сенсорної системи (критична частота злиття світлових миготінь (КЧСМ)) та сомато-сенсорного аналізатора (координація рухів).

Визначення особливостей зв'язку провідних психофізіологічних функцій (ПФФ) школярів, які мають соціальну і навчальну значущість, з показниками фізичного розвитку дітей і підлітків, обов'язково має передбачати проведення регресійного аналізу показників, на підставі використання процедури прямого покрокового регресійного аналізу, що передбачає здійснення поступового покрокового включення досліджуваних змінних у рівняння лінійної регресії з наступною перевіркою ступеня міцності їх кореляційних зв'язків з певною результуючою величиною згідно з рівнем значущості [3, 6].

Отже, відповідно до отриманих на підставі застосування зазначеної процедури статистичного аналізу та прогнозування даних [4, 5], закономірності взаємозв'язку параметрів комплексного показника фізичного розвитку (КПФР) дівчат у віці 12 років з цілим рядом досліджуваних ознак, які відображували особливості розвитку ПФФ організму слід було визначити у вигляді рівняння:

$$y = 2,259 + 0,541x_1 + 0,256x_2 + 0,229x_3 - 0,223x_4 + 0,201x_5, \\ (R^2 = 0,616; F(5,24) = 3,420; p < 0,05),$$

де y – значення КПФР (ум. од.); x_1 – кількість дотиків до стінок лабіринту за даними тремометрії; x_2 – ступінь втягнення у діяльність, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_3 – рівень врівноваженості нервових процесів за даними визначення реакції на об'єкт, що рухається (помилка у мс); x_4 – величина КЧСМ (Гц); x_5 – величина ЛППЗМР за даними хронорефлексометрії (мс).

Разом з тим закономірності взаємозв'язку показників КПФР юнаків у віці 12 років з провідними характеристиками досліджуваних ПФФ організму необхідно було представити у наступному вигляді:

$$y = 0,808 + 0,387x_1 + 0,362x_2 + 0,261x_3 + 0,231x_4 + 0,174x_5, \\ (R^2 = 0,690; F(5,241) = 1,969; p < 0,05),$$

де y – значення КПФР (ум. од.); x_1 – значення рухомості нервових процесів за даними числа зривів диференційованих реакцій під час хронорефлексометрії; x_2 – кількість дотиків до стінок лабіринту за даними тремометрії; x_3 – рівень врівноваженості нервових процесів за даними визначення реакції на об'єкт, що рухається (помилка у мс); x_4 – ступінь втягнення у діяльність, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_5 – величина ПКР за даними тремометрії (ум. од.).



Рис. 1. Психофізіологічні функції дівчаток, що мали найбільш значущий кореляційний зв'язок з показниками фізичного розвитку школярів



Рис. 2. Психофізіологічні функції хлопчиків, що мали найбільш значущий кореляційний зв'язок з показниками фізичного розвитку школярів

Закономірності взаємозв'язку показників КПФР 14-річних дівчат з цілим рядом досліджуваних ознак, які відображували особливості розвитку ПФФ організму слід було визначити у вигляді рівняння:

$$y = 1,129 + 0,351x_1 + 0,191x_2 - 0,342x_3 + 0,280x_4 + 0,268x_5,$$

$$(R^2 = 0,629; F(5,24) = 4,426; p < 0,05),$$

де y – значення КПФР (ум. од.); x_1 – кількість дотиків до стінок лабіринту за даними тренометрії; x_2 – ефективність роботи, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_3 – величина КЧСМ (Гц); x_4 – величина ЛП ДЗМР за даними хронорефлексометрії (мс); x_5 – рівень врівноваженості нервових процесів за даними визначення реакції на об'єкт, що рухається (помилка у мс).

Водночас закономірності взаємозв'язку показників КПФР 14-річних юнаків з провідними характеристиками досліджуваних ПФФ організму необхідно було представити у такому вигляді:

$$y = 0,515 + 0,303x_1 + 0,181x_2, \\ (R^2 = 0,629; F(2,27) = 2,005; p < 0,05),$$

де y – значення КПФР (ум. од.); x_1 – ступінь втягнення у діяльність, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_2 – рівень психічної стійкості за результатами роботи з таблицями Шульте (с).

Закономірності взаємозв'язку показників КПФР дівчат у віці 17 років з цілим рядом досліджуваних ознак, які відображували особливості розвитку ПФФ організму, слід було визначити у вигляді рівняння:

$$y = 1,535 + 0,665x_1 + 0,527x_2 + 1,169x_3 + 0,384x_4 + \\ + 0,271x_5 + 0,839x_6, \\ (R^2 = 0,648; F(6,23) = 7,078; p < 0,001),$$

де y – значення КПФР (ум. од.); x_1 – значення рухомості нервових процесів за даними числа зривів диференційованих реакцій під час хронорефлексометрії; x_2 – ефективність роботи, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_3 – кількість дотиків до стінок лабіринту за даними тренометрії; x_4 – рівень врівноваженості нервових процесів за даними визначення реакції на об'єкт, що рухається (помилка у мс); x_5 – ступінь втягнення у діяльність, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_6 – величина ПКР за даними тренометрії (ум. од.).

В той же час закономірності взаємозв'язку показників КПФР юнаків у віці 17 років з провідними характеристиками досліджуваних ПФФ організму необхідно було представити у наступному вигляді:

$$y = 0,298 + 0,441x_1 + 0,457x_2 + 0,371x_3 + \\ + 0,189x_4 + 1,296x_5 + 1,081x_6 - 0,240x_7, \\ (R^2 = 0,608; F(7,22) = 4,878; p < 0,01),$$

де y – значення КПФР (ум. од.); x_1 – рівень врівноваженості нервових процесів за даними визначення реакції на об'єкт, що рухається (помилка у мс); x_2 – ступінь втягнення у діяльність, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_3 – величина ЛП ДЗМР за даними хронорефлексометрії (мс); x_4 – ефективність роботи, що виконується, за результатами роботи з таблицями Шульте (с); x_5 – кількість дотиків до стінок лабіринту за даними тренометрії; x_6 – величина

ПКР за даними тренометрії (ум. од.); x_7 – величина КЧСМ (Гц).

На підставі здійснення процедур кластерного аналізу для ПФФ, що вивчалися, незалежно від вікових (як серед 12-річних, так і серед 14- і 17-річних учнів) та статевих (як серед дівчаток і дівчат, так і серед хлопчиків і юнаків) особливостей досліджуваних осіб було виділено 3 основних кластерних угруповання і, таким чином, прогностичних критеріїв і точок прикладання різноманітних засобів впливу на оптимізацію величин КПФР та покращення провідних показників фізичного розвитку школярів.

До їх числа слід було віднести:

– зорово-сенсорний кластер (кластер №1), що визначає ступінь узагальненого впливу на процеси формування показників КПФР характеристик лабільності зорового аналізатору, КЧСМ, швидкості зорового сприйняття та ефективності роботи під час виконання регламентованих завдань;

– зорово-моторний кластер (кластер №2), який поєднує у собі психофізіологічні кореляти простої та диференційованої ЗМР;

– інтегративно-координаційний кластер (кластер №3), який є найбільш інтегративним за своїм змістом та об'єднує у своїй структурі дані щодо просторових і часових характеристик КР, рухомості нервових процесів, показники ступеня втягнення у діяльність, яка виконується, та психічної стійкості тощо.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного кореляційного, регресійного та кластерного аналізу, які засвідчували наявність достатньо тісних і стабільних взаємозв'язків величин КПФР, методика розрахунку величин якого була розроблена під час проведення наукових досліджень, та показників розвитку провідних ПФФ організму дівчат і юнаків, надали можливість розробити багатокритеріальну моделі щодо передбачення особливостей їх взаємозв'язку та взаємозалежності, імовірного передбачення критеріальних значень КПФР протягом різних вікових періодів життя, здійснити їх ґрунтовну прогностичну оцінку тощо.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ювенологія : практикум з підліткової медицини / За ред. проф. Л.К. Пархоменко. – Харків: ФАК, 2004. – 534 с.
- [2] Сергета І.В. Організація вільного часу та здоров'я школярів / І.В. Сергета, В.Г. Бардов. – Вінниця : РВВ ВАТ "Віноблдрукарня", 1997. – 292 с.
- [3] Осадчук Н.І. Фізичний розвиток дітей і підлітків та сучасні підходи до оцінки ступеня його гармонійності / Н.І. Осадчук, І.В. Сергета. – Вінниця : ТОВ "Меркьюрі-Поділля", 2014. – 188 с.
- [4] Володарський Є.Т. Статистична обробка даних : навч. посібник / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошеєва. – К.: НАУ, 2008. – 308 с.
- [5] Гельман В.Я. Медицинская информатика: практикум / В.Я. Гельман. – [2-е изд.]. – СПб.: Питер, 2002.
- [6] Сучасні підходи до здійснення комплексної оцінки стану здоров'я дітей, підлітків та молоді в ході проведення гігієнічних досліджень / [І.В. Сергета, К.А. Зайцева, Н.І. Осадчук, Д.П. Сергета] // Biomedical and Biosocial Antropology. – 2009. – № 13. – С. 15–18.

Новий підхід до формування бази модельних знань

С.В. Голуб

кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
fppk@ukr.net

І.А. Жирякова

кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
irena_zh@ukr.net

A new approach for knowledge model base development

S. Golub

Department of intelligent decision support systems
Bohdan Khmelnytsky National University
at Cherkasy
Cherkasy, Ukraine
fppk@ukr.net

I. Zhyriakova

Department of intelligent decision support systems
Bohdan Khmelnytsky National University
at Cherkasy
Cherkasy, Ukraine
irena_zh@ukr.net

Анотація—Обґрунтовано застосування нового підходу до автоматичного формування бази модельних знань для інтелектуальних систем прийняття рішень. Запропонований підхід базується на використанні основних положень теорії ієрархічних багаторівневих систем.

Abstract—A new approach for knowledge model base automatic development of intelligent decision support systems are proved. New approach is based on using the main provisions of the theory of hierarchical multilevel systems.

Ключові слова—концептуалізація знань, база модельних знань, інтелектуальні системи прийняття рішень

Keywords—knowledge conceptualization, knowledge model base, intelligent decision support systems

I. ВСТУП

Завдяки швидкому розвитку інформаційних та комунікаційних технологій на сучасному етапі сфера застосування засобів штучного інтелекту постійно розширюється. В зв'язку з цим, однією з найбільш актуальних задач сьогодення, яка потребує рішення, є створення автоматизованих систем інтелектуального управління.

Питання про критерії визначення інтелектуальності в діях системи залишається досі відкритим. Теоретичні

положення не визначають, що саме вважати необхідними і достатніми умовами, що визначають чи є система інтелектуальною, навіть за умови наявного визначення інтелектуальної системи прийняття рішень (ІСПР), зокрема управлінської [1]. Хоча на цей рахунок існує ряд поглядів, наприклад, Ньюелл і Саймон визначають поведінку системи як інтелектуальну, якщо ІСПР оперує абстрактними процесами на рівні знань при прийнятті рішень [2]. Отже, можна зробити висновок, що ефективно поєднання існуючих підходів, які сформовано в рамках теорії управління, системного аналізу і штучного інтелекту дадуть можливість сформувати єдиний концептуальний підхід до реалізації бази модельних знань в рамках слабо формалізованих процесів управління, яка забезпечить адекватне формування керуючих впливів відповідним процесам прийняття рішень, що приймаються висококваліфікованими фахівцями-експертами.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Кожна ІСПР зазвичай оперує величезною кількістю вхідних даних, які змінюються з плином часу. Тому, одним з основних завдань проектування подібних систем є забезпечення обробки мінливих даних і здатність до стійкого вироблення керуючих впливів, які б задовольняли мотивацію системи. Інакше кажучи, керуючі впливи

повинні враховувати постійну зміну вхідних даних, і робити це за малий проміжок часу – пристосовуватись до навколишнього середовища, аналогічно до того як це робить людина. Подібні задачі у розрізі систем штучного інтелекту вирішує компонент – база знань.

Незважаючи на те, що питанням роботи зі знаннями та застосуванню баз знань у різних предметних галузях присвячено досить багато публікацій (з яких оглядовими є [3-7]), у науковому співтоваристві досі немає згоди щодо раціональності застосування тієї чи іншої моделі представлення знань для розв'язання практичних задач, які зводяться до наступних класів: продукційні моделі, семантичні мережі, фреймові моделі і формальні логічні моделі. Також можна зазначити, що існуючі підходи не дають можливості отримати актуальні знання в рамках:

- задач кризового моніторингу, які потребують зміни структури бази знань за обмежений проміжок часу у відповідності до формування нових завдань;

- задач автоматичного формування, використання та реорганізації бази знань при необхідності їх подальшого атоматизованого застосування;

- задач оптимізації затрат часу на створення бази знань та перенесення уваги на розв'язок інтелектуальних задач.

Таким чином, існує протиріччя між необхідністю розв'язку комплексу задач, що ставляться перед інтелектуальними системами прийняття рішень та обмеженими можливостями науково-методичного апарату побудови існуючих баз знань. Наявність цього протиріччя робить актуальними дослідження процесів формування нових підходів до збереження та використання знань в інтелектуальних інформаційних системах.

Ці підходи повинні забезпечити побудову ІСПР нового покоління, що будуть забезпечувати автоматизований пошук раніше невідомих закономірностей у великих масивах даних і адаптивно формувати структуру бази модельних знань (БМЗ) відповідно до нових завдань без програмної перебудови інформаційної системи. Даний підхід припускає інші принципи збереження знань для їх подальшого індуктивного моделювання, що дозволить спростити процедуру отримання нових знань.

III. РЕЗУЛЬТАТИ

Забезпечення високої точності і надійності збільшує складність будь-якої ІСПР. Тому передбачається чітке розмежування задач, які розв'язуються її окремими модулями на кожному етапі функціонування системи. Отже, БМЗ, розв'язує комплекс задач із формування множини глобальних функціональних залежностей, що різнобічно відображають властивості досліджуваного середовища. Кожна глобальна функціональна залежність є ієрархічним поєднанням локальних багатопараметричних моделей, поєднаних в страти відповідно до рівнів моніторингу. Така структура забезпечує багаторівневе перетворення інформації від форми чисельних характеристик результатів спостереження до форми відомостей про властивості об'єктів, поданих в зручному

для використання вигляді. Поєднання кількох глобальних функціональних залежностей дозволяє БМЗ відобразити в своїй структурі різномірну інформацію про множини об'єктів, що утворюють досліджуване середовище. Періодичне поновлення та доповнення системи останніми результатами моніторингу за об'єктами досліджуваного середовища та автоматичне адаптування структури БМЗ дозволяє врахувати динамічність природних об'єктів при забезпеченні інформацією процесів прийняття рішень.

Передбачається, що БМЗ є базисом для блоку прийняття рішень ІСПР, який дає можливість формувати адекватні для поточного стану об'єкту керуючі впливи (рис. 1). Дана структура інваріантна до досліджуваного середовища і носить універсальний характер.

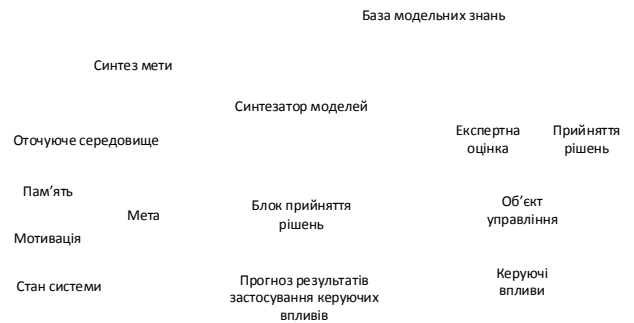


Рис. 1. Структурна схема ІСПР

Для проектування бази модельних знань необхідно виконати її структурну ідентифікацію, яка дозволить сформувати набір моделей і зв'язків між ними, для вирішення глобального завдання системи, а саме, забезпечення відомостями про властивості об'єктів процесу прийняття рішень.

Будемо розглядати множини критеріїв, що описуються n-мірним вектором, компоненти якого c_i являють собою передумови використання відповідних методів управління з кінцевої впорядкованої множини можливих значень $C_i, \forall i = \overline{1, n}$. При цьому створюється взаємозв'язок, що визначається множинним співвідношенням:

$$(c_1, \dots, c_n) \in C_1 \times \dots \times C_n \quad (1)$$

Такому набору векторів приписуються значення $r_j, \forall j = \overline{1, k}, k \leq n$. Отже, цей взаємозв'язок встановлює відповідність між визначеною множиною наборів передумов c_i та конкретним методом синтезу локальної моделі r_j .

Тим самим визначається функція:

$$f: C_1 \times \dots \times C_n \rightarrow R; R = \{r_1, \dots, r_k\} \quad (2)$$

де R – множина розв'язків задачі вибору методу синтезу моделі.

Кожному r_j відповідає свій метод синтезу моделі, при цьому кожне значення $r_j(A, t)$ характеризується двома

параметрами, що визначають прогнозне значення застосування тієї чи іншої моделі в конкретних поточних умовах функціонування, де $A \in [a, b]$ – прогноз результатів застосування результатів моделювання у визначений моменту часу t .

Реалізація вибору методу синтезу моделі може бути представлена у вигляді матриці, яка буде здаватися наборами (c_i, r_j) .

Для зменшення розмірності отриманої матриці та оптимізації часу пошуку рішення, можна обмежитись набором, який даватиме узагальнене уявлення про підмножини отриманих прогнозних значень, а саме, розглядати:

$$c_i^{inf} = \inf_{c_i} c_i, c_i^{sup} = \sup_{c_i} c_i \quad (3)$$

Більш гнучка структура визначення рішення можлива при використанні нечіткої логіки у сукупності з застосуванням бази правил, де опис функцій, що визначають вибір того чи іншого рішення формується експертом, та може корегуватися в процесі роботи ІСПР.

Отже, запропонована нова концепція виявлення, збереження та використання знань базується на наступних принципах:

- знання представляються у вигляді багатопараметричних моделей;
- зростання кількості знань досягається шляхом ієрархічного поєднання багатопараметричних моделей відповідно методу висхідного синтезу елементів в системах з багаторівневим перетворенням даних [8];
- використання положень теорії ієрархічних багаторівневих систем є основою для розв'язання задач структурної ідентифікації;

- консолідація знань відбувається шляхом поєднання глобальних функціональних залежностей, сформованих в рамках різнорідних предметних областей.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто основні положення єдиного концептуального підходу до реалізації бази модельних знань в рамках слабо формалізованих процесів управління. Запропонований підхід орієнтований на автоматичне формування та подальший автоматизований супровід баз знань для будь-якої предметної області. Крім того, така форма подання знань легко читається, і аналітик майже завжди може простежити шлях, по якому рухалася ІСПР при побудові остаточної класифікації і відборі методів управління.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы [Текст] / К.А. Пупков, В.Г. Коньков. – Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 320 с.
- [2] Фролов А.Б. Распознавание в интеллектуальных системах функционального типа. [Текст] / А.Б. Фролов, Д.А. Фролов, И.Д. Четрафилов. // Интеллектуальные системы. – 1997. – Т. 2, Вып. 1-4.
- [3] Knowledge Acquisition Tools, Methods, and Mediating Representations [Text] / [Motoda H., Mizoguchi R., Boose J.H., Gaines B.R.]. – Proceedings of the First Japanese Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop: JKA90, Ohmsha Ltd: Japan, 1990. – 32 p.
- [4] Wielinga B. KADS: A Modeling Approach to Knowledge Engineering [Text] / B. Wielinga, G. Schreiber, J.A. Breuker // In Knowledge Acquisition. – 1992. – vol. 4, n. 1. – P. 5-53.
- [5] Tuthill G.S. Knowledge Engineering [Text] / G.S. Tuthill. – TAB Books Inc., 1994. – 750 p.
- [6] Adeli H. Knowledge Engineering [Text] / H. Adeli. – New-York: McGraw-Hill Publishing Company, 1994. – 914 p.
- [7] Приобретение и формализация знаний [Текст] / [Аверкин А.Н., Блишун А.Ф., Гаврилова Т.А., Осипов Г.С.] / Искусственный интеллект: [в 3 т.] / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – Т. 2: Модели и методы. – 304 с.
- [8] Голуб С.В. Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища / С.В. Голуб. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2007. – 220 с.

Мінімізація ризику лікарської помилки в системах підтримки прийняття рішень в медицині

А.І. Поворознюк

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

О.А. Поворознюк

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

Minimizing the risk of medical errors in decision support systems in medicine

A. Povoroznjuk

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

O. Povoroznjuk

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

Анотація—Формалізована задача комплексної оцінки етапів діагностично-лікувального процесу з метою мінімізації ризиків лікарських помилок. Розроблено методи кластеризації діагнозів в просторі лікарських дій і корекції порогів в діагностичному вирішальному правилі.

Abstract—Formalized task comprehensive evaluation phases of diagnostic and treatment process to minimize the risk of medical errors. Methods of clustering in space medical diagnosis and correction action thresholds in diagnostic decision rules.

Ключові слова—комп'ютерна система, діагностика, лікарська дія, лікарська помилка.

Keywords— computer system, diagnostician, medical action, medical error.

I. ВСТУП

Комплекс діагностично-лікувальних заходів (ДЛЗ) складається з двох взаємопов'язаних етапів: діагностики захворювань і лікування виявлених патологій, причому після діагностики і призначення лікувальних процедур необхідний моніторинг поточного стану пацієнта з метою оцінки ефективності процесу лікування і, при необхідності, його корекції. Для лікування того чи іншого захворювання необхідно надання певних лікарських дій

(ЛД) на організм (хірургічне втручання, фармакологічний, лікувально-терапевтичний вплив, реабілітаційні заходи).

На кожному із зазначених етапів лікар, як особа, яка приймає рішення, виробляє управлінське рішення в умовах дефіциту вихідних даних і суттєвої апріорної невизначеності, ґрунтуючись на своїй кваліфікації, досвіді і інтуїції. При цьому прийняття неправильного рішення (лікарська помилка) як на етапі діагностики, так і на етапі лікування може мати катастрофічні наслідки для здоров'я пацієнта. Термін «лікарська помилка» (ЛП) визначає неправильну діагностику хвороби або неправильні ЛД, які обумовлені добросовісною помилкою лікаря, при цьому виключається недбалість і несумлінність при виконанні своїх обов'язків. Причиною помилки діагностики є недостатній обсяг діагностичних даних (застосування застарілого обладнання або недостатня кваліфікація лікаря, який призначав список обстежень), або їх невірна інтерпретація (особливо при суб'єктивному аналізі якісних показників). Причиною неправильних ЛД при правильному діагнозі є недостатнє врахування індивідуальних особливостей пацієнта (алергічні реакції на певні препарати, список хвороб, якими вже хворів пацієнт, які ліки приймав і т.д.).

В даний час є широкий спектр комп'ютерних діагностичних систем в різних предметних областях

медицини [1], інформатизація ЛД обмежується медичними довідниками, в тому числі у вигляді інформаційно-пошукових систем [2]. В сучасних комп'ютерних системах підтримки прийняття рішень в медичній завдання діагностики і ЛД розглядаються незалежно один від одного, тому актуальною є задача мінімізації ризику ЛП при комплексній оцінці діагностичних і лікарських дій (ДЛД).

Метою роботи є розробка інформаційних технологій комплексної оцінки етапів ДЛД з метою підвищення їх ефективності та мінімізації ризику лікарських помилок.

II. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕТАПІВ ДЛД

У формалізованому вигляді завданням діагностики є класифікація стану i -го пацієнта D_i при аналізі вектора діагностичних ознак X_i . При цьому виконується синтез ієрархічної структури діагностуємих станів в заданій предметній області медицини (бінарне дерево рішень S_D), в кожній вершині якого застосовується вирішальне правило (ВП), яке реалізує метод послідовного аналізу при діагностиці між станами D_q і D_l . На кожному i -му етапі ВП аналізується чергова ознака x_i і обчислюється відношення правдоподібності:

$$\Theta = \prod_i P(x_{ik} / D_q) / P(x_{ik} / D_l),$$

яке порівнюється з порогами $\Theta > A$, $\Theta < B$.

При виконанні однієї з умов приймається рішення про D_q або D_l відповідно і виконується перехід на більш низький рівень ієрархії S_D з метою уточнення діагнозу. При невиконанні обох нерівностей додається $i + 1$ ознака і процедура повторюється.

ЛД представляються моделлю $M_a = \langle T_p, F, SI \rangle$, де M_a – множина ЛД; $T_p = \{t_{pi}\}$ – множина терапевтичних дій (ТД), $F = \{f_i\}$ – множина фармакологічних дій (ФД), $SI = \{si_i\}$ – множина видів хірургічного втручання.

Призначення ВД при відомому D_i складається з визначення їх типу (T_p, F, SI , або їх комбінацій) і переліку конкретних дій. Вибір типу ЛД є завданням багатокритеріального вибору альтернатив, для вирішення якої використовується метод аналізу ієрархій (МАІ). Для кожного з допустимих для даного діагнозу D_i типу ЛД формується підмножина необхідних ЛД $t_{pD_i} \in T_p$,

$f_{D_i} \in F$, $si_{D_i} \in SI$, після чого визначається їх реалізація з урахуванням індивідуальних особливостей пацієнта, протипоказань до окремих ЛД і багатокритеріального вибору аналогів. Для комплексної оцінки етапів ДЛД і мінімізації ризику ЛП шукається залежність між помилкою діагностики (D_q замість D_l) і її наслідків при реалізації ЛД. Так як для переважної кількості патологій в різних областях медицини ЛД реалізуються медикаментозним шляхом, розглянемо такий варіант реалізації ЛД, при якому кожному діагнозу D_i відповідає множина необхідних ФД f_{di} , на підставі якого формується комплекс лікарських препаратів (КЛП) Y_i , який забезпечує

f_{di} , з урахуванням непереносимості i -го пацієнта до окремих препаратів і багатокритеріального порівняння препаратів-аналогів. Так як $Y_q \rightarrow f_{Dq}$, а $Y_l \rightarrow f_{Dl}$, то ризик ЛП визначається розбіжністю компонентів множин f_{dq} та f_{dl} , і для його мінімізації виконується перехід від традиційного простору ознак X в простір ФД F , компонентами якого є бінарні змінні (0 – відсутня ФД, 1 – присутня), а кожен стан D_i представляється i -ю вершиною гіперкуба. В якості міри близькості в просторі

$$F \text{ вибрана зважене відстань Хеммінга: } r_{ij} = \sum_{k=1}^g w_{ij} |f_{ki} - f_{kj}|$$

, де $f_{ki}, f_{kj} \in [0,1]$ – k -та ФД i -го та j -го діагнозів відповідно; g – розмірність простору F ; w_{ij} – коефіцієнт, який забезпечує збільшення відстані, в разі наявності конфлікуючих ФД.

Застосування ієрархічної кластеризації за критерієм мінімуму сумарної зв'язку (мінімальний розріз R) в просторі F забезпечує мінімум ризику прийняття рішення на етапі формування КЛП при синтезі дерева рішень S_D на етапі діагностики. Крім того, в роботі пропонується метод корекції порогів A і B в ВП, враховуючи помилки, які виникають на етапі призначення КЛП. Отримано залежності між α , β і нормованим значенням мінімального розрізу \bar{R}_i : $\alpha_n = 0,5(1 - \bar{R}_{qi})$, $\beta_n = 0,5(1 - \bar{R}_{li})$. Визначені таким чином α і β задають пороги $A = (1 - \beta) / \alpha$, $B = \beta / (1 - \alpha)$ в ВП, що забезпечує врахування ризиків ЛП при призначенні КЛП в діагностичному ВП.

Розглянута технологія комплексної оцінки ДЛД з метою мінімізації ризиків ЛП адаптується до інших видів ЛД, при цьому виконується перехід з простору ознак X у простір відповідних ЛД (T_p або SI). Виконана програмна реалізація системи і її тестування на реальних медичних даних з використанням навчальної вибірки з 400 пацієнтів. В якості основної платформи обґрунтований вибір Java. В архітектурі системи виділено три основних модуля: модуль взаємодії з користувачем, базу даних, що включає в себе базу знань і модуль побудови знань.

ВИСНОВКИ

Розроблено систему підтримки прийняття рішень при проведенні ДЛД на основі формалізації етапів проведення ДЛД при їх комплексній оцінці, що дозволяє мінімізувати ризику лікарських помилок, підвищити достовірність і обґрунтованість рішень. Архітектура програмного забезпечення системи дозволяє легко адаптуватися до різних предметних областей медицини.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] 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.
- [2] Компендиум 2015 – лекарственные препараты /Под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>.

Geographical Information System that Stores the Data About Graffiti in the City of Lodz

J. Rogowski

Adiunkt, Branch of the University of Lodz in Tomaszow Mazowiecki
Konstytucji 3 Maja str., 65/67, Tomaszow Mazowiecki, Poland

Географічна інформаційна система яка зберігає дані про графіті в місті Лодзь

Я. РОГОВСЬКИЙ

Доцент, Університет в Лодзі, Філія Томашів-Мазовецький,
вул. Конституції 3 травня 65/67, м. Томашів-Мазовецький, Польща

Abstract—The paper presents the Geographical Information System that was elaborated within the subject "Geographic Information Systems in Tourism" carried out in the Faculty of Geographical Sciences at the University of Lodz. The assumptions, functional and non-functional requirements for the system are presented, as well as the implementation details. This is probably the only such system in Poland.

Анотація—У статті представлена географічна інформаційна система, яка була розроблена на предметі "Географічні інформаційні системи в туризмі", який читається на факультеті географічних наук в Університеті Лодзі. У даній роботі представлені припущення, функціональні і нефункціональні вимоги до системи, а також деталі реалізації. Це, напевно, єдина така система в Польщі.

Keywords—GIS; graffiti in Lodz; OpenStreetMaps API

Ключові слова—Географічна інформаційна система; графіті в місті Лодзь; OpenStreetMaps API

I. INTRODUCTION

Geographic Information System is a computer system that allows the acquisition, storage, analysis and visualization of spatial information having a reference to the Earth's surface. GIS are widely used in geodesy and cartography, forestry and agriculture, public administration offices, in local government units, in the army, the real estate management, environmental protection, trade, transport, industry and tourism.

Data stored by the system can come from various sources, such as satellite and aerial images, Light Detection and Ranging (LIDAR) data, geodetic measurements, field measurements using GPS devices, digitized paper maps and acquiring existing data in the form of statistical yearbooks, records, measuring logs. GIS data can also be collected by Internet users. A good example here is Wikimapia project. An

extremely important advantage of GIS is the ability to integrate data from different sources.

The main module of GIS is a database of spatial information. Before we can use the system, the necessary data must be placed in the individual database tables. At the moment, most of the Database Management Systems have extensions that enable the storage of spatial data. Examples include Oracle Spatial and Spatial Data for Microsoft SQL Server. Oracle Spatial gives more possibilities than spatial extensions of other Database Management Systems.

Within the subject "Geographic Information Systems in Tourism" carried out in the Faculty of Geographical Sciences at the University of Lodz it was decided to elaborate the system that stores the data about the graffiti in the city of Lodz. It would help to develop students' practical ability to acquire spatial information and develop their own GIS systems.

II. DESCRIPTION OF THE SYSTEM

To implement the system Java programming language was chosen. This allows fast creation of complex systems. Java provides quick access to object-relational Database Management Systems using the JDBC Application Programming Interface. In addition, the language has built-in support for exception handling that allows the unified error handling of the user input and information exchange with the database. The choice of Java has enabled the use of OpenStreetMap Application Programming Interface. OpenStreetMap API provides the data structures that give the possibility to place the geographical objects on the map easily. System uses Oracle DBMS to store its data.

The graffiti data for the system was obtained by the students. Students were divided into teams. Each team inventoried one area of the city.

The data was collected in the field using mobile devices and applications enabling the measurement of point coordinates in GPS. Each project team travelled the route determined by previously documented trail and found the graffiti on the walls of buildings. The information obtained included:

- photo of the graffiti,
- the coordinates of the place of the graffiti occurrence (coordinate system PUWG 1992),
- address of the building on which the graffiti is located,
- category and description of the graffiti.

To store the graffiti coordinates data system uses the Oracle Spatial extension. This extension includes SDO_GEOMETRY object data type. This type allows to store the data of spatial objects of different shapes in relational database tables. System uses points to store the coordinates of the places of the graffiti occurrences. In order to store the graffiti images data the object type ORDSYS.ORDImage is used. All data operations are implemented on the database side in the form of stored procedures. Java code simply calls various procedures using JDBC.

The project includes the implementation of the following system modules:

- adding data of each graffiti,
- displaying graffiti objects on the OpenStreetMap map in the form of icons,
- obtaining all information about individual graffiti including photographs of the graffiti,
- editing the data of individual graffiti,
- displaying the summary list of graffiti data.

Graphical user interface of the system is developed using the Swing (the Java standard graphical components library), so that the user interface is standardized for different operating systems. At startup, the system detects the screen resolution of the output device and adjusts the size of the main window of the graphical user interface in such a way that the window took up the whole screen.

Fig. 1 shows the fragment of the main system window. Individual graffiti are placed on the map as icons. Placing the mouse cursor on the icon displays a thumbnail image of the graffiti. Double-left clicking the icon displays a pop-up menu that allows to display the window shown in Fig. 2. This window enables to change graffiti data. Fig. 3 shows the fragment of the system window displaying the summary list of graffiti data.

CONCLUSIONS

Operation of the system reveals a high deployment potential of the software and the modular design allows for easy software development and modification. It can be considered that the project was completed successfully.



Fig. 1. The fragment of the main system window presenting graffiti as icons on the map



Fig. 2. The fragment of the system window presenting detail information of the graffiti

ID	Nr zdjęcia	Adres	Nr działki	Kategoria	Opis
3439	obszar_15_124	Ignacego Paderew.	494/28	RTS/LKS	Nie ma możliwości st...
3440	obszar_7_51	Lutomierska 119	B45-183/49	LKS	Graffiti fiks na budynku
3441	obszar_15_125	Ignacego Paderew.	206/46	RTS/LKS	Nie ma możliwości st...
3442	obszar_7_57	Konstantynowska 35	P15-598/2	LKS	GRAFFIT NA PŁOCIE
3443	obszar_15_126	Ignacego Paderew.	206/46	RTS/LKS	Nie ma możliwości st...
3444	obszar_7_52	Sprawiedliwa 23	B45-18/27	LKS	Graffiti fiks na budynku
3447	obszar_7_53	Lutomierska 151C	B45-204/29	LKS	Graffiti fiks na budynku
3448	obszar_15_128	Jaroslawska 25	204/9	RTS/LKS	Nie ma możliwości st...
3449	obszar_7_54	Obornicka 6	B45-208/54	LKS	Graffiti fiks na budynku
3450	obszar_7_55	Konstantynowska 45	P15-594	LKS	GRAFFIT NA BUDYN...
3451	obszar_15_129	Jaroslawska 10	207/1	RTS/LKS	Nie ma możliwości st...
3452	obszar_7_56	Konstantynowska 35	P15-598/2	LKS	Graffiti fiks na budynku
3453	obszar_15_130	Jaroslawska 25	204/38	RTS	Graffiti należące do ...
3456	obszar_15_131	Chocińska 19	237/9	LKS	Graffiti należące do z...
3453	obszar_7_91	Tłuszczyńska 4a	B44-26/8	RTS/LKS	GRAFFIT NA BUDYN...
3464	obszar_15_132	Rymanowska 5	161/117	RTS/LKS	Nie ma możliwości st...
3465	obszar_15_133	Konstantego Ciołkow.	497/22	RTS	Graffiti należące do z...

Fig. 3. The fragment of the system window presenting the summary list of graffiti data

REFERENCES

- [1] J. Rogowski, "System informacji geograficznych oparty o obiektowo-relacyjne systemy zarządzania bazą danych Oracle oraz Microsoft SQL Server", ELIT 2014 Conference proceedings, Lviv, Ukraine, 2014.
- [2] J. Rogowski, I. Jażdżewska, M. Nalej, "Aplikacja przedstawiająca na mapie rozmieszczenie łódzkich murali", I Konferencja GIS w edukacji, Poznan, Poland, 2015.

Аналіз і оцінка екологічного стану регіонів з використанням grid-технологій

О.М. Гладка, Л.В. Зубик, І.М. Карпович, В.О. Савич
кафедра комп'ютерних наук
Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
viklom@ukr.net

Analysis and evaluation of ecological condition of regions with use grid-technologies

O. Hladka, I. Karpovych, L. Zubyk, V. Savych
Department of Computer Science
National University of Water Management and Nature Resources Use
Rivne, Ukraine
viklom@ukr.net

Анотація—Розроблено методику ранжування елементів складних систем з використанням Grid-технологій та застосовано її до аналізу екологічного стану північних районів Рівненської області за розрахованими комплексними показниками.

Abstract—The study of the environment imposes specific requirements for the construction and functioning of Grid-systems. Forecasting of any complex system as a whole and justification for adoption of respective decisions on the future development of some of its components may be provided by effective using, processing and analysis of data from various sources and evaluation of objects, taking into account specific set of attributes. Use of multivariate statistical analysis methods allows to achieve the fullness theoretical description of objects and objectivity of research findings, for example regarding future investments. A complex comparative evaluation involves the use of a specific set of methods: the summation of indicators, the sum of places, distances, taksonometriyi, method of standard coefficients, the sum of points on a continuous scale on the selected interval, the sum of points with different scales for different indicators and so on.

For a system analysis condition of the environment of region in this work we developed the method of ranking the elements of complex systems and algorithms for its implementation in the form of applications modules Grid-systems that have been applied to the analysis of the ecological condition of the northern districts of Rivne region which calculated by complex indicators. In calculations of complex evaluation was used indicators condition of the natural environment, published by the Department of Environment and Natural Resources of Regional State Administration.

Ключові слова—аналіз даних, ранжування, інтелектуальна система оцінювання, багатовимірне шкалування, Grid-технологія.

Keywords—data analysis, ranking, intelligent evaluation, multi-scale, Grid-technology.

I. ВСТУП

Розвиток інформаційного суспільства в умовах глобалізаційних процесів характеризується активним застосуванням інноваційних комп'ютерних технологій для розв'язування актуальних екологічних та соціально-економічних проблем з метою забезпечення сталого розвитку і безпеки. На реалізацію таких задач як в регіональному, так і в глобальному масштабі спрямовано багато міжнародних програм і ініціатив. В Україні, як і у всьому світі, отримують розвиток розподілені інформаційні системи, які надають доступ до великих сховищ інформації та інших ресурсів, а також передбачають сумісне використання інформаційних продуктів і інтеграцію регіональних та національних систем моніторингу [1].

Для відображення і моделювання реальних явищ і процесів в аналітичній практиці останніх років активно використовуються Grid-технології (Global Resource and Information Database) [2–3]. З метою підвищення інтелектуального рівня електроенергетичних систем в ряді країн набувають поширення програми використання концепції Smart Grid. Зокрема, в роботі [4] проаналізовано основні технологічні передумови реалізації цієї концепції в

енергетичних системах України. Основною ідеєю методології Grid-обчислень, як відомо, є організація централізованого віддаленого доступу до ресурсів (даних, програм, апаратного забезпечення), необхідних для вирішення різного роду завдань, у першу чергу пов'язаних з уніфікацією процедур збору і опрацювання інформації та виконанням великих за обсягами обчислень.

II. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ

Дослідження стану навколишнього середовища висуває специфічні вимоги до побудови і функціонування відповідних Grid-систем. Прогнозування розвитку будь-якої складної системи в цілому і обґрунтування прийняття відповідних рішень щодо майбутнього розвитку окремих її компонент можливе за умови ефективного використання, опрацювання і аналізу даних з різних джерел і оцінки об'єктів із врахуванням певної множини ознак. Використання методів багатовимірного статистичного аналізу [5–7] дозволяє досягнути повноти теоретичного опису об'єктів дослідження і об'єктивності зроблених висновків, наприклад, стосовно майбутніх інвестицій. Комплексна порівняльна оцінка включає використання певного набору методів: підсумовування показників, суми місць (об'єкти ранжуються за показниками-стимуляторами у порядку зростання і в той же час за показниками-дестимуляторами – у порядку спадання), відстаней (використовується прийом нормування), таксонометрії (враховуються не тільки абсолютні значення показників), стандартних коефіцієнтів, суми балів з неперервною шкалою на вибраному відрізку, суми балів з різними шкалами для різних показників тощо.

Для системного аналізу стану довкілля регіонів у цій роботі розроблено методику ранжування елементів складних систем та алгоритми її реалізації у вигляді прикладних модулів Grid-системи, що були застосовані до аналізу екологічного стану північних районів Рівненської області за розрахованими комплексними показниками. В розрахунках комплексної оцінки використовуються показники стану природного навколишнього середовища, які опубліковані департаментом екології та природних ресурсів обласної державної адміністрації. Серед них: загальні показники (зокрема, густота населення); показники, що характеризують поверхню Землі і наземну біосферу (площа природно-заповідного фонду; вміст гумусу в ґрунтах; площа лісів; площа сільгоспугідь, що піддаються водній ерозії; використання пестицидів, мінеральних добрив); характеристики водного середовища; показники, що характеризують стан повітряного басейну (кількість забруднюючих речовин із стаціонарних, пересувних джерел; питома протяжність доріг тощо). Як стимулятори розглядаються такі показники як площа природно-заповідного фонду, площа лісів, вміст гумусу в ґрунтах тощо.

В загальному випадку, для аналізу і інтелектуальної обробки можуть бути використані дані екологічного моніторингу, зокрема, дані спостережень Землі з космосу, гідрометеорологічні дані, дані геологічної розвідки тощо.

Комплексна оцінка екологічного стану регіонів може бути використана як управлінськими структурами різних рівнів, так і суб'єктами господарювання для аналізу і прогнозування бюджетної, інвестиційної, природоохоронної та іншої діяльності. Запропонована методика ранжування регіонів може використовуватися також як початковий етап для бенчмаркінгу (Benchmarking) – сучасної концепції управління бізнесом, яка передбачає безупинний пошук, вивчення кращої практики конкурентів та підприємств із суміжних галузей і порівняння бажаних змін та результатів із створеною еталонною моделлю організації, що, на нашу думку, може застосовуватися і для визначення інноваційних стратегій розвитку регіонів та прийняття системних рішень.

ВИСНОВКИ

Ефективне адміністрування вимагає системного підходу і комплексного аналізу як соціально-економічного стану, так і стану навколишнього природного середовища регіонів. Тому замовником (зацікавленою стороною) результатів аналізу екологічного чи соціально-економічного стану регіонів або територіальних об'єднань можуть бути адміністрації відповідного рівня. Саме з їх ініціативи доцільно формувати перелік і пріоритетність показників та формат їх подання.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

- [1] Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти: Монографія. – Ч. 1. Глобальний аналіз якості та безпеки життя людей / За ред.: М.З. Згуровський, В.Я. Шевчук; Міжнародна Рада з науки (ISCU), Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку, Інститут прикладного системного аналізу, НАН України, МОН України. – К.: НТУУ “КПІ”, 2010. – 252 с.
- [2] Куссуль Н.М. Grid-системи для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии / Н.М. Куссуль, А.Ю. Шелестов. – К.: Наукова думка, 2008. – 452 с.
- [3] Згуровський М.З. Створення національної Grid-інфраструктури для забезпечення наукових досліджень / М.З. Згуровський, А.І. Петренко, Г.Д. Кисельов // Інформаційні технології в освіті. – 2009. – № 4. – С. 12-17.
- [4] Денисюк С.П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах / С.П. Денисюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 1. – С. 7-20.
- [5] Сошникова Л.А. Многомерный статистический анализ в экономике / Л.А. Сошникова, В.Н. Тамашевич, Г. Уебе, М. Шефер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.
- [6] K. Backhaus, B. Erichson, W. Plinke, R. Weiber, Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 13. Auflage. Springer: Berlin, 2011, 830 p.
- [7] J. Janssen, W. Laatz, Statistische Datenanalyse mit SPSS. Eine anwendungsorientierte Einführung. 8. Auflage. Springer: Berlin, 2013, 804 p.

Розробка веб-інтерфейсу системи інформаційного забезпечення аграрного виробництва

О.С. Демчук
кафедра прикладної математики
Національний університет водного господарства та
природокористування,
м. Рівне, Україна
ldem1997@ukr.net

В.П.Ковальчук
лабораторія інформаційних систем
Інститут водних проблем і меліорації НААН
України,
м. Київ, Україна
kovalchukvp@mail.ru

Web interface development of information system of agricultural production

O. Demchuk
Department of Applied Mathematics
National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine
ldem1997@ukr.net

V. Kovalchuk
Laboratory Information Systems
Institute of Water Problems and Land Reclamation
NAAN of Ukraine
Kiev, Ukraine
kovalchukvp@mail.ru

Анотація—В Інституті водних проблем і меліорації за участю фахівців кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування розроблено веб-інтерфейс системи інформаційного забезпечення аграрного виробництва. На сайті можна знайти вичерпну інформацію про сучасні агротехнології і технічні засоби ведення сільськогосподарського виробництва, рекомендації щодо проведення зрошувального землеробства, використання мінеральних добрив, картографічну інформацію про агрокліматичні ресурси і ґрунтовий покрив території України тощо.

Abstract—Web interface of agricultural production information system is developed in Institute of Water Problems and Land Reclamation with the participation of specialists of Applied Mathematics department, National University of Water and Environmental Engineering. The site provides comprehensive information about modern agricultural technologies and technical means of agricultural production, recommendations for irrigated agriculture, use of fertilizers, the cartography of agro-climatic resources and the soil in Ukraine and others.

Ключові слова—веб-інтерфейс, інформаційна система, база даних, агровиробництво.

Keywords—Web interface, information system, database, agricultural production.

I. ВСТУП

Швидкий розвиток телекомунікаційних, комп'ютерних й Інтернет технологій, з одного боку, та агротехнологій і технічних засобів ведення сільськогосподарського виробництва, динамічні зміни ситуації на аграрному ринку, з іншого, сприяють росту попиту на інформацію аграрного характеру в мережі Інтернет.

Щоб задовольнити цей попит, в Інституті водних проблем і меліорації створено «Систему інформаційного забезпечення аграрного виробництва». Для створення й адміністрування бази даних і знань використана СКБД з відкритим кодом MySQL [1]. Веб-інтерфейс системи розроблено за участі фахівців та студентів кафедри прикладної математики Національного університету водного господарства та природокористування на базі платформи WordPress [2].

II. СТРУКТУРА І ФУНКЦІЇ WEB-САЙТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вся інформація поділена на 6 блоків: «Агроресурсний потенціал», «Меліорація», «Землеробство», «Тваринництво», «Механізація та переробка» та «Інтерактивна агроекологічна карта України», реалізованих у вигляді окремих сторінок, до яких можна перейти за допомогою відповідних рисунків-посилань (рис. 1). Головне меню сторінки містить пункти «Про нас», «Реєстрація», «Довідкова інформація» «Контакти», де

викладені контакти та коротка інформація про розробників системи і користувачі сторінки можуть пройти реєстрацію.

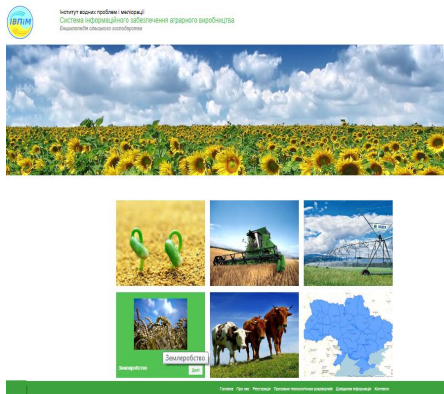


Рис. 1. Головна сторінка сайту

Пункт меню «Програми технологічних розрахунків» пропонує користувачам ряд інтегрованих до системи програмних комплексів, розроблених в ІВПМ НААН. Вони реалізують декілька технологічних розрахунків для сільськогосподарського виробника. Наприклад, підсистема «Сівозміни» визначає оптимальний в даних агрокліматичних умовах господарства склад і чергування сільськогосподарських культур. Підсистема «Розрахунок водоподачі на зрошення найближчою насосною станцією» допомагає підібрати сільськогосподарські культури в умовах зрошення, щоб не перевищити можливості насосної станції, яка подає воду. Ці програми мають комерційний характер, обмежений доступ і працюють через відповідний логін і пароль. Планується розмістити також калькулятор доз добрив, який буде корисний для агрономів.



Рис. 2. Сторінка «Гідротехнічна меліорація»

Система, що знаходиться у вільному доступі, надає користувачеві інформацію про технології вирощування сільськогосподарських культур і методи захисту ґрунтів від деградації та ерозії, коротку інформацію про проведення багаторічних стаціонарних дослідів дослідною мережею НААН, рекомендації щодо використання мінеральних добрив, картографічну інформацію про агрокліматичні ресурси і ґрунтовий покрив території України тощо. Розроблено окремі веб-сторінки, присвячені

технологіям вирощування (сформовані у вигляді технологічних карт), переліку сортів і гібридів сільськогосподарських культур.

Для меліорованих земель інформаційна система реалізує запити користувача про норми водопотреби визначених сільськогосподарських культур з урахуванням кліматичних умов регіону. Для конкретного господарства надається інформація про дощувальну техніку і насосне обладнання для проведення поливів (рис. 2).



Рис. 3. Інтерактивна агроекологічна карта України

З головної сторінки є перехід на розроблену в Інституті інтерактивну агроекологічну карту України, яка містить статистичну інформацію по-областях про землекористування, площі посіву і внесення добрив під сільськогосподарські культури, а також середню по області врожайність певної сільськогосподарської культури (рис. 3). Інтерактивна карта наглядно відображає агроекологічну динаміку в просторі (для кожної області України) і часі (за певні роки). Карта відкривається за допомогою веб-переглядача (браузера) у окремому вікні.

Структура інтерфейсу налічує чотири рівні вкладення сторінок «головна сторінка – сторінка розділу – сторінка підрозділу – інформаційна сторінка». Більша кількість вкладень приведе до певних труднощів роботи користувача з інтерфейсом системи, а менша – до втрати структурованості інформації.

Висновки

Розвиток інтерфейсу інформаційної системи має спрямовуватись на використання фреймворків аналітичної складової – технологічних розрахунків підтримки прийняття управлінських рішень і розширення інформаційної бази даних системи. Для поліпшення візуальної доступності сайту планується ширше залучати і використовувати ГІС-технології.

Дана розробка буде корисною як для науковців або студентів, так і для представників аграрного сектору.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] В. Васвани. MySQL: использование и администрирование — М.: «Питер», 2011. — 368 с.
 [2] Трис Хассей. WordPress для профессионалов. — М.: «Эксмо», 2012. — 432 с.
 [3] Хостинг сайтів. – Way of access: URL: www.hostinger.com.ua

Геометричний метод розпізнавання облич: характерні ознаки

І. В. Голуб'як
кафедра інформаційних технологій
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
iholubiak@gmail.com

Geometric method of face recognition. Characteristic features

I. Holubiak
Department of Informational Technologies
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
iholubiak@gmail.com

Анотація—Проведено аналіз існуючого геометричного методу розпізнавання облич. Запропоновано застосування даного методу для визначення характерних ознак на двох отриманих профільних зображеннях.

Abstract— The existing geometric method of face recognition is analysed. The author offers application of this method to determine the characteristic features of the two images obtained profile.

Ключові слова—геометричний метод; характерні ознаки; характерні області.

Keywords— geometric method; characteristic features; typical areas.

I. Вступ

На даний час розпізнавання облич є актуальним та використовується в багатьох сферах життя. Варто відмітити використання різноманітних методів розпізнавання у таких системах, як ідентифікація особи для надання доступу до захищених даних чи автентифікація користувача в системі використовуючи його біометричні дані, зокрема обличчя.

Геометричний метод розпізнавання облич надзвичайно схожий із принципом розпізнавання людей для самих людей. Перевагою біометричних систем розпізнавання облич є простота їх використання, не має необхідності у фізичному контакті, не обов'язкове застосування дорогого устаткування дає змогу отримати доступ до інформації без можливості її викрадення і втрати. Дані системи все частіше використовуються в системах відеоконтролю аеропортів, масового скупчення людей, криміналістиці, в

банках, офісах, супермаркетах. Основним завданням являється забезпечення безпеки людей, чи надання захищеного доступу до власної чи призначено-конфіденційної інформації відповідному суб'єкту і тільки йому. Для таких систем часто застосовуються такі методи як: приховані Марківські моделі, метод головних компонент, геометричний метод, метод еластичних графів, штучні нейронні мережі, активних моделей зовнішнього вигляду та багато інших. В кожному із методів закладений певний алгоритм роботи, від чого залежить швидкість виконання операцій відносно яких виникає залежність швидкості обробки отриманих результатів. Відтак перелічені методи мають свої переваги та недоліки, що впливає на оперативність навчання, розпізнавання та в загальному роботи системи. Основним недоліком методів являється великий об'єм оброблюваної інформації. В зв'язку з цим пропонується метод геометричних точок для зменшення об'єму оброблюваних даних та підвищення швидкодії системи.

II. ГЕОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ

Тематика розпізнавання облич складна, базується на поєднанні об'ємних математичних формул, понять, залежностей. Тому реалізацією методів розпізнавання облич займаються багато як наукових груп, так і компанії з розробки комерційного програмного забезпечення[1].

Одним з методів розпізнавання, являється геометричний метод. Суть його полягає у виділенні набору ключових точок (або областей) обличчя і в наступному виділенні набору ознак. Кожна ознака є або відстанню між характерними ознаками, або відношенням

таких відстаней. На відміну від методу порівняння еластичних графів, тут відстані вибираються не як дуги графів. Набори найбільш інформативних ознак виділяються експериментально.

Як ключовими ознаки можуть бути вибрані кути очей, губ, кінчик носа, центр ока і т. п. Рис. 1. В якості ключових областей можуть служити прямокутні області, що включають в себе: губи, очі, ніс, рот.

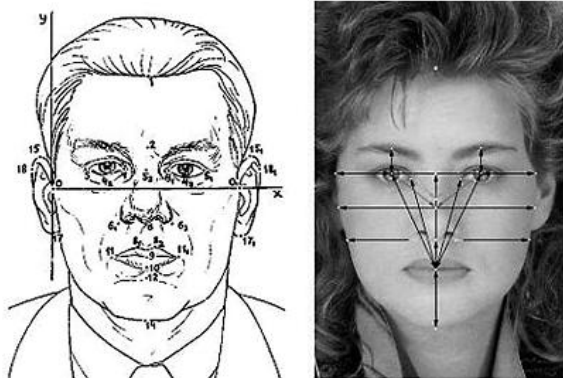


Рис. 1. Характерні ознаки обличчя

У процесі розпізнавання порівнюються ознаки невідомої особи з ознаками, що зберігаються в базі. Задача знаходження ключових точок наближається до трудомісткості безпосередньо розпізнавання, і правильне знаходження ключових точок на зображенні багато в чому визначає успіх розпізнавання. Тому отримання зображення обличчя людини має бути без завад, що заважають процесу пошуку ключових точок. До таких відносять окуляри, бороди, прикраси, елементи зачіски і макіяжу. Освітлення повинно бути рівномірним і однаковим для всіх зображень. Крім того, зображення обличчя повинно мати фронтальний ракурс, можливо, з невеликими відхиленнями. Вираз обличчя повинен бути нейтральним. Це пов'язано з тим, що в більшості методів немає моделі обліку таких змін.

Таким чином, даний метод пред'являє досить суворі вимоги до умов зйомки і потребує надійного механізму знаходження ключових точок для загального випадку. Крім того, потрібне застосування більш досконалих методів класифікації або побудови моделі змін. У загальному випадку цей метод не є найоптимальнішим, однак для деяких специфічних завдань все ж перспективний. До таких завдань можна віднести документний контроль, коли потрібно порівняти зображення обличчя, отриманого в поточний момент, з фотографією в документі. По отриманню зображення, створюються бінарні образи. З використання кольорової камери потрібно перетворити кольорове зображення в чорнобіле за формулою $y=0.3r+0.59g+0.11b$ [2]. Далі алгоритм досить простий: є деяка планка оцінки. Якщо колір відтінку сірого вище - він вважається білим, якщо нижче - вважається чорним. При обчисленні ряду морфометричних ознак, використовуються поняття механіки твердого тіла. Зокрема, це відноситься до довжин осей інерції об'єкта.

III. ЗАСТОСУВАННЯ ДВОХ КАМЕР

Проведено дослідження та вибрано як основний та доповнюваний геометричний метод. В якості пристроїв для отримання використовується дві камери, а саме веб камери для здешевлення системи. Розглянувши фізіологічні особливості обличчя людини, та анатомічну несиметричність, виявлено що права та ліва половина обличчя не є однаковими[3]. Беручи до уваги не рівність носа, віддаленість від осі розташування вух, неспівпадіння по горизонталі висоти брів, дає можливість збільшити точність отриманих еталонних шаблонів для подальшого використання в системі розпізнавання. Як видно на рисунку 2, зображено справжнє обличчя та поєднані дві правих та лівих частини, які відрізняються від оригіналу. Враховуючи можливість використання двох камери можна отримати одразу два зображення лівої та правої частини обличчя.



Рис. 2. Несиметричність лівої та правої частини обличчя

Запропоновано новий методи отримання еталонних зображень, який дозволить збільшити точність розпізнавання, завдяки порівнянню одразу двох зображень з різним набором характерних точок, збільшиться захищеність системи та прийняття рішення для надання доступу свого користувача до системи.

Висновки

Проведено аналіз запропонованого методу та можливість альтернативного використання уже відомих характерних ознак обличчя. Сформульовано принцип використання геометричного методу розпізнавання обличчя, з використання двох камер для отримання двох вхідних шаблонів для подальшого порівняння та погодження з оригіналом. Отримані результати досліджень будуть використані в подальшій роботі над дисертаційною роботою та будуть використані в основному алгоритмі роботи програми.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ю. Лифшиц, Методы распознавания лиц, 2005р., Электронный ресурс, Режим доступа: <http://yury.name/modern/08modernnote.pdf>
- [2] D.L Swets, Genetic algorithms for object recognition in a complex scene, 1995, Электронный ресурс, Режим доступа: http://www.researchgate.net/profile/Juyang_Weng/publication/224097742_Genetic_algorithms_for_object_recognition_in_a_complex_scene/links/02e7e521b5693a5a57000000.pdf. J
- [3] Н.С. Механик, 'Основы пластической анатомии, М.: Искусство, 1958

Розробка комунікаційної стратегії із застосуванням аналізу даних соціальних медіа

О.М. Степанова

кафедра менеджменту і адміністрування
Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля
Северодонецьк, Україна
stepelen@gmail.com

А.А. Волков

Інститут комунікацій
Вестфальський університет
імені Вільгельма
Мюнстер, Німеччина
a_volk07@uni-muenster.de

Communication strategy formulation based on the analysis of social media data

E. Stepanova

Department of Management and Administration
Volodymyr Dahl East Ukrainian
National University (SNU)
Severodoneck, Ukraine
stepelen@gmail.com

A. Volkov

The Department of Communication (IfK)
Westphalian Wilhelm University of Münster
Muenster, Germany
a_volk07@uni-muenster.de

Анотація— У статті відзначено, що Інтернет став важливою частиною сучасної комунікації і має бути інтегрований у процес розробки стратегії комунікації. Автори торкаються питань розширення інформаційної бази з метою отримання якісного аналізу середовища, цільових аудиторій та конкурентів, який надалі може бути використаний у процесі планування комунікації. Соціальні медіа, та зокрема, соціальна мережа Фейсбук, яка надає доступ до даних своїх користувачів за допомогою додатків програмного інтерфейсу (API), є одними з найцікавіших джерел інформації. Автори надають огляд низки методів збору даних у соціальних медіа та певних інструментів збору та обробки Інтернет-даних. У статті зауважено, що R (мові програмування) притаманні певні риси, завдяки яким вона стає особливо привабливим засобом у цій галузі. Автори наводять приклад використання R для типового аналізу Facebook -сторінок конкурентів.

Abstract— This article emphasizes the fact that the Internet has become an important part of today's communication and, as such, should be integrated in the process of communication strategy development. It addresses issues of expanding the information base in order to get a more thorough analysis of the environment, target audiences and competitors which could be later used in the process of communication planning. Social media and particularly the social network Facebook which provides access to the user data through the application programming interface (API) are among the most promising

sources of information. The Authors overview different methods of social media mining and special tools which could be used for retrieving and processing Internet-data. They argue that the R (programming language) has a number of features which make it particularly attractive for those purposes. The Authors give then an example of R being used for a typical first-step analysis of competitors' Facebook-pages.

Ключові слова— комунікаційна стратегія; Інтернет; соціальні мережі; аналіз даних; API methods; R.

Keywords— communication strategy; Internet; social networks; data analysis; method API; R.

I. INTRODUCTION

The rapid development of information and communication technologies, which resulted in the formation of the worldwide web, plays an increasingly important role in the modern society, enriching the existing business techniques and methods, forming new channels of communication between a customer and a company and opening new ways for public relations.

However, despite the popularity of the Internet and its role as the latest communications' environment, most of Ukrainian companies have lesser understanding and thus effectiveness in it if compared to those of the developed western countries.

In 2013 Ukrainian office of Google together with "the GfK Ukraine", presented the results of the study "Impact of the Internet on the economy of Ukraine" [1]. This study confirms that Internet tools are being used uncoordinated and unsystematic. The choice of instruments is rather being affected by modern trends, than by a careful analysis of needs and capabilities of the company. Furthermore, only a handful of companies realize the necessity and possible benefits of the complex communication strategy and its constant evaluation.

In many ways, poorly developed methodological framework leads to the fact that the majority of companies using online communication tools, has no clear strategy for their online presence and do not rationally adopt their budgets for online communications, marketing and advertising. This prevents exploitation of the Internet's full potential from establishing an effective interaction with an audience, reducing it to some rudimentary attribute [2].

Further improvement of methodical and practical aspects of the strategy's formation in the field Internet-communication is, therefore, a highly relevant field of studies.

Given the dynamics of the environment, continuous renewal, differentiation and increase in volume of the required data information aspect gains a particular importance and the improvement of methodological and applied aspects of the strategic directions development in the field of communications has a high relevance.

The purpose of this paper is to offer tools for the development of the information base needed for the formation of an effective communication strategy with the use of the Internet.

II. STRATEGIC APPROACH TO COMMUNICATION

The communication strategy is a result of the selection and formation of the organizations communication direction; a concept, a program, a general course of the managing subject focused on identifying and achieving main goals of the organization in the field of strategic management; communication policy that ensures achievement of the organizations long-term goals.

The communication strategy should be developed according to the actual needs of the market, taking into account the target audiences preferences and other factors. The main objective pursued in developing of a communication strategy is a management of the customer-brand relationship, formation of an effective and predictable consumer-brand communication, improvement of the brands image according to the customers' needs, current trends and market conditions.

In the process of developing a communication strategy necessary tasks are analyzed, communicative message and purpose are generated and basic elements, which could be most effective in mediating a message to an audience, are defined.

A strategic approach to communication is widely represented in the foreign studies [3-5]. These works present significantly different numbers of planning stages, their sequence and essence, but each of them, one way or another, highlights the necessity of researching target audiences,

competitors and a current situation. Addressing these issues involves the use of a wide range of information sources and an intensive analytical work.

Traditionally, the required data could be obtained from a variety sources: published reports, speeches of management representatives, business press, employees busy in a distribution system, customers and suppliers common to the company and its competitors, company's technical personal, information gathered from competitors' former managers and other employees, and so forth [5].

The rapid growth of the social networks users numbers on the Internet creates additional opportunities to expand the required information base, which will enable a whole new level of possibilities to ensure the formation of a company's communication strategies. Given these possibilities, let us consider the peculiarities of researching target audiences, competitors and current situation.

The first of the mentioned researches should be directed at the identification and the segmentation of a company's target audiences on the Internet, identification and classification of communication platforms with each target group, criteria development for the evaluation of the each type of platforms, determination of optimal communication formats, identification of opinion leaders, analysis of the interaction process with customers and partners via social media.

All tasks dealing with the integrated analysis of competitors' presence in social media should be reduced to the analysis of their marketing activities in social networks, methods and platforms they use, their announced plans and the overall analysis of their communicative activities. This is necessary for the development of original ideas and ways of promotion that haven't been used by competitors yet. Quantity and nature of critical points, meaning those mostly significant elements of the environment, vary from company to company. Analysis of competitor's communicative activity is limited by the following time frames. In a short-term period, it is usually possible to focus only on those elements that have a critical impact on current operations of a company. On the other hand, in the long-term period, opportunity arises to investigate the general nature of competitors' communications.

One of the important tasks in the communication strategy development is the evaluation of a company's existing resources and therefore its capacity to maintain some degree of Internet presence. This capacity should not be overrated as the higher variety of instruments a company chooses to use the higher amount of financial and human resources as well as time it should need. Therefore, such an assessment should be based on a sufficient analysis of a previous communication experience, state of the current information field and analysis of an audiences' image of a company and its products.

The sources for the necessary research in the Internet environment are: online media, industry and business platforms, thematic portals, search engines, comment sections on websites, blogosphere, social networks and forums.

III. SOCIAL MEDIA MINING

The data analysis of social networks is rapidly gaining popularity around the world. Various institutions and companies around the globe such as Carnegie Mellon University, Stanford, Oxford, INRIA, as well as Facebook, Google, Yahoo!, LinkedIn and many others are actively collecting and studying this data [6-9].

Social Networking Services (or social networks) are online services designed to organize and maintain network communications. In addition to personal information contained in users' profiles (age, location, interests, education, hobbies, and so on.) it is possible to retrieve the data about users' visits to the pages of other users, their participation in the formation of networks and groups with the same interests, and so on. Furthermore, social networks, forums, news and entertainment portals and blogs contain many valuable materials which can be used to obtain information about preferences and characteristics of different people and companies.

Experts from research centers and companies around the world use social media data for the modeling of social, economic, political and other processes from the individual and up to the governmental level in order to develop mechanisms which could help to influence these processes.

However, processing of social networks data also requires the development of an appropriate infrastructure and algorithmic solutions that would take into account their dimension. Collecting and presenting data from social networks in a convenient form is still a non-trivial task.

It is of course possible to collect and process that data by simply using search engines and manually adding it to data tables. Unfortunately, that would be the least efficient method of all and by the time a sufficient amount of data could be gathered it might already become out-of-date, thus losing its relevance.

Another more effective way to collect and process data is to use a variety of existing systems for monitoring social media, such as the Youscan, IQbuzz, Kribrum, Wobot and Brandspotter, which differ in their focus on specific tasks. Studying functionality of such systems leads to the conclusion that none of the tools is able to give a full picture for completing specific tasks, mentioned above.

Apart from that, data presented by those programs is often not directly compatible with the formats required for analytical programs that are used in a further analysis. Therefore, a programming environment is needed to convert the raw data into some usable data frame. At present, the most popular languages suited for such tasks are Python, Perl, and Java. In addition, there are some programs specifically designed for this purpose which are already available to researchers.

Companies that own online social networking services (e.g. Facebook, Twitter) actively invest in the development of improved infrastructural (Cassandra, Presto, FlockDB, Thrift) and algorithmic (new algorithms for searching and recommending users, products and services) solutions for handling large volumes of user data. Therefore, the third way to obtain information from a social network is to use its

software interface or API (Application Programming Interface), provided by almost all of the popular social networks.

Based on the API methods, developers can create applications that are compatible in the context of different social networks for which the APIs differ in sets of available data, restrictions on the number of requests and the cost of access to the interfaces [10,11].

The advantages of this method are the possibility of obtaining information about one client in a structured format (JSON or XML) and the ease of integrating API protocols into your own application.

IV. ANALYZING FACEBOOK WITH R

The social network "Facebook" is among the most popular platforms for extensive studies. The Facebook API can be easily used to create applications which then become available for other users of the social network. Facebook API allows applications to utilize connections and individual information of a user to make it more involving, and to publish activities to the news feed and profile pages of Facebook, subject to individual users' privacy settings. With the API, users can add social context to their applications by utilizing profile, friend, Page, group, photo, and event data [10,11]. Facebook API uses RESTful protocol and responses in JSON format.

In addition to that, API allows an adjustment of the data flow not only to the external applications but also in the opposite direction.

As a tool for framing and analytical processing of data obtained through API could be conveniently used R. It is a programming language for statistical data processing and its graphical representation and which has a rapidly growing community that now includes more than two million users.

Compared to other software, R allows experts to analyze data quicker and using more advanced techniques, which explains the rapid growth in popularity of R in the various sectors of the economy [12].

Along with simple methods of statistical analysis, such as frequency analysis, calculation of statistical characteristics, contingency tables, correlation and graphing, this module includes a t-tests and a large number of other non-parametric tests as well as more sophisticated techniques like regression analysis, discriminant analysis, factor analysis, cluster analysis, analysis of variance, analysis of suitability (reliability analysis) and multidimensional scaling analysis of multidimensional tables, spatial analysis, creation of cartograms and more.

Among the technical advantages of the system are:

- Distribution of the program under the GNU Public License;
- Source code and binary modules available through the extensive network of repositories CRAN (The Comprehensive R Archive Network);
- Installation packages for Microsoft Windows (works on both 32-bit and 64-bit versions), Mac OS X, UNIX-,

Linux-, FreeBSD-based operation systems and OS Solaris;

- Statistical procedures programming language R has virtually became a standard. For example, it is now fully supported in the new IBM SPSS Statistics Developer system;
- Ability to exchange data with spreadsheets;
- Ability to save the entire history of computing for documentation purposes;
- Excellent imaging capabilities.

A typical problem is that most companies choose to perform only a partial analysis which allows to get just an intuitive understanding of the current competitors' communication strategies along with their advantages and weaknesses. Therefore, to illustrate the instruments proposed above, a typical task faced by companies in the process of developing a communication strategy should be presented: comparison of competitors' Facebook-page popularity growth.

V. EXAMPLE

In the early 90s Skateboarding and BMX industries got into marketing competition with comparatively younger and weaker aggressive inline manufacturers. That, together with the identity crisis inside aggressive inline community itself marginalized the sport, effectively denying them previous public attention, together with the access to the best known worldwide extreme sports events[16].

Consequently, Skateboarding and BMX became a mainstream, thus losing their unique identities in the past two decades. This potentially opens an opportunity for the aggressive inline industry to communicate its new image to the focus groups, winning back its reputation. The development of the internet and adaptation of social networks to the needs of corporate communication could help in exploring this opportunity.

In the following example, the media activity on the official Facebook profiles of the companies involved in the aggressive inline industry will be to be analyzed and compared to those of the BMX and Skateboard manufacturers to see how their popularity progresses.

Popularity of the Facebook-pages will be compared by the number of Page-followers, number of posts and likes those posts get. Though, only the number of likes could be exactly traced over time.

“Rfacebook” package of “R” (programming language) provides an interface to the Facebook API and its function “getPage” can automatically retrieve and frame information from public Facebook pages[14].

The retrieved data will be plotted using the “ggplot2” package for R, which can graphically present the smoothed conditional mean for the plotted data with a function “geom_smooth”. This function could be used to compare how the number of likes for posts on the Facebook-pages progresses over time [13, 15].

The smoothed conditional mean graphic of likes per post over time for all the companies combined, shown on the Fig. 1, indicates that all of the chosen Skateboard manufacturers have dominantly a higher popularity than that of BMX and Rollerblading manufacturers.

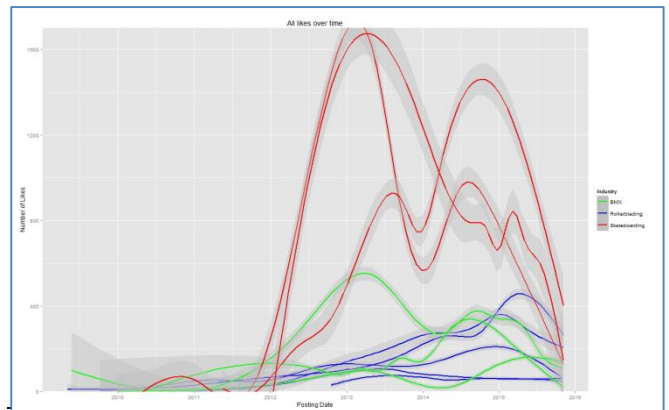


Fig. 1. Likes per post over time

But only one BMX manufacturer (“Wethepeople”) has a mostly higher popularity than that of Rollerblading. Popularity of the two other BMX companies lies in the similar limits as that of rollerblading [16].

The progression of the skateboard manufacturers' popularity shows a rather strong fluctuation with a roughly similar pattern and has a resemblance with that of “Wethepeople” (BMX manufacturer). All these companies show extensive growth in popularity in the period between 2012 and 2013 with a strong fall between 2013 and 2014. Others show either a slow progression between 2012 and 2014 or a similar, however, much smoother pattern, which becomes more noticeable between 2014 and 2016. Thus, almost all companies' Facebook-pages could represent the same pattern of the popularity rate in 2014 – 2015.

The comparison of the number of post, shown on the Fig. 2, indicates that 4 out of 5 rollerblades manufacturers place last with the range of almost 500 to almost 1400 post. On the other hand, the 5th rollerblades' manufacturer “Razors” is on the 3rd place with almost 4000 posts.

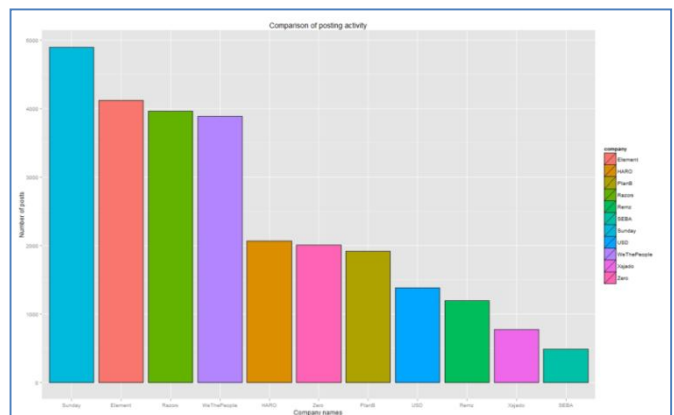


Fig. 2. Comparison of posting activity

This basic study could be used by any company active in one of these three extreme sports' brunches. As an example three of the following rollerblades' manufacturers could be compared: SEBA, Razors and USD.

SEBA is a relative newcomer both to Facebook as a communication platform and to the industry itself is at the bottom of all the represented graphics. Being rather unpopular, SEBA has the second smallest number of followers (as shown on the Fig. 3) and the smallest number of posts.

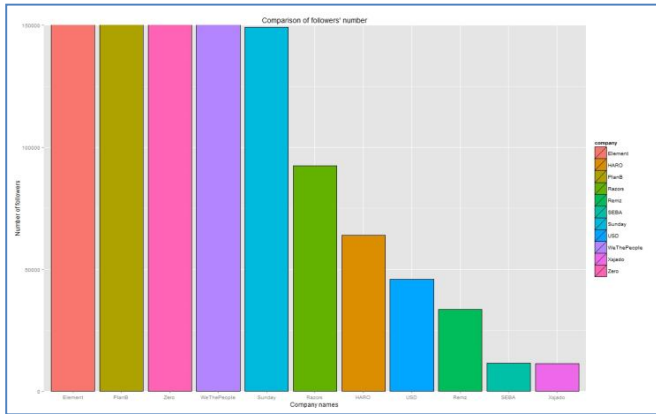


Fig. 3. Comparison of followers' number

Razors, which on the other hand is almost 8 times more active and have roughly 7 times more followers has a practically identical popularity. Whereas USD, being roughly in the middle by its activity and the number of followers, is the leader among rollerblade manufacturers and shows a successful, constant growth of popularity.

Without a corresponding analysis the nature of correlation between popularity/followers/activity is uncertain. However, it could be considered enough for practical use as in this case. It is thus possible to speculate that Razors has troubles generating content of their numerous posts and does not reach its audience. The presented graphics could be then used to determine which of the company's competitors' Facebook-pages are suitable for a deeper content-analysis, which in turn could provide practical advice for the posting tactics.

CONCLUSIONS

The Internet should be used for the expansion of the information base in the communication strategy formulation. In this paper, we propose a method of using the Internet to expand the range of information sources for analytical work.

Deep web analytics should be the basis of any communication strategy in the Internet. This means using not only such tools as basic metrics of Google Analytics or reports of the Yandex.Metrika Webvisor, but foremost, such advanced tools for automatic data mining and processing as custom-designed R-applications adopted to specifics needs of a company.

This paper overviews capabilities given by modern online social networks' APIs. It provides an example of an R-developed application purposed for a typical task of a first-step data mining and analysis using Facebook API as an access point to the Facebook-pages of the several competitive companies.

PR-managers and marketing strategists can use the ideas presented in this paper to formulate more effective Internet-based communication strategies.

REFERENCES

- [1] Евгений Куликов. (2013, November 21). Интернет и экономика, Компьютерное Обозрение [Online]. Available: http://ko.com.ua/internet_i_ekonomika_102575.
- [2] Gregory G., M. Karavdic and Sh. Zou, "The Effects of E-Commerce Drivers on Export Marketing Strategy," *Journal of International Marketing*, Vol. 15, No. 2, pp. 30-57, Jan. 2007.
- [3] S. Summerfield and S. Benninghoven. (2009, September). "Managing More Effectively With a Strategic Communications Plan" [Online]. Available: <http://www.westerncity.com/Western-City/September-2009/Managing-More-Effectively-With-a-Strategic-Communications-Plan/>
- [4] M. Porter. "Competitive Strategy. Techniques or Analyzing Industries and Competitors," New York: Free Press, 2004.
- [5] M. Porter, "Strategy and the Internet," *Harvard Business Review* 79, no. 3, pp. 62-78. March 2001.
- [6] M. Najork and J. Wiener, "Breadth-first crawling yields high-quality pages," in *Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web*, New York, USA, ACM, 2001, pp. 114-118.
- [7] J. Leskovec and C. Faloutsos, "Sampling from large graphs," in *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, New York, USA, ACM, 2006, pp. 631-636.
- [8] H. LeHong and J. Fenn. (2012, September 18). Key Trends to Watch in Gartner 2012 Emerging Technologies Hype Cycle. [Online]. Available: <http://www.forbes.com/sites/gartnergroup/2012/09/18/key-trends-to-watch-in-gartner-2012-emerging-technologies-hype-cycle-2/>
- [9] M. Häsel, "Opensocial: an enabler for social applications on the web," *Communications of the ACM*, vol. 54 issue 1., pp. 139-144, Jan. 2011.
- [10] N. Ellison, C. Steinfield and C. Lampe, "The benefits of Facebook "friends:" Social capital and college students' use of online social network sites", *Journal of Computer Mediated Communication*, Vol. 12, Issue 4, C. 1143-1168., Jul. 2007.
- [11] R. Ackland, "Using Facebook as a data source and platform for e-researching social networks," in *refereed paper presented at the Fourth International Conference on e-Social Science*, University of Manchester, pp.18-20, June 2008.
- [12] D. Smith, "How Companies Use R to Compete in a Data,"(2014, June 24), *Data Informed Big Data and Analytics in the Enterprise*, [Online]. Available: <http://data-informed.com/companies-use-r-compete-data-driven-world/>
- [13] W. Chang, "R Graphics Cookbook," Sebastopol: O'Reilly Media Inc, 2012.
- [14] P. Barbera and M. Piccirilli. (2015, August 7). Package 'Rfacebook'. Retrieved from Rfacebook: Access to Facebook API via R [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/Rfacebook/Rfacebook.pdf>
- [15] M. Pedro. (2015, March 4). Part 3a: Plotting with ggplot2. Retrieved from R-Bloggers [Online]. Available: <http://www.r-bloggers.com/part-3a-plotting-with-ggplot2/>
- [16] D.Urquhart, (Director). (2006). Barely Dead [Motion Picture]. Available: http://everything.explained.today/Barely_Dead/

Практика використання теорії масового обслуговування в курсі предмету «Архітектура обчислювальних систем»

Петришин Л.Б.
Кафедра операційних досліджень
та інформаційних технологій
AGH науково технологічний університет
Краків, Польща
L.B.Petryshyn@gmail.com

Вашкелевич В.
Кафедра операційних досліджень
та інформаційних технологій
AGH науково технологічний університет
Краків, Польща
waszkiel@zarz.agh.edu.pl

The Practice of Applying the Queuing Theory in the Course «Architecture of Computing Systems»

Petryshyn L.B.
Department of Operation Research
and Information Technology
AGH University of Science and Technology
Cracov, Poland
L.B.Petryshyn@gmail.com

Waszkielewicz W.
Department of Operation Research
and Information Technology
AGH University of Science and Technology
Cracov, Poland
waszkiel@zarz.agh.edu.pl

Анотація—Наведено результати розробки практичного курсу з предмету «Архітектура обчислювальних систем» із застосуванням математичного апарату теорії масового обслуговування

Abstract— The results of developing the practical course "Architecture of computing Systems" with the applying the mathematical tools of queuing theory are presented

Ключові слова—*архітектура обчислювальних систем; теорія масового обслуговування; моделювання; проектування*

Keywords— *Architecture of Computing Systems; Queuing Theory; modelling; design*

I. ВСТУП

Згідно впроваджених робочих програм кафедрою інформатики Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника в Івано-Франківську і кафедрою операційних досліджень та інформаційних технологій Науково-технологічного університету AGH в Кракові, які співпрацюють в рамках міжнародних міжуніверситетських та міжфакультетських угод при підготовці фахівців з напрямку інформатика здійснюється викладання предмету «Архітектура обчислювальних систем». Навчальні плани

передбачають виконання студентами проектних завдань. Результати аналізу сучасних методів аналізу та проектування багатопроцесорних обчислювальних систем та розподілених інформаційних мереж, отримані авторами, дозволили обґрунтувати застосування імовірнісного методів визначення основних параметрів та проектування архітектур багатопроцесорних обчислювальних систем на базі теорії масового обслуговування.

II. ТЕХНІКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЦЕСУ

Студенти мають можливість користування електронними ресурсами навчально-методичного забезпечення в середовищах електронних бібліотек та платформ дистанційного навчання за авторизованим доступом. Позитивним чинником обраного методу моделювання є можливість застосування широкого складу програмного забезпечення, що не вимагає ліцензування. Процес моделювання здійснюється у віртуальному середовищі, що не вимагає звітності на паперових носіях, полегшує роботу викладацького складу по поточному та звітному контролю і дозволяє здійснювати довготермінове архівування та контроль плагіату при виконанні проектів студентами наступних курсів. Впровадження такої методики задовільно вписується у вимоги дистанційної

освіти то уможлиблює віддалений розосереджений контроль активності студентів.

Структура курсу декомпонована на кілька основних розділів, кожен із яких є окремою структурною складовою, записаною як окремих файл із захистом від внесення змін та авторизацією доступу до вмісту. Використання такого методу організації предмету зумовлена практичним досвідом, який підтверджує достатню живучість та автономність у процесі роботи.

Підставою застосування запропонованої методики є цикл предметів з апаратного забезпечення обчислювальних систем, а також цикл математичних предметів, основним із яких є теорія імовірності. Оскільки теорія масового обслуговування як окремих предмет не включена в навчальні плани, визначено за необхідне детально пояснити основні теоретичні та методичні положення здійснення обчислень по кожному із розділів проекту. Методика моделювання передбачає складні математичні викладки, формули із багатьма змінними, що зумовило необхідність формування розділу «Основні позначення і скорочення», користування яким в ході навчання значно полегшує засвоєння матеріалу. Для оперативного знаходження необхідних відомостей створено розділ «Алфавітний вказівник» основних понять та визначень у тексті по змістових розділах. Кожен із змістових розділів (підрозділів) вміщує контрольні запитання для самоперевірки. В загальному методичне забезпечення методики моделювання та проектування має наступну структуру.

III. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

У вступі проаналізовано проблеми, що існують при розробці обчислювальних систем та основні відомі методи їх вирішення. Обґрунтовано доцільність використання імовірнісного апарату моделювання та на його базі теорії масового обслуговування. Викладено основні методи моделювання багатопроцесорних обчислювальних систем та розосереджених комп'ютерних мереж.

В першому розділі проаналізовано основні поняття багатопроцесорних обчислювальних систем та основи моделювання за допомогою апарату теорії масового обслуговування. Визначено такі параметри, як вхідний потік і частота поступлення задач, імовірнісні характеристики регулярного, випадкового та стаціонарного потоків, а також властивість наявності та відсутності післядії. Визначено природу і параметри часу та механізму обслуговування в багатоканальних і багатозаповнених системах масового обслуговування. Проаналізовано чинники формування дисципліни черги.

В другому розділі здійснено аналіз структур і критеріїв ефективного функціонування одно- та багатопроцесорних обчислювальних систем з очікуванням, з обмеженою чергою, із втратами, з пріоритетним обслуговуванням та із ненадійними пристроями обробки. Визначено показники якості обслуговування багатопроцесорних систем, а також

функції розподілу часу очікування задачі, середнього часу очікування, інтервалу зайнятості та довжини черги.

В третьому розділі викладено основні аналітичні залежності характеристичних критеріїв процесів обслуговування в багатопроцесорних системах з очікуванням, із обмеженням та без обмеження вхідного потоку задач, із обмеженням черги очікування початку обслуговування та в системах з відмовами, в системах з відмовами при використанні ненадійних процесорів і в системах з необмеженою кількістю процесорів.

В четвертому розділі наведено методику оптимізації поширених на практиці багатопроцесорних обчислювальних систем із відмовами. Визначено основні положення оптимізації процесів обслуговування, на підставі яких розроблена методика визначення оптимальних значень таких критеріїв ефективності, як оптимального числа процесорів обчислювальної системи, оптимального середнього часу обслуговування і оптимальної інтенсивності вхідного потоку. Запропонована методика покращення організації обслуговування лягла в основу завдання №1 «Розробка багатопроцесорної обчислювальної системи з відмовами», вказівки до виконання якого наведені в кінці розділу. Завдання складається із чотирьох частин, до кожної із яких сформульована постановка задачі та хід рішення із основними формулами та детальним поясненням проведення обчислень. Вихідні дані кожен із студентів отримує індивідуально.

В п'ятому розділі проаналізовано питання оптимізації багатопроцесорних обчислювальних систем з очікуванням. Наведено основні теоретичні викладки та методика оптимізації обслуговування в системах з очікуванням, на підставі яких запропонована розробка виконання завдання № 2 «Розробка багатопроцесорної обчислювальної системи з очікуваннями», що складається із чотирьох частин.

В шостому розділі наведено теоретичні основи і методику оптимізації розподілу різнотипних груп задач та засобів обробки з метою збільшення кількості обслужених задач вхідного потоку. Обґрунтовано вибір вирішення завдання на основі симплекс-методу та правила проведення обчислень за симплекс-таблицями. Наведений приклад оптимізації розподілу задач вхідного потоку та складу процесорів обчислювальної системи. В кінці розділу включено завдання № 3 за темою «Оптимізація розподілу інформаційних потоків в спеціалізованих багатопроцесорних обчислювальних системах» що складається із двох частин.

Таким чином, вирішення завдання постановки практичного курсу дисципліни «Архітектура обчислювальних систем» полягало на аналізі актуальних методів моделювання та проектування багатопроцесорних обчислювальних систем та розосереджених комп'ютерних мереж, результати якого дозволили обґрунтувати застосування та розробити методичний комплекс на базі теорії масового обслуговування.

Соціальні інтернет-сервіси як інструмент масової комунікації

К.В. Молодецька

кафедра комп'ютерних технологій і моделювання систем
Житомирський національний агроекологічний університет
Житомир, Україна
kmolodetska@gmail.com

Social networking services as a tool of mass communication

K. Molodetska

Department of IT and Simulation
Zhytomyr National Agro-Ecological University
Zhytomyr, Ukraine
kmolodetska@gmail.com

Анотація—Сучасний ринок соціальних інтернет-сервісів представлений великою кількістю інструментів для організації взаємодії акторів і доступу до контенту. Окрім позитивних комунікаційних властивостей СІС є джерелом загроз інформаційній безпеці (ІБ) держави, що пов'язано з поширенням деструктивних інформаційних посилів для маніпулювання суспільною свідомістю. Тому виникає нагальна потреба управління процесами взаємодії акторів у віртуальних спільнотах. Розробка ефективних методів синтезу таких управляючих дій ускладнюється відсутністю регуляції інформаційного простору СІС на державному рівні і одночасним використанням акторами декількох СІС. Запропоновано підхід до класифікації сучасних СІС з використанням ознакового принципу та ієрархічного підходу. Використання розробленої класифікації забезпечить уніфікацію процедур синтезу управляючих дій для переходу віртуальної спільноти до бажаного стану ІБ. Запропонована класифікація буде покладена в основу функціонування системи забезпечення ІБ держави у СІС.

Abstract—The modern social networking service (SNS) industry has many ways to organize its actors' interactions and grant access to the content. Though having positive communication features SNS are a source of potential threats to national security since their destructive outreaches can change public attitudes. This presents a challenge to controlling SNS actors' interactions. Actors using several social networks as well as authorities neglecting regulations for SNS activities make it harder to synthesize efficient controlling techniques. The article suggests a mechanism for classifying modern SNS by their

features and in a hierarchical fashion. This mechanism could unify the control synthesizing procedures for the virtual unity's transition to the desired state of cybersecurity. The classification suggested for SNS is recommended as the basis for the National cybersecurity system.

Ключові слова—соціальні інтернет-сервіси; ієрархічна класифікація; актори; інформаційна безпека

Keywords— social networking services, hierarchical fashion, actors, national cybersecurity.

I. ВСТУП

В сучасних умовах соціальні інтернет-сервіси (СІС) набули популярності як ефективний інструмент комунікації. В результаті учасники віртуальних спільнот – актори, використовують СІС не тільки для спілкування, але і для самоорганізації [1-2]. Утворення об'єднаних громадян у СІС, які в процесі своєї діяльності змінюють суспільство, можливе завдяки продукуванню і обміну контенту, що є складовою національного інформаційного простору. Однак, такий контент може носити недостовірний, неповний або упереджений характер і створювати передумови для маніпулювання індивідуальною чи суспільною свідомістю.

Відомо, що СІС відігравали ключову роль в процесах організації акторів для оперативної взаємодії і управління під час «Кольорових революцій», «Арабської весни», «гібридної війни» на сході України та інших протестних

акціях [2]. Тому процеси взаємодії акторів у СІС потребують управляючих впливів через існуючі канали соціальної комунікації для забезпечення ІБ людини, суспільства, держави.

Розробка ефективних методів синтезу управляючих впливів на поведінку акторів у СІС [2] ускладнюється відсутністю регуляції інформаційної взаємодії на державному рівні. В свою чергу, актори для комунікації використовують не один СІС, а одразу декілька із застосуванням засобів інтеграції поширення контенту з одного СІС в інший. В результаті у СІС утворюються складні організаційні структури взаємодії. Тому класифікація СІС є необхідною умовою для встановлення їх особливостей і подальшої уніфікації та формалізації підходів для вироблення управляючих впливів на віртуальні спільноти для їх переходу до бажаного стану ІБ.

II. ХАРАКТЕРИСТИКА СОЦІАЛЬНИХ ІНТЕРНЕТ-СЕРВІСІВ

Сучасні СІС представляють собою платформу або веб-сайти, які призначені для створення соціальних мереж або соціальних взаємозв'язків між людьми, які, наприклад, мають спільні інтереси, діяльність або утворюють реальні чи віртуальні об'єднання [3-5]. Зазвичай СІС містять інформацію про кожного актора, яка називається профілем, його соціальні зв'язки, а також ряд додаткових послуг. Більшість СІС мають веб-інтерфейс і надають засоби для взаємодії акторів через Інтернет.

Враховуючи останні дослідження [2, 5] і особливості їх застосування в різних сферах суспільної діяльності, сформулюємо такі дефініції категорій: *актор СІС* – це користувач, який має профіль, створений засобами СІС; *соціальний інтернет-сервіс* – це сервіс у мережі Інтернет для створення профілів акторів, встановлення ними взаємозв'язків з іншими акторами і віртуальними спільнотами та забезпечення інструментами комунікації, створення й поширення контенту різного типу. Використаємо спільні принципи, покладені в основу їх функціонування, для розробки узагальненої класифікації СІС із застосуванням ознакового принципу на основі ієрархічного підходу

III. КЛАСИФІКАЦІЯ СОЦІАЛЬНИХ ІНТЕРНЕТ-СЕРВІСІВ

Виділяють такі способи доступу акторів до СІС: через веб-браузер – доступ до сервісу реалізовано на основі веб-інтерфейсу; з використанням додатку – передбачає розробку спеціального додатку для роботи з СІС під управлінням операційної системи кінцевого пристрою користувача.

За доступністю СІС поділяють на: відкриті, які доступні для реєстрації всім користувачам; закриті – безпечні платформи, які використовуються обмеженим колом акторів, що відповідають заданим вимогам віртуальної спільноти.

Залежно від функціонального призначення розрізняють такі СІС: 1. Соціальні пошукові системи (*social search*) – це сервіси, які дозволяють акторам самостійно визначати

пріоритетні напрямки пошуку контенту, задавати ключові слова, обирати джерела контенту і форму подання результатів. 2. Соціальні закладки (*social bookmark*) – централізована онлайн-служба, яка дозволяє акторам додавати, анотувати, редагувати і обмінюватися закладками, використовуючи теги. 3. ВікіВікі (*Wiki*) – інтернет-сервіс, побудований на основі технології створення колекції зв'язаних між собою записів, які можуть створювати і редагувати усі актори. 4. Блоги (*blog*) використовуються для публікації дискретних повідомлень і їх обговорення. 5. Соціальні медіа-сховища (*social media hubs*) призначені для зберігання, класифікації і обміну цифровими фотографіями, аудіо- та відеозаписами, текстовими файлами, презентаціями й обговорення цих ресурсів. 6. Карти знань (*mind map*) – це СІС для представлення задач, тезисів, ідей, об'єднаних єдиною концепцією у вигляді діаграм і графіків. Часто використовуються для візуалізації середовища взаємодії акторів. 7. Соціальна мережа (*social network*) – це СІС, який ґрунтується на соціальній структурі, складається з множини соціальних суб'єктів (акторів чи організацій), набору діадних зв'язків та інших соціальних взаємодій між ними. Контент соціальної мережі формується безпосередньо акторами, з можливістю вказати дані про себе для подальшого створення контактів з іншими суб'єктами. 8. Соціальні геосервіси (*social map*) – СІС, які забезпечують акторів засобами ідентифікації, коментування, доповнення фотографіями об'єктів на карті. 9. Мешап (*mesh up*) об'єднує функції декількох СІС і забезпечує інтеграцію їх контенту, в результаті чого утворюється новий унікальний сервіс. Таким чином, вони виступають ефективним інструментом не тільки комунікації акторів, але і в процесах самоорганізації громадянського суспільства.

ВИСНОВКИ

Сучасні СІС представлені широким класом засобів для задоволення потреб акторів у комунікації, контенті, самовираженні, соціалізації тощо. Запропонована класифікація сучасних СІС дозволяє встановити особливості їх функціонування і процесів взаємодії акторів для організації ефективної системи забезпечення ІБ держави.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] О. С. Онищенко, В. М. Горючий, В. І. Попик, Соціальні мережі як інструмент взаємовпливу влади та громадянського суспільства, К., 2013.
- [2] Р. В. Гришук and К. В. Молодецька, "Концепція синергетичного управління процесами взаємодії агентів у соціальних інтернет-сервісах," *Безпека інформації*, vol. 21, no. II, pp. 123–130, 2015.
- [3] M. G. Noll and C. Meinel, "Web search Personalization via social Bookmarking and tagging," in *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Science + Business Media, 2007, pp. 367–380.
- [4] D. Boyd and N. Ellison, "Social network sites: Definition, history, and scholarship," *IEEE Engineering Management Review*, vol. 38, no. 3, pp. 16–31, 2010.
- [5] T. Aichner and F. Jacob, "Measuring the Degree of Corporate Social Media Use," *International Journal of Market Research*, vol. 57, no. 2, pp. 257–275, 2015.

Застосування інтелімедійних інформаційних технологій в навчальному процесі

В.Д. Мельник

кафедра документознавства
та інформаційної діяльності,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
adviser.it2@gmail.com

Ю.Л. Романишин

кафедра документознавства
та інформаційної діяльності,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
yulrom@bigmir.net

В.І. Шекета

кафедра програмного забезпечення
автоматизованих систем
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
sheketa@mail.ru

О.Б. Гургула

кафедра іноземних мов
Прикарпатський національний університет
Імені Василя Стефаника, Україна
orest_if@inbox.ru

The implementation of intellimedia systems in education

V. Melnyk

Department of Records Management
and Information Activity
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ukraine
adviser.it2@gmail.com

Y. Romanyshyn

Department of Records Management
and Information Activity
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ukraine
yylrom@bigmir.net

V. Sheketa

Department of Software Development
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ukraine
vasylsheketa@gmail.com

O. Hurhula

Department of Foreign Languages
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University, Ukraine
orest_if@inbox.ru

Анотація — У дослідженні аналізується процес створення прототипу інтелімедійної інформаційної системи, виділено проблему практичної імплементації шляхом інтеграції технології інтелектуальних систем та технології мультимедійних систем і даних, що досліджуються в процесі виведення множин релевантних, порушених та задоволених обмежень предметної області.

Abstract — In the proposed research there was analyzed the process of creation of the prototype for intellimedia information system. There was singled out the problem of practical implementation through the way of integration for intelligible system technology and technology of multimedia systems and data's that were explored in the process of inference guide lining

with the set of relevant, violated and satisfied constraints of the subject domain.

Ключові слова — інтелімедійна інформаційна система; інтелектуальна система; мультимедія; підтримка прийняття рішень; експертна система; задоволення обмежень.

Keywords — intellimedia information system; intelligible system; multimedia; decision support; expert system; constraints satisfaction.

I. ВСТУП

При створенні прототипу інтелімедійної інформаційної системи (ІМІС) для процесу буріння [1-3] було розглянуто ряд аргументів, які також можна успішно застосувати для задачі створення експертної системи, яка оперує з мультимедійним контентом. Основна проблема на даному шляху полягає в досягненні ефективності процесу перенесення експертних знань та досвіду в комп'ютерну програму. Основна особливість полягає саме в тому, що такі знання та досвід опираються на мультимедійну основу. Загально відомо, що використання мультимедійних даних та технологій на даному етапі розвитку інформаційних технологій пов'язано з рядом обмежень, які суттєво впливають на кожен етап життєвого циклу розробки експертних систем. Тому в якості основної проблеми можна виділити проблему практичної імплементації шляхом інтеграції технології інтелектуальних систем та технології мультимедійних систем і даних, які, кожна в своєму класі є, в принципі, достатньо дослідженими, але в питаннях їх інтеграції, яка дозволить збереження саме інтелектуальних функцій, є ряд невирішених аспектів, яким, власне, і присвячене дане дослідження.

II. ВВЕДЕННЯ ІНТЕЛІМЕДІЙНОГО ПІДХОДУ

Важливим питанням в реалізації системи є вибір стратегії засвоєння знань на основі мультимедійних включень, що повинно передбачати наявність деякої базової множини знань предметної області та наявності розуміння механізму інференцій, що застосовуються інтелімедійною системою. Даний процес контролюється множиною накладених обмежень на кожен з виділених навчальних ситуацій та множини навчальних ситуацій в цілому. Якщо на кожному з рівнів накладена множина обмежень задовольняється, то система оцінює навчальну діяльність об'єкта навчання щодо вирішення навчальної ситуації як успішну (якщо всі обмеження задоволені), як частково успішну (якщо задоволено частину обмежень) і як не успішну (якщо кількість задоволених обмежень менша деякого визначеного числового значення для поточної навчальної ситуації). Система підтверджує результати навчальної діяльності об'єкта навчання з виділеної (поточної) навчальної ситуації шляхом виведення релевантної множини задоволених та порушених обмежень.

Функціонування системи при такому підході вимагає високого рівня адаптивності: 1) активація (виведення) коректуючого та уточнюючого мультимедійного контенту у випадку неточної відповіді або частково коректного рішення (що визначається рівнем задоволення відповідних конструкцій на основі обмежень); 2) активація відповідних мультимедійних файлів допомоги (растрових зображень, відеофайлів) та розділів контекстозалежної допомоги або відповідних розділів бази даних мультимедійного навчального контенту у випадку неправильної відповіді або некоректного рішення; 3) активація повідомлень про

підтвердження правильних відповідей або коректних рішень, виведення ідеальних та альтернативних рішень, верифікація профілю об'єкта навчання та його зони найближчого розвитку і подальше застосування відповідної стратегії мультимедійного навчання у випадку правильної відповіді або коректного рішення навчальної технологічної проблеми, що генерує ситуацію необхідної підтримки прийняття рішення. Інтелімедійні системи подібно до класичних систем даного класу використовують кілька видів контенту: неструктуризований контент у вигляді мультимедійної інформації довільної форми, слабоструктуризований контент, напівструктуризований контент і чіткоструктуризований контент. Тобто, основна відмінність полягатиме в тому, що наповнення навчального матеріалу може ранжуватися від множини мультимедійних даних до множини чистих знань. Проте, якість засвоєння навчального матеріалу залежатиме від рівня знань, вмінь та навичок об'єкта навчання (студента, оператора технологічного процесу). Основна особливість пропонованого класу систем полягає в наданні суб'єкту навчання можливості видобувати знання на основі мультимедійного навчального матеріалу, а також видобувати дані на основі стандартних процедур. Під час роботи з системою засобами її мультимедійного інтерфейсу об'єкти навчання інтерпретують контентні мультимедійні дані, контентні знання та контентні мета знання, отримуючи відповідне представлення у формі предметних знань, в нашому випадку про процес буріння свердловин, а саме про бурове обладнання, технологічні операції, цілі та режими буріння.

В пропонованій інтелімедійній системі на основі обмежень модель об'єкта навчання включає в собі множини релевантних, порушених та задоволених обмежень. В інтелектуальних навчальних системах крім множини системних параметрів контролю ступеня засвоєння контенту навчального матеріалу використовується також множина правил які дозволяють програмувати та контролювати роботу об'єкта навчання в навчальному середовищі системи. Тобто, на основі множини правил визначатиметься вибір та імплементація навчальних стратегій, генерація та контроль зворотного зв'язку системи з об'єктом навчання. В пропонованій інтелімедійній системі на основі підходу представлення та задоволення обмежень множина правил заміняється множиною обмежень, що забезпечують виконання завдання описаних вище, а також дозволяють підтримувати інтелектуальність системи.

Спосіб передачі знань визначається на основі підходу представлення та задоволення обмежень, тобто фрагмент знань, який представляє правильне рішення проблеми описується відповідною множиною задоволених обмежень, які є ранжованими згідно значень вагових коефіцієнтів. Тому основна характеристика коректних знань в ІМІС полягає в їх описі на основі обмежень, що якісно відрізняє ІМІС на фоні інших автоматизованих навчальних систем.

Наповнення навчального контенту можна представляти у вигляді компактних включень, які називаються кейс-наборами, які являють собою поєднання тестового, графічного, аудіо, відео та мультимедійного контенту навчального матеріалу, що може бути самостійно опрацьований об'єктом навчання. У випадку ІМІС рівень знань об'єктом навчання визначається областю найближчого розвитку, кількість завдань в тесті співвідноситься до загальної кількості обмежень, що описують даний тест. Дане значення одержується як сумарне значення обмежень присвоєних кожному тестовому завданню, що представляється у вигляді послідовності навчальних проблем. Множина обмежень, що стосується певної навчальної проблеми називається множиною релевантних обмежень. В процесі виконання тесту об'єкт навчання намагається вирішити послідовність навчальних проблем визначених стратегією навчання. В результаті в кожній множині релевантних обмежень система виділить підмножини задоволених обмежень і порушених обмежень.

Також аналізуються особливості підходу представлення та задоволення обмежень, які полягають в можливості опису неточних, нечітких, ймовірнісних, можливісних значень, а також значень з ваговими коефіцієнтами. Проте, в загальному випадку твердження та судження представлені людиною-експертом не можливо описати тільки на основі жорстких обмежень. Тому використовуються також м'які обмеження. Самі пошукові проблеми в залежності від кількості та якості обмежень поділяються на надобмежені, для яких не існує рішень, щоб задовольняли всі накладені обмеження і недообмежені, для яких існує ряд непорядкованих рішень. Багато пошукових проблем дозволяють виконувати пошук найкращого (оптимального) розв'язку на основі наперед заданих критеріїв оптимізації. Як показує досвід, невизначеність закладена в формулюванні пошукової проблеми буде переноситись в знайдені розв'язки. Тому особливо ефективним видом пошукових задач на основі обмежень є ті, що дозволяють використовувати систему переваг в декларативних описах та алгоритмах рішень, що утворює окремий клас пошукових задач з перевагами.

В запропонованому дослідженні виконано побудову ІМІС, що забезпечує підтримку рішення технологічних проблем, основним елементом якої є виділення помилок. Основна ідея підходу полягає в тому, що об'єкт підтримки прийняття рішень (ППР) допускає помилки при виконанні технологічних задач, рішення технологічних проблем. Як показує досвід помилки виникатимуть навіть тоді коли в попередніх сеансах вивчалися правильні (коректні) способи дій та рішень. Відповідно до цієї теорії, джерелом виникнення помилок, є те, що об'єкт ППР допускає помилки, оскільки засвоєнні ним знання є декларативні, а практичне рішення технологічних задач і проблем вимагає процедурних (алгоритмічних) знань.

Крім цього, виконується дослідження процесу абдукції з

метою обчислення певних пояснень для наявних спостережень, що є прикладом немонотонних міркувань, оскільки пояснення, що відповідає одному стану бази знань, може ставати суперечливим при поступленні деякої нової інформації. Абдуктивні міркування характеризуються існуванням множинних пояснень і вибір переважної пояснення є важливою складовою даної проблеми. Базовим елементом при формуванні експертної навчальної системи слід вважати специфіку представлення експертних даних в контексті аналізованого мультимедійного представлення на базі спеціалізованого програмного та апаратного рішення. Саме проєктоване мультимедійне представлення потребує детального структурного аналізу. Це досягається шляхом застосування інтелектуальних включень на основі метатегів у мультимедійний інтерфейс програмованого рішення. Невід'ємним елементом є інтеграція з іншими програмними реалізаціями (наприклад, експертною системою) не обмежуючи особливості поєднання з іншими експертними системами, що не впливають на складність інтерфейсу. Особливістю якісного мультимедійного представлення слід вважати, в першу чергу, мультимедійні дані, що ґрунтуються на експертних знаннях, та необхідність проєктованого технічного забезпечення для ефективної інтеграції інтелектуальних даних у навчальну експертну систему. Також, особливістю мультимедійного представлення є важливість інтеграції анімаційних елементів та графічних представлень у конкретний навчальний процес.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано та запропоновано *стратегію засвоєння знань* на основі мультимедійних включень, що передбачає наявність базової множини знань предметної області та наявності розуміння механізму інференцій, що застосовуються інтелектуальною системою. Зазначений процес підконтрольний множині накладених обмежень на кожну з виділених навчальних ситуацій та множину навчальних ситуацій в цілому. Загальна оцінка проєктованого прототипу інтелектуальної інформаційної системи показала, що для нафтогазової предметної області мультимедійні інтерфейси та бази знань з включенням мультимедіа можуть значно покращити якість подання інформації предметної області в експертних та інтелектуальних системах відповідно, що в загальному об'єднується в концепцію інтелектуальності.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Мельник В.Д. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при контролі технологічних параметрів / Р.Б. Вовк, В.І. Шекета, В.Д. Мельник // Методи та прилади контролю якості = Methods and devices of quality control: науково-технічний журнал/ За ред. І.С. Кісіля ; ІФНТУНГ. – 2012. - №2 (29). – С.129
- [2] Вовк Р.Б. Подання та оброблення технологічних знань про процес буріння на основі обмежень / Р.Б. Вовк, В.Д. Мельник, Л.М. Гобир // Науковий вісник ІФНТУНГ. - 2013. №1(34). - С.73-81
- [3] Шекета В.І. Імплементация інтелектуальної стратегії прийняття рішень у процесі буріння / В.І. Шекета, М.М. Демчина, В.Д. Мельник // Нафтогазова енергетика: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2013. - №2(20). – С.38-50.

Проблема реформування ІТ-освіти в Україні

О.М. Дудка
кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
olha.dudka@pu.if.ua

Я. Я. Никорак
Івано-Франківський коледж
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
nykorak@pu.if.ua

The problem of reforming IT-education in Ukraine

O. Dudka
Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olha.dudka@pu.if.ua

Ya. Nykorak
Ivano Frankivsk College of
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
nykorak@pu.if.ua

Анотація – Проаналізовано стан розвитку ІТ-освіти в Україні. Представлено модель шкільної ІТ-освіти та вимоги до курсу інформатики згідно зі стандартом К-12 (Computer science standards). Виділено необхідні базові знання сучасних ІТ-фахівців. Запропоновано кроки щодо підвищення якості ІТ-освіти в Україні.

Abstract – Process of reforming IT education in Ukraine is analyzed. The model of school IT-education and requirements to the studying informatics by the K-12 standard are considered. Requirements to the level of knowledge of IT specialists are studied. The steps to improve the higher quality of IT education in Ukraine are proposed.

Ключові слова – інформаційно-комунікаційні технології; інформатика; ІТ-освіта

Keywords – Information and Communication Technology, informatics, computer science, IT education

I. ВСТУП. СТАН РОЗВИТКУ ІТ-ОСВІТИ В УКРАЇНІ

Інформаційні та комунікаційні технології на основі систем телекомунікації у всьому світі визнані ключовими технологіями ХХІ століття, що на найближчі десятиріччя будуть основними двигунами НТП [1]. Інформатизація освіти є частиною цього глобального процесу. Світова практика розвитку та використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в освіті демонструє тенденцію до зміни традиційних форм організації освітнього процесу в умовах розвитку інформаційного суспільства. Водночас, очевидно, змінюється й зміст освіти, методики та дидактичні підходи. Особливо це стосується сфери ІТ-освіти,

яка постійно зазнає змін та потребує вдосконалення згідно з вимогами сучасного інформаційного суспільства [2].

Не зважаючи на непросту ситуацію в державі, сфера інформаційних технологій в Україні сьогодні є однією з небагатьох, які продовжують поступово розвиватись [3]. Наша держава має величезний потенціал, аби досягти значних здобутків в ІТ-сфері. Для цього в країні потрібно використовувати ефективні системи навчання, впроваджувати засоби підтримки для фахівців у галузі інформаційних технологій. За інформацією Держагентства з питань науки, інновацій та інформатизації України, дефіцит кадрів у сфері інформаційних технологій в 2015 році склав близько 170 тис. осіб. Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України у 2011 році затверджено Концепцію науково-педагогічного проекту «ІТ-Освіта», метою якої є розробка нової моделі організації навчально-виховного процесу підготовки фахівців для забезпечення потреб ІТ-індустрії України з наданням рекомендації щодо її впровадження. В березні 2016 року в Києві відбулася презентація освітнього проекту «Перехрестя освітніх новітніх технологій. Open Space-2016», який передбачає реалізацію моделі організації навчально-виховного процесу з підготовки фахівців для забезпечення потреб ІТ-індустрії України на основі взаємодії освіти, науки та бізнесу. Така модель повинна включати бачення щодо: освітніх результатів (сукупність змістових знань, специфічних навичок та компетенцій); системи підтримки (стандарты, навчальні програми і методики, оцінювання навичок, середовища навчання); механізму взаємодії загальноосвітніх і вищих навчальних закладів з роботодавцями на всіх етапах отримання освіти [4].

Починаючи з січня 2016 року, в Україні реалізується проект «Європейські освітні ініціативи» (UCC, <http://itcompete.org/ua>), спрямований на розвиток ІТ-освіти та інтеграцію кращих світових практик у систему підготовки ІТ-фахівців.

Водночас слід зауважити, що проблема реформування освіти відповідно до вимог сучасного світу в Україні залишається відкритою оскільки існує значний розрив між станом розвитку ІКТ та освітніми програмами, засобами, методами навчання, усталеними протягом багатьох десятиліть як у вищих, так і середніх та початкових навчальних закладах. Навчально-виховний процес зараз неможливо уявити без застосування ІКТ в усіх формах та методах роботи педагога з учнями чи студентами, що вимагає відповідних реформ у галузі освіти, яка базується на ІКТ, тобто так званої ІТ-освіти.

Авторами проаналізовано модель шкільної ІТ-освіти згідно стандарту К-12 (Computer science standards), вимоги до базових знань сучасних ІТ-фахівців та запропоновано шляхи вдосконалення процесу вивчення інформатики в рамках реформування освіти в Україні.

II. РЕФОРМУВАННЯ ШКІЛЬНОЇ ІТ-ОСВИТИ ЗГІДНО СТАНДАРТУ К-12- COMPUTER SCIENCE STANDARDS

В стандарті К-12 Асоціації вчителів інформатики (CSTA K-12 Computer Science Standards) зазначено, що комп'ютерні науки та технології перебувають в самому серці як економіки, так і всього життя сучасної людини, а тому студенти повинні бути добре підготовані в цій сфері та мати відповідні практичні навички [5]. В стандарті наголошується на необхідності представлення базових концепцій комп'ютерних наук вже у початковій школі, підготовці комп'ютерно та математично грамотних учнів середньої школи для продовження навчання в старшій школі та коледжах, що забезпечить підготовку креативних прикладних спеціалістів. Такий підхід можна відобразити у структурі курсу інформатики за віковими категоріями учнів згідно наступних рівнів (з умовними назвами): Рівень 1 «Інформатика і я» (початкова школа); Рівень 2 «Інформатика і співтовариства» (середня школа); Рівень 3 «Прикладні концепції і креативні рішення» (старша школа); Рівень 4 «Поглиблене вивчення інформатики» (професійно спрямовані навчальні заклади). Окрім такої умовно вертикальної ієрархії, вимоги до курсу інформатики згідно стандарту К-12 конкретизуються у взаємопов'язаних напрямках (у оригіналі «strands»): обчислювальне мислення (Computational Thinking); співпраця (Collaboration); обчислювальне і практичне програмування (Computing&Practice Programming); комп'ютери і комунікаційні пристрої (Computer and Communication Devices); глобальні і етичні наслідки інформатизації (Community Global and Ethical Impacts).

III. ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ ІТ ФАХІВЦЯ

У зв'язку з інтенсивним розвитком ІКТ постійно реформуються вимоги до рівня підготовки ІТ-фахівців, спрямовані на розвиток професіоналізму з орієнтацією на міжнародні стандарти якості. На даному етапі в системі базових знань ІТ-фахівців слід відзначити наступні

складові: область програмування, математична підготовка, системо-технічна підготовка, процеси аналізу та обробки даних, технології та процеси розробки програмного забезпечення, системо-технічна підготовка, загальна виробнича культура. На основі цих вимог ведуться розробки професійних стандартів в галузі підготовки ІТ-фахівців [5].

Інформатизація освіти вимагає впровадження інноваційних за змістом методів, засобів та форм підготовки майбутніх фахівців нової формації, створення потужної інформаційної інфраструктури у вищих навчальних закладах з розвиненим інформаційно-комп'ютерним навчальним середовищем, впровадження електронного, нобільного та змішаного навчання.

Враховуючи вище сказане, можна виділити такі кроки щодо підвищення якості вивчення інформатики як найважливішої складової ІТ-освіти:

- Зміст шкільної програми «Інформатика» потребує кардинальної перебудови з орієнтацією на міжнародні стандарти.
- Інформатиці необхідно повернути статус фундаментальної дисципліни математичного напрямку. Метою курсу слід визначити в першу чергу як таку, що сприяє розвитку основ алгоритмічного мислення. При цьому без намагання підготувати в школі професійних програмістів.
- В структурі курсу «Інформатика» повинна переважати алгоритмічна підготовка учнів, тому співвідношення навчального часу в програмі рекомендується у такому співвідношенні: 70% – алгоритмізація та програмування, 30% – технології користування комп'ютером.
- Трансформація національної освітньої політики через прискорення запровадження ІКТ.
- Збільшення держзамовлення на ІТ-спеціальності.

ВИСНОВКИ

Важливою складовою ІТ-освіти є процес вивчення інформатики, який потребує постійних змін відповідно до вимог інформаційного суспільства. Якість підготовки ІТ-фахівців є вкрай важливим чинником успішного розвитку інформаційного суспільства, що зумовлює реформування вимог до базових знань при підготовці ІТ-спеціалістів. Внаслідок цього процес реформування ІТ-освіти потребує прищільної уваги не лише при підготовці професіоналів у ВНЗ, а й при вивченні курсу «Інформатика», починаючи з початкової ланки освіти.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] ICT in Education (<http://en.unesco.org/themes/ict-education>)
- [2] Council of European Professional Informatics Societies (CEPIS) (<http://www.cepis.org/index.jsp>)
- [3] Сучасна ІТ-освіта в Україні. (<http://mon.gov.ua/activity/education/vishha/>)
- [4] Науково-методичний проект "ІТ-Освіта" (<http://it-osvita.com.ua/>)
- [5] CSTA K-12 Computer Science Standards (<http://csta.acm.org/Curriculum/sub/K12Standards.html>)

Формування ІКТ-компетентності учнів початкової школи

О. О. Власій, О.М. Дудка, Ю. А. Минай
кафедра інформатики
olesia.vlasii@pu.if.ua

ДВНЗ «Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна

The developing ICT competencies of primary school students

O. Vlasii, O. Dudka, Yu. Minay
Department of Computer Science
olesia.vlasii@pu.if.ua

Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine

Анотація—Проаналізовано передумови використання інформаційно-комунікаційних технологій в початковій освіті, виділено шляхи формування ІКТ-компетентності молодших школярів та обґрунтовано доцільність використання навчально-ігрових програм в якості електронних дидактичних засобів.

Abstract—The basic causes of using information and communication technologies (ICT) in primary education are analyzed. The ways of developing ICT competencies of primary school students are considered; the creating and using educational computer games as didactic digital e-resources are proposed.

Ключові слова— інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ); ІКТ-компетентність; навчально-ігровий електронний дидактичний засіб; флеш-гра

Keywords— *information and communication technologies (ICT); ICT competence; didactic digital e-resources; flash game*

I. ВСТУП

Сучасна школа повинна готувати випускників до життя в інформаційному суспільстві, в якому головними продуктами виробництва є інформація і знання. Сьогодні інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) розглядаються як один з найважливіших компонентів загальної освіти, що відіграє велику роль у розв'язанні пріоритетних завдань навчання та виховання. З поняттям ІКТ нерозривно пов'язані такі поняття як ІКТ-грамотність і ІКТ-компетентність. *ІКТ-грамотність* – це використання цифрових технологій, інструментів комунікації і мереж для отримання доступу до інформації, управління нею, її

інтеграції, оцінки та створення для функціонування в сучасному суспільстві. *ІКТ-компетентність* – впевнене володіння всіма складовими навичками ІКТ-грамотності для вирішення виникаючих питань у навчальній та іншій діяльності, при цьому акцент робиться на сформованість узагальнених пізнавальних, етичних і технічних навичок. На основі ІКТ-грамотності та ІКТ-компетентності формується інформаційна культура, яка стала невід'ємною часткою загальної культури особистості [1].

Враховуючи, що у початковій школі відбувається поступова зміна провідного виду діяльності дитини з ігрової на навчальну, необхідно максимально використати можливості застосування ІКТ при організації як навчальної діяльності молодших школярів, так і виховної діяльності педагога. У зв'язку з цим авторами проаналізовано передумови використання ІКТ в початковій освіті та шляхи формування ІКТ-компетентності молодших школярів, а також виділено використання навчально-ігрових електронних дидактичних засобів, створених за допомогою флеш-технологій, як один з пріоритетних напрямків.

II. ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ ІКТ У ПОЧАТКОВІЙ ШКОЛІ

Інститут ЮНЕСКО з інформаційних технологій в освіті (ІПТЕ) працює над проектом «ІКТ в початковій освіті», метою якого є створення основи для підвищення якості початкової освіти за рахунок використання ІКТ [2].

Державним стандартом початкової загальної освіти передбачено використання ІКТ в освітньому процесі початкових класів загальноосвітніх навчальних закладів та формування і розвиток у молодших школярів ключових

компетентностей, серед яких можна виділити ІКТ-компетентність.

Безумовно, діяльність педагога є одним з основних факторів, що визначає успішність учня. Використання ІКТ повинно бути зручним, доступним і ефективним у навчальній та виховній роботі. Тільки в цьому випадку використання ІКТ буде мати осмислений і продуктивний характер. Розглянемо причини, які спонукають педагогів використовувати ІКТ в практиці роботи початкової школи. По-перше, в інформаційному суспільстві, важливим соціальним завданням є формування нового стилю мислення. А найбільш інтенсивно розвивається інтелект у молодшому шкільному віці. По-друге, з кожним роком збільшується кількість школярів, які мають власний комп'ютер. Учні початкових класів цікавляться комп'ютерними іграми і тому мотивація до вивчення азів комп'ютерної грамотності зростає. По-третє, запровадження ІКТ у навчальний процес та об'єднання їх з традиційними методами навчання спонукає школярів до засвоєння нових форм навчання, до самостійного пошуку міжпредметних зв'язків.

До основних напрямів використання ІКТ у початковій школі належать: проведення уроків-презентацій, використання електронних навчальних посібників, розв'язування інтерактивних кросвордів, тестовий комп'ютерний контроль, комп'ютерні дидактичні ігри, Інтернет ресурси тощо.

Оскільки використання ІКТ спричиняє зміни не лише у навчальній діяльності учнів, а й у виховній діяльності педагога, у формуванні нових міжособистісних взаємин як учень-учень, так і учень-вчитель, то інтеграція ІКТ в навчальний процес повинна фокусуватися на всіх його аспектах – змісті, формі, методах тощо. Дослідження ІТЕ показують доцільність використання ІКТ при вивченні різних дисциплін як фундамент розвитку вмінь і навичок особистості 21-го століття [1].

III. Роль навчально-ігрових електронних дидактичних засобів у формуванні ІКТ-компетентності школярів

Хочемо зупинитися саме на ролі навчально-ігрових електронних дидактичних засобів у формуванні ІКТ-компетентностей школярів початкової ланки освіти, адже ігрова діяльність – це багатоскладовий і продуктивний процес, структура якого включає інтелектуальну, пізнавальну, пошукову, проектну та інші форми прояву творчої активності. Ігри формують у дитини мотиваційну та інтелектуальну готовність використання комп'ютерних засобів для здійснення своєї діяльності. Дидактичні засоби у формі комп'ютерної гри тренують пам'ять, логіку, координацію рухів, уміння планувати свою діяльність, знаходити інформацію, необхідну для досягнення поставленої мети. Оскільки комп'ютерні ігри стали невід'ємною складовою розвитку сучасних дітей, то постає нагальна потреба створення якісних навчально-ігрових програм з метою використання їх як електронних дидактичних засобів. Зауважимо, що використання таких програм нерозривно пов'язано з формуванням ІКТ-компетентності школярів, що зумовлює розвиток наступних вмінь та навичок учнів молодшого шкільного віку: *технологічні* (користування клавіатурою та комп'ютерною мишею в конкретних ситуаціях; робота з комп'ютерними програмами – уміння запускати, закривати, користуватися меню,

орієнтуватися в навігації по програмі тощо); *телекомунікаційні* (використання чату для мережевого спілкування; уміння користуватися електронною поштою); *алгоритмічні* (складання елементарних алгоритмів для керування електронними героями, планування розвитку подій на основі аналізу можливих шляхів реалізації складеного алгоритму).

Одним із провідних напрямів у розробці електронних дидактичних засобів є використання флеш-технологій, за допомогою яких можуть бути розроблені навчально-ігрові програми, які можуть містити текстові фрагменти, анімовані графічні елементи, відеофрагменти, аудіо-супровід, елементи управління [3]. Не секрет, що флеш-ігри стали одним з основних інтернет-ресурсів, які привертають дитячу увагу. Тому створення альтернативних навчально-пізнавальних флеш-ігор та використання їх як дидактичних засобів у навчальному процесі можна вважати одним із пріоритетних напрямків запровадження ІКТ в початковій школі [4].

Для ілюстрації можливостей використання флеш-технологій авторами розроблено проект навчально-ігрової програми «Незнайкові шкільні пригоди», суть якого у реалізації міжпредметних зв'язків на прикладі взаємозв'язку конкретних тем з різними дисциплінами. Головним героєм гри є Незнайко, який пізнає ази шкільної науки і потребує допомоги дітей у подоланні різних перешкод. Наприклад, розроблений модуль «Веселкові пригоди» присвячений темі «Множини» та передбачає різноманітні завдання, пов'язані з множинами в математиці, інформатиці, мові, природі, музиці тощо. На даний момент ведеться розробка модуля «Гірські пригоди», який допомагає вивчати тему «Геометричні фігури» на прикладах ігрових завдань з різних дисциплін. Використання даної програми в навчальному процесі дозволяє підтримувати високий рівень мотивації учнів, розвивати інтелектуальні, творчі здібності і сприяє розвитку комунікативних навичок.

ВИСНОВКИ

Створення навчально-ігрових електронних дидактичних засобів, зокрема на основі флеш-технологій, та впровадження їх в навчальний процес початкової освіти є пріоритетним напрямом формування ІКТ-компетентностей школярів. Це дозволяє створити принципово нову інформаційно-освітню атмосферу, що надає широкі можливості для навчальної діяльності, забезпечує індивідуалізацію та диференціацію освітнього процесу, сприяє модернізації традиційної системи навчання.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Божинська О. В. (2015) Формування інформаційно-комунікаційної компетентності (<http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/5135/1/Boginska.pdf>)
- [2] ICT in primary education: analytical survey (2012) (<http://iite.unesco.org/pics/publications/en/files/3214707.pdf>)
- [3] Олефіренко Н. В. Інструментальні засоби створення електронних дидактичних ресурсів для початкової школи, Зб. наук. праць Харк. нац. пед. ун-ту імені Г. С. Сковороди. "Засоби навч. та наук.-дослідної роботи", 2012, Вип. 38, С. 88-98.
- [4] Рибалко О. Флеш-технології як засіб створення комп'ютерних дидактичних ігор для дітей, Вісник Інституту розвитку дитини. Сер.: Філософія, педагогіка, психологія, 2014, № 31, С. 99-103.

СЕКЦІЯ 3.
*Теорія інформації, кодування
та перетворення форми інформації*

Dynamic theory of information – the basis for real time systems

V. Boyun

Department of Intelligent Real Time Video Systems
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics NASU
40, Academica Glushkova pr., Kyiv-03187, Ukraine,
vboyun@gmail.com

Динамічна теорія інформації – основа систем реального часу

В. П. Боюн

Відділ інтелектуальних відеосистем реального часу
Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України
40, пр.Академіка Глушкова, м.Київ-03187, Україна
vboyun@gmail.com

Abstract—Peculiarities of computing in real time systems are considered in the report. It is revealed, that traditional principles of an analog-to-digital conversion (sampling, quantization and encoding), which have been developed for systems, oriented on transferring and registration of information, don't meet requirements of real time systems with a feedback. The same thing concerns to principles of computing process organization. The new theoretical fundamentals and principles of information reconciliation of means for information conversion and processing are proposed for real time systems. They are based on a system approach and take into account peculiarities of real time systems, their requirements and restrictions, solvable tasks, and allow to evaluate the signal dynamics, information and precision characteristics of methods of a continuous signal digital presentation, and to select the most effective method for a certain case.

Анотація—В доповіді розглядаються особливості роботи обчислювальних засобів в системах реального часу. Показано, що традиційні основи аналого-цифрового перетворення сигналів (дискретизація, квантування та кодування), які розроблялись для систем передачі і ресстрації інформації, не відповідають умовам систем реального часу із зворотним зв'язком. Це ж стосується і принципів організації обчислювального процесу. Пропонуються нові теоретичні основи і принципи інформаційного узгодження засобів перетворення і обробки інформації в системах реального часу, які базуються на системному підході, враховують особливості систем реального часу, їх вимоги та обмеження, розв'язувані задачі і дозволяють оцінити динаміку сигналів, інформаційні і точнісні характеристики методів цифрового подання неперервних сигналів та вибрати з них найбільш ефективний для даного випадку.

Keywords—real time system, analog-to-digital conversion, system approach, dynamic information, δ -entropy.

Ключові слова—системи реального часу, аналого-цифрове перетворення, системний підхід, динамічна інформація, δ -ентропія.

I. INTRODUCTION

Computing in real time systems with fast processes (automated control systems of moving objects, technological processes, and digital-to-analog modeling complexes and so on) has a number of peculiarities which result from a necessity to converse form of information presentation, and to provide requirements of real time.

Systems with a feedback are the most complex real time systems, because besides providing productivity, information processing efficiency is required in order to reduce a delay of information in a feedback contour.

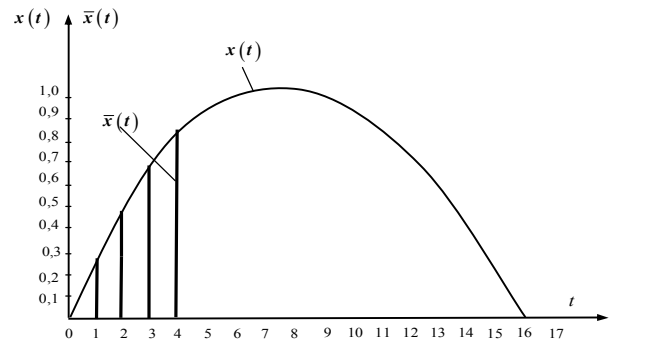
II. STATE OF PROBLEM

The traditional approach to analog-to-digital conversion consists in conversion of a continuous physical signal with a finite spectrum that is considered as a continuous random process, in a random sequence of real values, which characterize the state of a random process in fixed time instants. Under that, analog-to-digital conversion comes to consecutive execution of three processes: sampling, quantization and encoding. In the theory of analog-to-digital conversion there were developed some approaches, which allow to optimize each of these processes and to provide minimal number of signal samples, minimal number of quantization levels under given variance of quantization noise

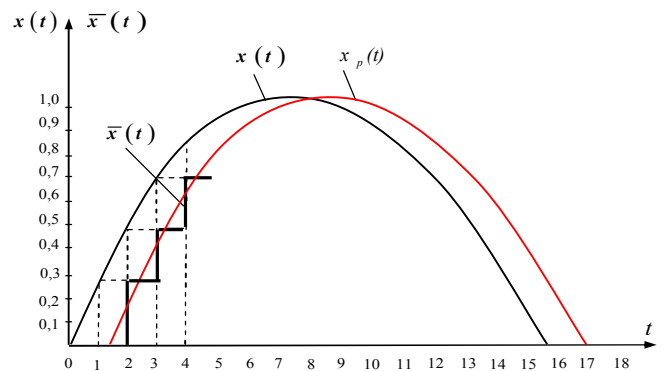
and minimal number of information bits in one sample. These theoretical fundamentals have been developed for systems of communications and storing of large arrays of information, which demand corresponding channels for transferring and memory capacity for storing. Indeed, optimization of system with respect to the criterion of information amount allows to relieve transferring channels, to lower requirements to these channels or to reduce their cost (to resolve the problems of communication), to reduce memory capacity (to resolve the problems of information storing). The high precision of a signal sample presentation provides principle possibility for further recovery of a signal form with a required precision. Conditionally such model can be named the measuring model.

Presence of information lag, caused by finite time of analog-to-digit conversion, transferring and storing, is not essential for registration systems. It should be reconciled only throughout of all tract elements. Information processing and restoration of a continuous signal form are accomplished separately, not in real time, by other means and therefore they are not taken into account while considering the process of an analog-to-digit conversion for registration and transfer of information. Time of processing and restoration of a continuous signal form are not fundamental for such systems. Information storing is accomplished for further processing not in real time and information processing substantially comes to computing characteristics of random processes: mathematical expectation, variance, correlation functions and matrices, coefficients of discrete Fourier transform. In this case, sampling of the process according to the Kotelnikov-Nyquist theorem or the correlation interval provides the required accuracy of characteristic computation of a random process with a minimal number of samples. However, sampling of the process with a long time step leads to necessity of considerable increasing of time interval, within the analysis of characteristics is being executed, and moreover, the restoration of a continuous signal form by Kotelnikov series causes considerable difficulties by using both analog and digital way of realization. Actually, the sampling for signal restoration is accomplished with considerably shorter time step than according to Kotelnikov theorem, and a restoration of a signal is executed by means of interpolating polynomials of a zero, the first or a higher order. Hereby, the peculiarity of interpolating methods is the principle necessity of introducing a delay during signal restoration that restricts their usage in real time systems of closed loop types. Extrapolating methods, which are used to except a delay, lead to greater error of signal restoration that grows with increasing of a sampling increment.

Curves of an analog-to-digital conversion are given in fig.1: a) ideal conversion without delay; б) real conversion with delay (1 clock cycle for an analog-to-digital conversion and 0,5 of a clock cycle at the expense of stairstepping of approximation).



a) Ideal conversion without delay



b) Real conversion with delay

Fig. 1. Curves of an analog-to-digital conversion

In addition, practically they are not acceptable for direct processing of values of signal samples, which have been obtained with methods of optimal or economical quantization in accordance with a likelihood of signal values.

Thus, the classical model of analog-to-digital conversion, which provides a minimum of information, transmitted and stored in registration systems, does not take into account particularities of subsequent processing and restoration of a continuous signal form and does not provide the overall system optimization even not in real time. At the same time, the traditional Neumann organization of computational process, that ensures minimization of the cost of computing tools, has not sufficient possibilities to increase their productivity and, in addition, does not take into account particularities of control systems and does not provide high requirements to operability of information processing. It concerns to organization problem of operational information input-output, memory organization, information processing and so on.

Thus, analysis of the state of problem shows:

- significant insufficiency of traditional fundamentals for conversion and processing information in control system with feedback;
- inconsistency of ways of digital presentation of a continuous signals with the tasks in control systems, methods of analog-to-digital conversion and forms of information presentation at the ADC output with the ways of the information processing;
- mismatch of organization principles of computing in universal computers, complexes and systems to control system requirements for information processing speed.

III. STATEMENT OF PROBLEM

As follows from the above there is a necessity of system approach to issues of conversion, processing and recovery of a continuous form of a signal.

The goal of this research is to create theoretical fundamentals and development of principles of information coordination tools for conversion and processing in real time systems, as well as principles of computing organization in control systems for fast and complex processes.

IV. DYNAMIC THEORY OF INFORMATION - THE BASIS FOR REAL TIME SYSTEMS

To evaluate quality of information systems it's widely used theoretical and informative presentations, which constitute substantial essence uncertainty, suddenness, diversity. Information is a map of this diversity. In each case, there are many forms (modes) of diversity, which is determined by specific conditions, requirements, limitations, etc. That's why any definition of information associated with a particular model of reality, that is underlie a study and which determines the diversity which system quality or criterion of its efficiency depends more from. Choice of information measure cannot be settled by means of mathematics, and is purely heuristic procedure that should take into account specific conditions, requirements and peculiarities.

In order to select information measure, requirements for digital presentation of continuous signals, let us consider problems and particularities of real time systems from the side of next following devices and restoration of a continuous signal form as well as criteria of evaluation of presentation quality.

Signals of real world have often continuous character and map object behavior or processes, which take place on the object. In real time systems information about the signal value are extracted traditionally in sampling instants, from which signal behavior can be restored if there are certain selection of signal sampling increment and the appropriate approximation method. In addition, information about signal variations within time interval or signal behavior can be extracted from the signal.

Each type of information has its own way of digital presentation of a continuous signal. There is a relationship between these types of information, so in case of carrying out the relevant conditions, transitions from one type of information to another are possible. Information about the

behavior of the signal are the most complete information about it, thus it can be easy obtained information about the value of the signal at fixed moments of time or about variations of the signal at a time span. There is a relationship between these types of information, so in case of carrying out the relevant conditions it is possible transitions from one type of information to another. Transition from information about the signal value to information about to its behavior is more complicated.

Considered kinds of information show different characteristics of a signal, therefore their use is defined by the character of problems, which are resolved by an information control system.

Conducted studies have shown the following:

- codes of samples should save inside themselves the parameter value to provide the possibility to process and restore a continuous signal form in real time;
- the main sources of errors of digital presentation of a continuous signal are information delay in feedback contour, which is determined by latency of analog-to-digital conversion, and signal approximation on discrete samples;
- the problem of delay reduction comes to cutting down of information content in one sample under minimally possible sampling increment within technical conditions, unlike conventional approach of cutting down of information content by reducing sample number;
- the concept and the measure of information and system error change in dependance of concrete conditions, demands and limitations due to the models of considered processes. In case of need to process values of random quantity, which characterize physical parameters of system, their uncertainty should be considered in terms of uncertainty of physical parameter value, since time and complexity of value processing directly depend on digital capacity of value presentation. In case of need to restore the continuous signal form in close control contour, which maps behavior of physical system, uncertainty should be considered as uncertainty of parameter variation, since main errors, in these conditions, result from digital presentation of a continuous signal and delay, which are defined by process sampling increment. In order to reduce sampling increment it should cut down redundant information and process only useful information which are in process changes, that is in its dynamics.

The value (quantity) of the physical parameter, presented in reference units (quanta), which characterize the precision of its presentation, has been chosen as the main characteristic of physical parameter, which is operated in the computing engineering, and logarithm of quantization level number of this quantity has been chosen as information measure of parameter of this quantity, and this logarithm is one greater than the parameter value in quanta.

Unlike the Shannon entropy concept of the random quantity state, the entropy concept of value of a random quantity, that represents average number of bits, fallen on one value of random quantity, has been introduced. The introduced concept of adjusted entropy of random quantity characterizes dispersion over digit capacity for random value presentation and allows to evaluate reasonability to use variable digit capacity for presentation of array numbers.

It has been introduced the concept of the δ -entropy, that presents average value of the modulus of the random process derivative and characterizes the uncertainty of the random process changes, that is process dynamics. The concept of adjusted δ -entropy is defined by the distribution law for the signal derivatives and allows to compare according to dynamics processes of different nature, to evaluate their information content with different distribution laws for signal derivatives.

The reviewed methods for determination of mathematical expectation of random process derivative modulus, that is the basis of δ -entropy evaluation, for different methods of presentation of realisation or ansamble of realisation (in analytical form or grafically), for different methods of presentation of generalized characteristics of Gaussian processes (through given distribution law for derivative values, through given parameters of stationary normal process and its correlational function, through given power spectral density of stationary normal process) are considered.

The approaches to experimental measurement of δ -entropy over the random processes realisations are developed.

On basis of δ -entropy and adjusted δ -entropy it was received series of relations for evaluation of process dynamics and informational content of process, necessary number of samples for process presentation, sampling increment, errors and amount of information that are obtained under sampling with constant or variable increment, under quantization by constant or variable increments. Relations for estimating of benefits or losses during sampling and quantization with variable or constant step and quantum are received.

The choosen information measure allows to evaluate not only the amount of useful (dynamic) information, but also system error, which is brought by the feedback contour.

Thereby, the concept and considered issues, introduced in this work, are the framework of dynamic theory of information. The dynamis theory of information is based on system approach, takes into account particularities of real time systems, their requirements and limitations, resolved problems, and allows to evaluate the signal dynamics, informational and precisional characteristics of methods for digital presentation of continuous signals, and to select from them the most effective method for given case [1].

The block diagram of the algorithm for analog-incremental conversion on base of presented approaches is given in fig.2, in fig.3 – the diagram of the analog-incremental conversion with signal extrapolation during conversion and information processing in a feedback contour.

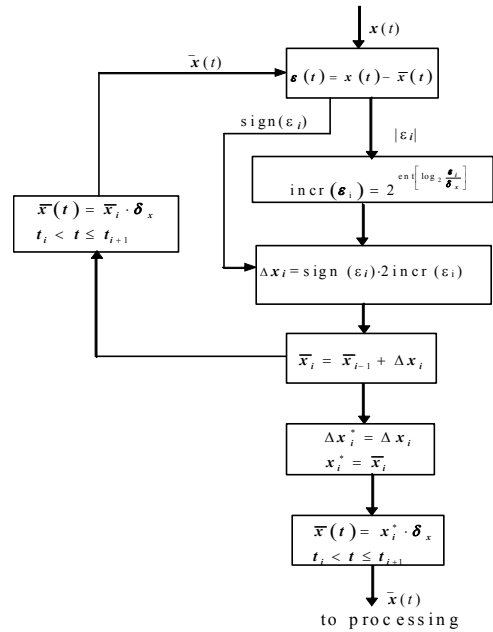


Fig. 2. The block diagram of the algorithm for analog-incremental conversion

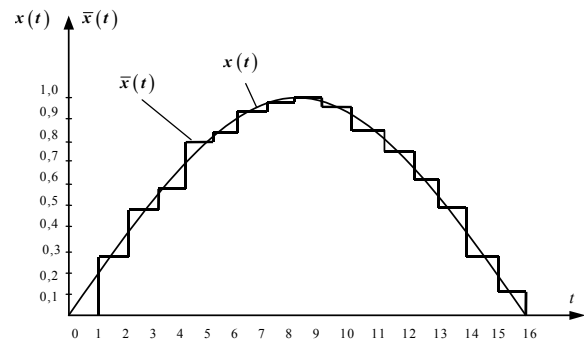


Fig. 3. The diagram of the analog-incremental conversion

The variant of analog-incremental conversion realisation is given in fig.4.

Here the subtractor (SUB) determines difference between the input signal and the feedback signal from DAC, which is compared with the row of treshhold elements (TE), weights of which are multiple of degree of two. The logical circuit (LC) extracts the most significant from treshhold elements, that was actuated from the difference signal. The encoder (Enc) codes number of this treshhold element and yields encoded value of difference (increment) to the output. The adder accumulator (AA) sums up subject to sign of difference to form a feedback signal through DAC. The complete digital value of a signal can be also took off the AA, but that value is not always used.

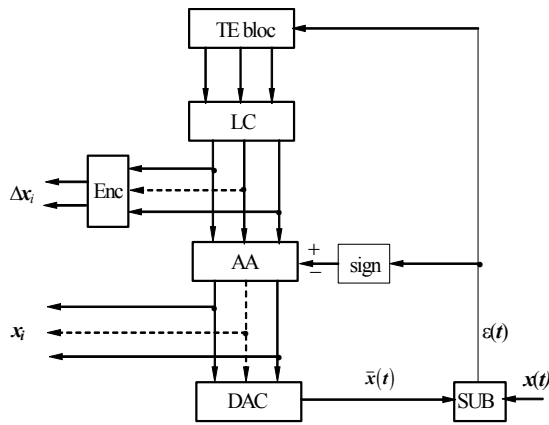


Fig. 4. The block diagram of the analog-incremental converter

The recurrent algorithms and the circuits of signal digital scaling and signal squaring are given in fig.5 and 6, respectively. Operations are executed without multiplication operation, scaling during one clock cycle, and squaring during two clock cycles.

The scaling operation:

$$y = k \cdot x_i, \quad y_{i+1} = k \cdot x_{i+1},$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i,$$

$$y_{i+1} = kx_i + k\Delta x_i = y_i + k\Delta x_i,$$

Since increments $\Delta x = (2^j)$, then $y_{i+1} = y_i \pm k2^j$.

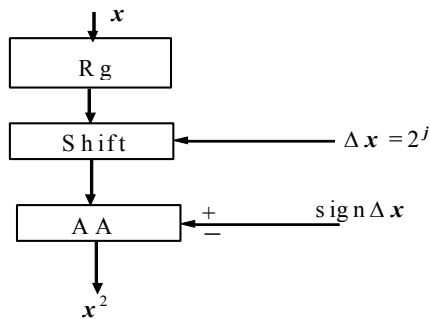


Fig. 5. The circuits of signal digital scaling

The squaring operation:

$$y_i = x_i^2, \quad y_{i+1} = x_{i+1}^2;$$

$$x_{i+1} = x_i \pm \Delta x_i;$$

$$y_{i+1} = x_i^2 \pm x_i \Delta x_i \pm x_{i+1} \Delta x_i = y_i \pm x_i \Delta x_i \pm x_{i+1} \Delta x_i.$$

$$y_{i+1} = y_i \pm 2^j x_i \pm 2^j x_{i+1}.$$

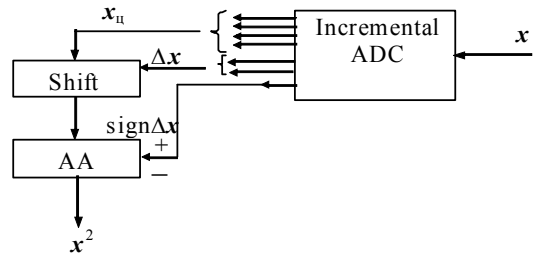


Fig. 6. The circuits of digital signal squaring

The examples of use of developed information basis for technical realisation for signal involution into other degrees, including fractional, for calculation of functions, polynomials, correlational functions, coefficients of discrete Fourier transform, digital filtration and so on, are also given in this report.

This realisation is especially effective in modes of function generation and signal (argument) tracking, that takes place practically in all tasks of information processing and in real time control.

All calculations in all these tasks are executed without a multiplication operation, which is substituted for shift operation on an arbitrary number of bits and which is executed during one clock cycle with considerably less hardware costs. Further development of the dynamic theory of information was directed on resolving of systems of linear algebraic, integral and differential equations with partial derivatives and so on, and also on intelligent perception and preliminary image processing in real time systems. More than 200 patents on inventions have been got, many of them have been implemented in real time processors, complexes and systems.

CONCLUSIONS

The fundamental framework of the work is the system approach to processes totality of analog-to-digital conversion, a continuous signal form processing and restoration, to computing process organization, which subordinates them to unitary quality criterion and makes corresponding requirements to realization of each process in a complex. Taking into account peculiarities of real time systems it allow in information way to tradeoff methods of digital presentation of continuous signals, analog-to-digital conversion algorithms, which correspond to these methods, information processing methods, which take into account methods of digital presentation of continuous signals and form of information at an ADC output for cases with one and many channels, principles of computing process organization in dedicated and task-oriented processors and systems.

REFERENCES

- [1] В. П. Боюн. Динамическая теория информации. Основы и приложения. – Киев. : Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова НАН Украины. – 2001. - 326 с.

Аналіз базису Уолша як перехідної системи до систем функцій із рекурсивним впорядкуванням

Л.Б. Петришин

AGH Науково-технічний університет,

Краків, Польща

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника

Івано-Франківськ, Україна

L.B.Petryshyn@gmail.com

Analysis of the Walsh basis as the transitional system to recursive ordering functions systems

L.B. Petryshyn

AGH University of Science and Technology,

Cracov, Poland

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,

Ivano-Frankivsk, Ukraine

e-mail: L.B.Petryshyn@gmail.com

Анотація—Здійснено аналіз базису Уолша як системи дискретно-гармонічних функцій Радемахера і Грея, а також дискретно-негармонічних мультиплікативних функцій Уолша. Встановлено фазову взаємозалежність складових функцій системи у парах. Визначено базис функцій Уолша із рекурсивним впорядкуванням

Abstract—The analysis of the Walsh basis as discrete harmonic Rademacher and Gray functions and multiplicative discrete nonharmonic Walsh functions system is done. The phase interdependent of function system components in pairs is presented. Defined Walsh functions basis with recursive ordering

Ключові слова—теоретико-числові перетворення; функції Уолша; Радемахера; Грея; кодування

Keywords— number theoretical transformation; Walsh functions; Rademacher; Gray; coding

I. ВСТУП

Техніко-економічна ефективність комп'ютеризованих інформаційних систем в істотній мірі залежить від застосованого методу кодування повідомлень і відповідних методів перетворення форми інформації та цифрової обробки сигналів як носіїв образів інформаційних процесів оточення. Дослідження ефективності систем кодування та перетворення форми інформації є актуальним завданням, вирішення якого дозволяє обґрунтувати вибір базису та здійснити швидкі теоретико-числові перетворення повідомлень в обчислювальній системі. Метою роботи було продовження

досліджень методів кодування та теоретико-числових перетворень повідомлень [1] при переході від дискретно-гармонічних систем типу унітарних, дискретно-фазових, двійкових, Грея тощо до дискретно-негармонічних систем типу Уолша та рекурсивних Галуа. Дослідження ґрунтувались на застосуванні апарату теоретико-числових перетворень дискретної математики. Практична значимість полягає у можливості застосування встановлених аналітичних залежностей для побудови швидких алгоритмів перетворення форми та цифрової обробки інформації. Сучасні цифрові системи функціонують із застосуванням основних бінарних позиційних систем числень як то унітарні та двійкові, а також непозиційної типу Грея, синтез яких проаналізовано в роботі [2]. Такі методи володіють рядом функціональних обмежень як то формування міжкодових «шпильок» в двійкових системах, чи то необхідність інфообміну у паралельному форматі кодових слів, що спричиняє до істотного навантаження на канали зв'язку, а також зумовлює низький рівень завадозахисту. Розвиток застосування методів подання цифрових повідомлень та їх теоретико-числових перетворень полягав у пізнішому застосуванні базисів дискретно-негармонічних функцій Уолша [3-5] та рекурсивно впорядкованих систем функцій [5-7]. Проте не були відомі аналітичні залежності побудови систем рекурсивно впорядкованих функцій та відповідних систем кодування даних, що унеможливило здійснення міжбазисних теоретико-числових перетворень. Проаналізуємо аналітику побудови дискретно-негармонічних базисних систем Уолша із

дискретно-гармонічних базисів Радемахера та Грея, а також встановлені залежності синтезу систем функцій із рекурсивним впорядкуванням, які є основою рекурсивних методів кодування повідомлень, що володіють розширеним складом функціональних властивостей.

II. СИНТЕЗ СИСТЕМ ФУНКЦІЙ УОЛША

Застосування дискретно-гармонічних функцій Радемахера та Грея, що є похідними \sin - та \cos -гармонічних коливань, в якості базисних в основному було історично зумовлено простотою технічної реалізації якісних гармонічних генераторів. З впровадженням цифрової техніки стала можливою проста реалізація і інших дискретних залежностей, зокрема дискретно-негармонічних функцій як то Уолша [3-5] та рекурсивних

Галуа [6-9]. Це спричинило до широкого розвитку математичних основ теоретико-числових перетворень, ґрунтуючись на яких реалізовано цифрові засоби формування, зв'язку, фільтрації, обробки повідомлень, що володіють покращеними техніко-економічними характеристиками.

Функції Уолша, впорядковані за Уолшем, Пелі, Адамаром, чи іншим чином, вміщують інваріантно повний набір функцій [3-5]. Нижче наведено у спрощеному вигляді із відображенням тільки порядків складових функцій $Wal_w, i = Wal_w(n, \theta, i)$ процедуру дискретного тригонометричного переходу до базису Уолша, впорядкованого за Уолшем, із базисів Радемахера $Rad_n = Rad(n, \theta)$ та Грея $Gry_n = Gry(n, \theta)$.

$$\begin{aligned}
 Wal_w,0 &= Rad_0 = sign[\sin\pi] = Gry_1 = sign[\cos\pi/2] \\
 Wal_w,1 &= Rad_1 = sign[\sin2\pi] = Gry_0 = sign[\cos\pi] \\
 Wal_w,2 &= Rad_1 Rad_2 = Gry_1 = sign[\cos2\pi] \\
 Wal_w,3 &= Rad_2 = sign[\sin4\pi] \\
 Wal_w,4 &= Rad_2 Rad_3 = Gry_2 = sign[\cos4\pi] \\
 Wal_w,5 &= Rad_1 Rad_2 Rad_3 = \begin{cases} Rad_1 Gry_2 = sign[\sin 2\pi] sign[\cos 4\pi] \\ Gry_1 Rad_3 = sign[\cos 2\pi] sign[\sin 8\pi] \end{cases} \\
 Wal_w,6 &= Rad_1 Rad_3 = sign[\sin2\pi] sign[\sin8\pi] \\
 Wal_w,7 &= Rad_3 = sign[\sin8\pi] \\
 Wal_w,8 &= Rad_3 Rad_4 = Gry_3 = sign[\cos8\pi] \\
 Wal_w,9 &= Rad_1 Rad_3 Rad_4 = Rad_1 Gry_3 = sign[\sin2\pi] sign[\cos8\pi] \\
 Wal_w,10 &= Rad_1 Rad_2 Rad_3 Rad_4 = Gry_1 Gry_3 = sign[\cos2\pi] sign[\cos8\pi] \\
 Wal_w,11 &= Rad_2 Rad_3 Rad_4 = \begin{cases} Rad_2 Gry_3 = sign[\sin 4\pi] sign[\cos 8\pi] \\ Gry_2 Rad_4 = sign[\cos 4\pi] sign[\sin 16\pi] \end{cases} \\
 Wal_w,12 &= Rad_2 Rad_4 = sign[\sin4\pi] sign[\sin16\pi] \\
 Wal_w,13 &= Rad_1 Rad_2 Rad_4 = Gry_1 Rad_4 = sign[\cos2\pi] sign[\sin16\pi] \\
 Wal_w,14 &= Rad_1 Rad_4 = sign[\sin2\pi] sign[\sin16\pi] \\
 Wal_w,15 &= Rad_4 = sign[\sin16\pi]
 \end{aligned}$$

Таким чином, приклад функцій Уолша, впорядкованих за Уолшем, або частоти наведений на рис. 1, в своєму складі вміщує дискретно-гармонічні базиси Радемахера та Грея, а також набір мультиплікованих дискретно-негармонічних власне функцій Уолша $Wal_w(4, \theta, i)$. Базиси Радемахера і Грея в складі базису Уолша утворюють повні системи дискретно-гармонічних відповідно непарних та парних функцій, а вибіркові дискретно-негармонічні

функції теж утворюють відповідно непарні та парні базисні складові [3-5].

III. ФАЗОВА ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ ФУНКЦІЙ УОЛША

Із прикладу функцій Уолша четвертого порядку (рис. 2) можна встановити комплексну в парах взаємозалежність фаз функцій Уолша, упорядкованих за Уолшем [10]:

$$\begin{aligned}
 Wal_w(1, \theta, 1) &= Rad(1, \theta) = Wal_w(1, \theta, 2) + \pi/2 = Gry(1, \theta) + \pi/2, \\
 Wal_w(1, \theta, 2) &= Gry(1, \theta) = Wal_w(1, \theta, 1) - \pi/2 = Rad(1, \theta) - \pi/2, \\
 Wal_w(2, \theta, 1) &= Rad(2, \theta) = Wal_w(2, \theta, 2) + \pi/4 = Gry(2, \theta) + \pi/4, \\
 Wal_w(2, \theta, 2) &= Gry(2, \theta) = Wal_w(2, \theta, 1) - \pi/4 = Rad(2, \theta) - \pi/4, \\
 Wal_w(3, \theta, 1) &= Wal_w(3, \theta, 2) - \pi/2, \\
 Wal_w(3, \theta, 2) &= Wal_w(3, \theta, 1) + \pi/2, \\
 Wal_w(3, \theta, 3) &= Rad(3, \theta) = Wal_w(3, \theta, 4) + \pi/8 = Gry(3, \theta) + \pi/8, \\
 Wal_w(3, \theta, 4) &= Gry(3, \theta) = Wal_w(3, \theta, 3) - \pi/8 = Rad(3, \theta) - \pi/8, \\
 Wal_w(4, \theta, 1) &= Wal_w(4, \theta, 2) + \pi/2, \\
 Wal_w(4, \theta, 2) &= Wal_w(4, \theta, 1) - \pi/2, \\
 Wal_w(4, \theta, 3) &= Wal_w(4, \theta, 4) - \pi/4, \\
 Wal_w(4, \theta, 4) &= Wal_w(4, \theta, 3) + \pi/4,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Wal_w(4, \theta, 5) &= Wal_w(4, \theta, 6) - \pi/2, \\
 Wal_w(4, \theta, 6) &= Wal_w(4, \theta, 5) + \pi/2, \\
 Wal_w(4, \theta, 7) &= Rad(4, \theta) = Wal_w(4, \theta, 8) + \pi/16 = Gry(4, \theta) + \pi/16, \\
 Wal_w(4, \theta, 8) &= Gry(4, \theta) = Wal_w(4, \theta, 7) - \pi/16 = Rad(4, \theta) - \pi/16.
 \end{aligned}$$

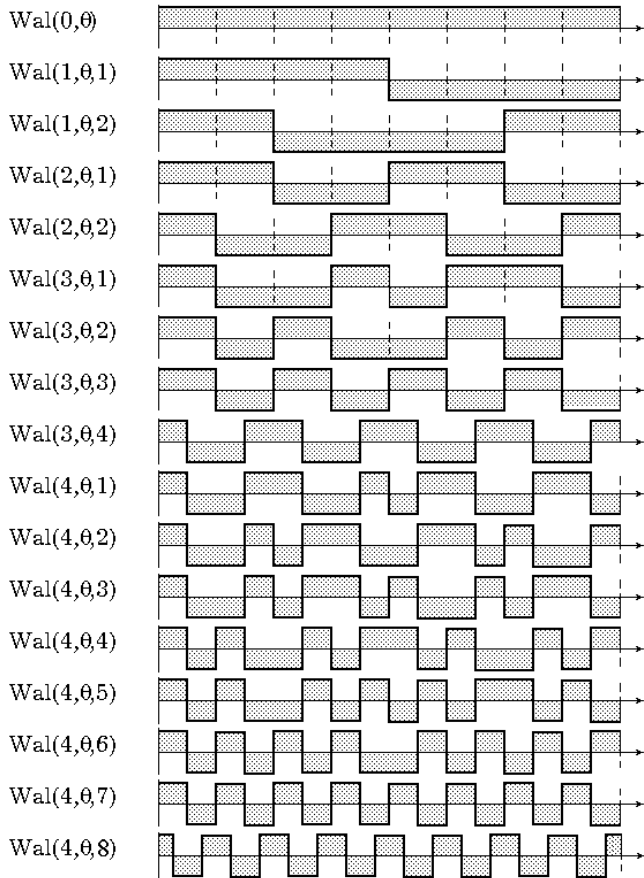


Рис. 1. Функції Уолша, впорядковані за Уолшем

У всякому довільному повному базисному наборі функцій Уолша для кожного із порядкових згідно визначеного n значень максимальний степінь дискретизації по часу або мінімальний крок θ становить $\Delta\theta_n = \pi/2^n$ із всіма значеннями $n\Delta\theta_n = n\pi/2^n$, де $n = n, n-1, \dots, 1, 0$, а також із повним доповненням базису набором функцій молодших порядків i із відповідним дискретним заповненням $\Delta\theta_i = \pi/2^i$, де для кожного $n \ i = i, i-1, \dots, 1, 0$.

Таким чином, шляхом екстракції власне \sin - та \cos -складових із набору функцій Уолша отримуємо базиси Радемахера та Грея, на основі чого можна твердити, що базис Уолша вміщує повні дискретно-гармонічні базиси Радемахера та Грея, а також набір дискретно-негармонічних функцій, останні є повною мультиплікативною групою функцій Радемахера-Грея.

За отриманими результатами досліджень можна твердити, що базис Уолша є функціонально повним і дозволяє у розширеному функціональному складі здійснити аналіз досліджуваних залежностей інформаційних чи інших процесів оточення. Така властивість з іншого боку спричиняє значну

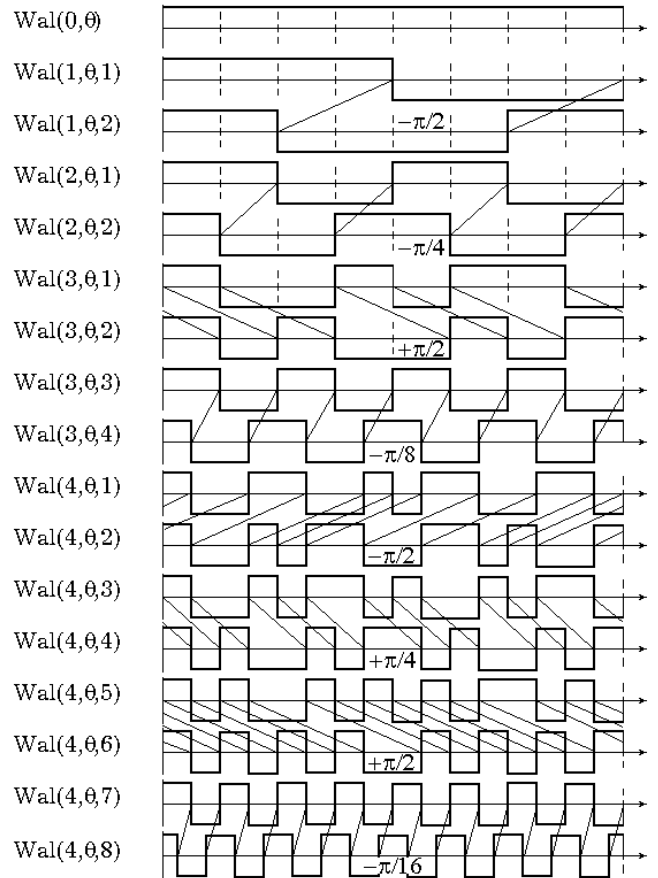


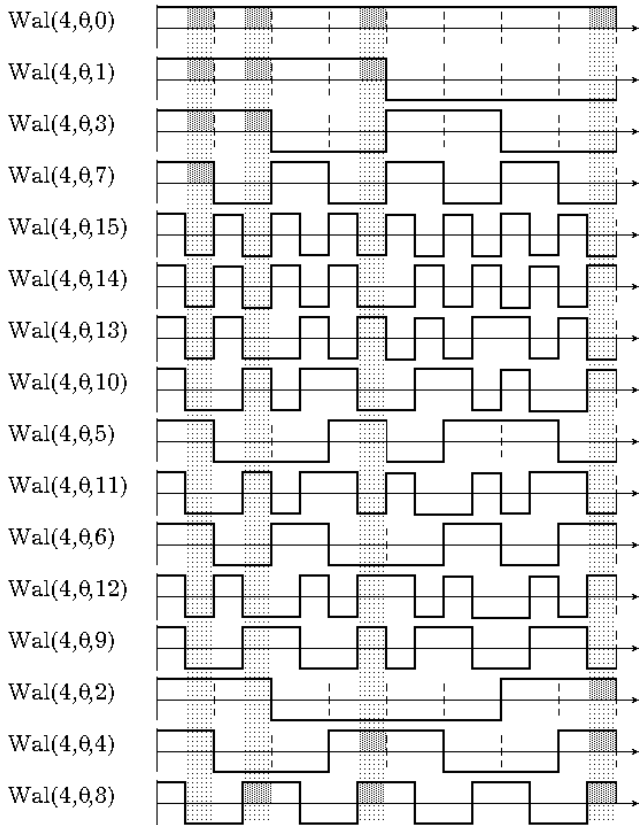
Рис. 2. Фазова взаємозалежність функцій Уолша

функціональну базисну надлишковість функцій Уолша, зумовлену тим, що інформаційна потужність базису становить $P = N^2$, де N - модуль перерахунку системи [11]. З метою переходу до більш ефективних базисних рекурсивних впорядкувань функцій (так званих Галуа), здійснимо кілька дискретних теоретико-числових перетворень.

IV. СИНТЕЗ СИСТЕМ ФУНКЦІЙ ІЗ РЕКУРСИВНИМ ВПОРЯДКУВАННЯМ

Аналогічно до впорядкувань функцій Уолша за відомими правилами Уолша, Пелі, Адамара [3-6], автором вперше вводиться рекурсивне впорядкування функцій Wal_i базису Уолша, що дозволяє синтезувати нові базисні впорядкування, на основі яких, в свою чергу, будуються системи функцій та системи рекурсивного кодування. З метою спрощення викладок, застосуємо спрощений метод позначень складових функцій в системах, як це зроблено в [4] із наскрізною нумерацією всіх складових Wal_i за вищим порядком (як на рис. 3), а не із визначенням кожної функції за її індивідуальною нумерацією як складових відповідних нижчих порядків $Wal(n, \theta, i)$ (як на рис. 1 і 2).

$$\begin{aligned}
Wal_{r,0} &= Wal_{w,0} = Rad0 = \text{sign}[\sin\pi] = Gry-1 = \text{sign}[\cos\pi/2] \\
Wal_{r,1} &= Wal_{w,1} = Rad1 = \text{sign}[\sin2\pi] = Gry0 = \text{sign}[\cos\pi] \\
Wal_{r,2} &= Wal_{w,3} = Rad2 = \text{sign}[\sin4\pi] \\
Wal_{r,3} &= Wal_{w,7} = Rad3 = \text{sign}[\sin8\pi] \\
Wal_{r,4} &= Wal_{w,15} = Rad4 = \text{sign}[\sin16\pi] \\
Wal_{r,5} &= Wal_{w,14} = Rad1 Rad4 = \text{sign}[\sin2\pi] \text{sign}[\sin16\pi] \\
Wal_{r,6} &= Wal_{w,13} = Rad1 Rad2 Rad4 = Gry1 Rad4 = \text{sign}[\cos2\pi] \text{sign}[\sin16\pi] \\
Wal_{r,7} &= Wal_{w,10} = Rad1 Rad2 Rad3 Rad4 = Gry1 Gry3 = \text{sign}[\cos2\pi] \text{sign}[\cos8\pi] \\
Wal_{r,8} &= Wal_{w,5} = Rad1 Rad2 Rad3 = \begin{cases} Rad1 Gry2 = \text{sign}[\sin2\pi] \text{sign}[\cos4\pi] \\ Gry1 Rad3 = \text{sign}[\cos2\pi] \text{sign}[\sin8\pi] \end{cases} \\
Wal_{r,9} &= Wal_{w,11} = Rad2 Rad3 Rad4 = \begin{cases} Rad2 Gry3 = \text{sign}[\sin4\pi] \text{sign}[\cos8\pi] \\ Gry2 Rad4 = \text{sign}[\cos4\pi] \text{sign}[\sin16\pi] \end{cases} \\
Wal_{r,10} &= Wal_{w,6} = Rad1 Rad3 = \text{sign}[\sin2\pi] \text{sign}[\sin8\pi] \\
Wal_{r,11} &= Wal_{w,12} = Rad2 Rad4 = \text{sign}[\sin4\pi] \text{sign}[\sin16\pi] \\
Wal_{r,12} &= Wal_{w,9} = Rad1 Rad3 Rad4 = Rad1 Gry3 = \text{sign}[\sin2\pi] \text{sign}[\cos8\pi] \\
Wal_{r,13} &= Wal_{w,2} = Rad1 Rad2 = Gry1 = \text{sign}[\cos2\pi] \\
Wal_{r,14} &= Wal_{w,4} = Rad2 Rad3 = Gry2 = \text{sign}[\cos4\pi] \\
Wal_{r,15} &= Wal_{w,8} = Rad3 Rad4 = Gry3 = \text{sign}[\cos8\pi]
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
Wal_{r,0} &= Wal_{w,0} \\
Wal_{r,1} &= Wal_{r,13} + \pi/2, \\
Wal_{r,13} &= Wal_{r,1} - \pi/2, \\
Wal_{r,2} &= Wal_{r,14} + \pi/4, \\
Wal_{r,14} &= Wal_{r,2} - \pi/4, \\
Wal_{r,8} &= Wal_{r,10} - \pi/2, \\
Wal_{r,10} &= Wal_{r,8} + \pi/2, \\
Wal_{r,3} &= Wal_{r,15} + \pi/8, \\
Wal_{r,15} &= Wal_{r,3} - \pi/8, \\
Wal_{r,12} &= Wal_{r,7} + \pi/2, \\
Wal_{r,7} &= Wal_{r,12} - \pi/2, \\
Wal_{r,9} &= Wal_{r,11} - \pi/4, \\
Wal_{r,11} &= Wal_{r,9} + \pi/4, \\
Wal_{r,6} &= Wal_{r,5} - \pi/2, \\
Wal_{r,5} &= Wal_{r,6} + \pi/2, \\
Wal_{r,4} &= Wal_{r,X} + \pi/16, \\
Wal_{r,X} &= Wal_{r,4} - \pi/16.
\end{aligned}$$

За необхідності базис функцій Уолша із рекурсивним впорядкуванням можна подати згідно його натурального упорядкування із визначеною фазовою залежністю із відповідними функціями:

$$\begin{aligned}
Wal_{r,0} &= Wal_{w,0} \\
Wal_{r,1} &= Wal_{r,13} + \pi/2, \\
Wal_{r,2} &= Wal_{r,14} + \pi/4, \\
Wal_{r,3} &= Wal_{r,15} + \pi/8, \\
Wal_{r,4} &= Wal_{r,X} + \pi/16, \\
Wal_{r,5} &= Wal_{r,6} + \pi/2, \\
Wal_{r,6} &= Wal_{r,5} - \pi/2, \\
Wal_{r,7} &= Wal_{r,12} - \pi/2,
\end{aligned}$$

Рис. 3. Базис рекурсивно впорядкованих функцій Уолша

Для прикладу функцій Уолша четвертого порядку (рис. 2) можна встановити наступну комплексну взаємозалежність фаз функцій Уолша в парах із рекурсивним упорядкуванням [9]:

$$\begin{aligned}
Wal_r8 &= Wal_r10 - \pi/2, \\
Wal_r9 &= Wal_r11 - \pi/4, \\
Wal_r10 &= Wal_r8 + \pi/2, \\
Wal_r11 &= Wal_r9 + \pi/4, \\
Wal_r12 &= Wal_r7 + \pi/2, \\
Wal_r13 &= Wal_r1 - \pi/2, \\
Wal_r14 &= Wal_r2 - \pi/4, \\
Wal_r15 &= Wal_r3 - \pi/8, \\
Wal_rX &= Wal_r4 - \pi/16.
\end{aligned}$$

Аналогічно, як для функцій Уолша, упорядкованих за Уолшем, у всякому довільному повному базисному наборі рекурсивно впорядкованих функцій Уолша для кожного із порядкових по n значень максимальний степінь дискретизації по часу або мінімальний крок θ становить $\Delta\theta_n = \pi/2^n$ із всіма значеннями $n\Delta\theta_n = n\pi/2^n$, а також із повним доповненням базису набором функцій молодших порядків i із відповідним дискретним заповненням $\Delta\theta_i = \pi/2^i$.

ВИСНОВКИ

Здійснено аналіз базису Уолша як системи дискретних функцій, що складається із базисів дискретно-гармонічних функцій Радемахера і Грея, а також системи дискретно-негармонічних функцій Уолша. Встановлено фазові взаємозалежності складових функцій Уолша між собою в парах. Визначено нову систему із рекурсивним впорядкуванням функцій в базисі Уолша, яка є основою побудови систем рекурсивно впорядкованих функцій та методів рекурсивного кодування, що обґрунтовує перспективу подальших досліджень. Встановлено також фазові взаємозалежності рекурсивно впорядкованих функцій в парах та згідно натурального їх впорядкування. Представлені результати досліджень є проміжним етапом дослідження властивостей та встановлення аналітичних

залежностей міжбазисних теоретико-числових перетворень та відповідних їм систем кодування повідомлень.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] L. B. Petryshyn Theory of digital data processing in the ICT. In monography Advances in ICT for Business, Industry and Public Sector. Springer International Publishing Switzerland. 2015. –pp. 157-170.
- [2] L. B. Petryshyn Theoretical foundation of digital signal processing. Information and Communication Technologies - International Conference (ICTIC 2013) 25–29.03.2013. Slovakia. – pp. 352-357.
- [3] J. A. Gumaer The discrete Walsh transform as an alternative to the discrete Fourier transform. University of Texas at Austin, 1990. - 210 c.
- [4] Л. А. Залманзон Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. - М.: Наука, 1989. - 496 с.
- [5] Б. И. Голубов, А. В. Ефимов, В. А. Скворцов Ряды и преобразования Уолша. Теория и применения. ЛКИ Москва, 2008, Изд.2, испр. и доп. 2008. - 352 с.
- [6] T. K. Moon Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms. Wiley, 2005. - 750 c.
- [7] L. B. Petryshyn Recursive error-corrected coding of number-impulse data sources in telecommunication systems. 2013 23th Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2013). Sevastopol, 2013, pp. - 547-548.
- [8] Л. Б. Петришин, М. Л. Петришин Синтез системы дискретных рекурсивных функций и свойства систем рекурсивного кодирования данных. Системы Обработки Информации. –Харків: ХУПС, 2013. – С. 46-51.
- [9] Л. Б. Петришин, М. Л. Петришин Теоретичні та методичні основи формування рекурсивних кодових послідовностей. // Системи Обробки Інформації. –Харків: ХУПС, 2014. – С. 12-19.
- [10] Л. Петришин Про фазову взаємозалежність і можливість редукції системи функцій Уолша. International Journal of Computing, 2013, Том 12, Випуск 2, ISSN 1727-6209, - С. 125-132. About phase interdependence and possibility of Walsh functions system reduction. – c. 125-132.
- [11] В. М. Муттер Основы помехоустойчивой телепередачи информации. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288 с.

Визначення розширеного поля Галуа $GF(d^m)$ з найменшою апаратною складністю помножувача

І.М. Жолубак

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин
Україна, Львів, вул. С. Бандери 12
IvanZholubak7@ukr.net

В. С. Глухов

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин
Україна, Львів, вул. С. Бандери 12
valeriygl@ukr.net

Definition of the extended Galois field $GF(d^m)$ with minimal hardware complexity multiplier

I. Zholubak

Lviv Polytechnic National University,
Computer Engineering Department
Ukraine, Lviv, S. Bandery street 12,
IvanZholubak7@ukr.net

V. Hlukhov

Lviv Polytechnic National University,
Computer Engineering Department
Ukraine, Lviv, S. Bandery street 12,
valeriygl@ukr.net

Анотація—У роботі для сучасних ПЛІС проведено порівняння апаратних витрат помножувачів елементів різних полів Галуа $GF(d^m)$ з приблизно однаковою кількістю елементів поля з метою визначення поля, у якому помножувач має найменшу апаратну складність. Показано глобальне зростання апаратних витрат при збільшенні основи поля. При цьому існують локальні мінімуми, яким серед непарних d відповідають $d=2^i-1$, а глобальному мінімуму - значення $d=7$.

Abstract—The paper compared the modern FPGA hardware cost to reduce hardware complexity implement multipliers for Galois field $GF(d^m)$ with approximately the same number of elements. Totally the hardware cost increases while basics of the field increase. Local minimums for odd d correspond to $d = 2^i - 1$ and the global minimum corresponds to the value $d = 7$.

Ключові слова—поля Галуа $GF(d^m)$, помножувач, модифікована комірка Гілда, LUT.

Keywords—Galois fields $GF(d^m)$, multiplier, modified Guild cell, LUT.

I. ВСТУП

У сучасних засобах захисту інформації широко використовуються поля Галуа $GF(2^n)$, опрацювання елементів таких полів [1, 2] характеризується високою апаратною, структурною та часовою складністю. Тому визначення можливості зменшення апаратної складності при використанні полів Галуа $GF(d^m)$ з основою $d > 2$ (d – просте число) та приблизно однаковою кількістю елементів ($d^m \approx 2^n$) є актуальною задачею.

Метою роботи є визначення поля, помножувач для якого буде мати найменшу апаратну складність.

II. РЕАЛІЗАЦІЯ НА ПЛІС

Операція множення в полях Галуа $GF(d^m)$, може бути реалізована на основі модифікованих комірок Гілда (КГ). Модифіковані КГ для полів Галуа $GF(d^m)$ повинні мати $3r$ входів та r виходів ($r = \lceil \log_2 m \rceil$) [3] (рис.1).

Для їхньої реалізації на сучасних ПЛІС треба використати 6-виходів елементи LUT у кількості $q_1 = (2^{3p-5} - 1) \cdot p$.

Якщо ж помножувач та суматор (рис. 1), які мають $2r$ входів та r виходів кожний) реалізовувати окремо, то для цього буде потрібно

$q_2 = 2 \cdot (2^{2p-5} - 1) \cdot p$ аналогічних LUT. Тоді:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{(2^{3p-5} - 1) \cdot p}{2 \cdot (2^{2p-5} - 1) \cdot p} \approx \frac{2^{3p-5}}{2 \cdot 2^{2p-5}} = 2^{p-1} = \frac{m}{2}.$$

Розглянемо апаратні витрати для реалізації комірок Гілда з двох складових – помножувача та суматора. Обчислення будемо проводити за формулами: коефіцієнт апаратних витрат $k_{mul} = k_g * k_k$, де

$$k_g = \frac{k_{gd}}{k_{g2}}, \quad k_k = \frac{k_{kd}}{k_{k2}} - \text{коефіцієнти складності та}$$

кількості КГ, k_{gd} та k_{g2} , k_{kd} та k_{k2} – кількість LUT у КГ та кількість КГ у помножувачі для полів Галуа $GF(d^m)$ та $GF(2^n)$, відповідно.

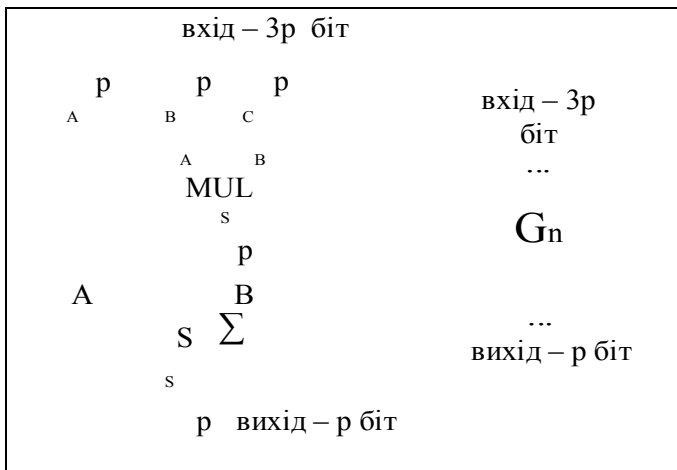


Рис. 1. Модифікована комірка Гілда для обробки елементів полів Галуа $GF(d^m)$

При формальному підході для двійкових полів Галуа $k_{g2} = 1$, для інших

$$k_{gd} = (2^{2^{\lceil \log_2 d \rceil - 5}} - 1) * \lceil \log_2 d \rceil * 2. \text{ Отже}$$

$k_g = (2^{2^{\lceil \log_2 d \rceil - 5}} - 1) * \lceil \log_2 d \rceil * 2$. У двійкових полях $GF(2^n)$ для реалізації помножувача потрібно $2n^2 - n$ модифікованих КГ, а в полях Галуа $GF(d^m)$ - $2m^2 - m$ КГ (та $m-1$ LUT для знаходження коефіцієнта, на який потрібно перемножити незвідний поліном для зведення результату). Отже $k_k \approx \frac{2m^2 - m}{2n^2 - n}$.

При цьому $d^m \approx 2^n$. Тоді для великих n

$$m \approx \log_d 2^n = \frac{n}{\log_2 d}, \quad k_k \approx \frac{\left(\frac{2n^2}{\log_2^2 d} - \frac{n}{\log_2 d}\right)}{2n^2 - n} \approx \log_2^{-2} d$$

$$k_{mul} \approx \frac{(2^{2^{\lceil \log_2 d \rceil - 5}} - 1) * \lceil \log_2 d \rceil * 2}{\log_2^2 d} \approx \frac{d^2}{16 \log_2 d}$$

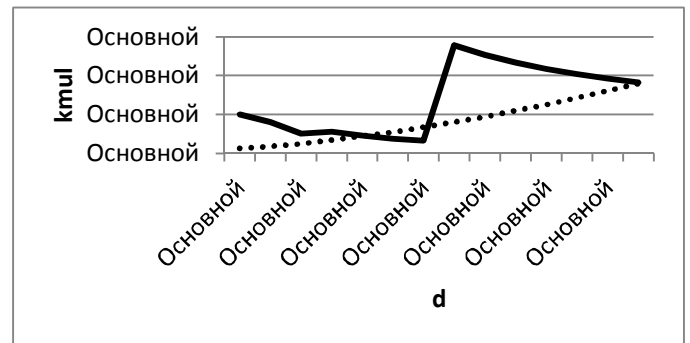
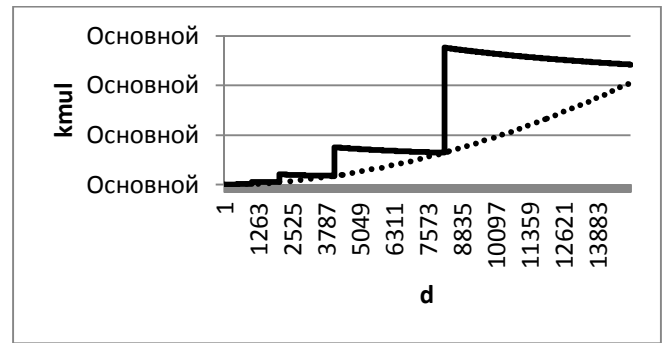


Рис. 2. Відношення апаратних витрат помножувачів елементів полів Галуа $GF(d^m)$ та $GF(2^n)$

Для малих n k_{mul} треба розраховувати за точними формулами.

Графік функції k_{mul} для $n=998$ наведено на рис. 2, де суцільною лінією позначено відношення апаратних витрат помножувачів елементів полів Галуа $GF(d^m)$ та $GF(2^n)$, а пунктирною – їх наближена оцінка.

Як видно з рис.2 найменші апаратні витрати будуть для полів Галуа $GF(7^m)$.

ВИСНОВКИ

В сучасних ПЛІС при реалізації побудованих на основі модифікованих комірок Гілда помножувачів елементів різних полів Галуа $GF(d^m)$ з приблизно однаковою кількістю елементів поля при збільшенні основи d апаратні витрати глобально збільшуються. На окремих локальних ділянках при збільшенні d апаратні витрати зменшуються. Локальним мінімумам серед непарних d відповідають $d=2^i-1$. При цьому глобальному мінімуму відповідає значення $d=7$.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Проективання комп'ютерних систем на основі мікросхем програмованої логіки : монографія / С. А. Іванець, Ю. О. Зубань, В. В. Казимир, В. В. Литвинов. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 313 с. – С. 17-20.
- [2] ДСТУ 4145-2002. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Цифровий підпис, що ґрунтується на еліптичних кривих. Формування та перевіряння. Київ. Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики. 2003. –С.40-50.
- [3] І. М. Жолубак, В. С. Глухов, А. Т. Костик Особливості обробки трійкових полів Галуа на сучасній елементній базі// Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2015. – Вип. 830. – С. 33-39.

Моделювання процесів ПФІ в позиційних адитивних системах числення на основі методу індикаторних моделей

М.Л. Петришин
кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
M.L.Petryshyn@gmail.com

Modeling of TIF processes in additive positional numeral systems based on the method of indicator model

M. Petryshyn
Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
M.L.Petryshyn@gmail.com

Анотація—Проаналізовано застосування методу моделювання процесів перетворення форми інформації на основі індикаторної моделі вимірювання, реалізовано алгоритми перетворення форми інформації в унітарній та двійковій адитивних позиційних системах числення

Abstract— The method application of processes modeling of information form transformation based on the indicator measurement model is analyzed. Implemented the algorithms transformation of information form in a unitary and binary additive positional numeral systems.

Ключові слова—перетворення форми інформації; адитивні системи числення; індикаторна модель

Keywords—transformation of information form, additive numeral system; indicator model

I. ВСТУП

Ефективність здійснення системної функції перетворення форми інформації (ПФІ) визначає затрати обчислювальної потужності інформаційної системи, часу перетворення інформації та коштів впровадження, виготовлення та експлуатації технічних засобів ПФІ [1]. Розробка методів та застосування моделювання процесів ПФІ дозволяє на етапі проектування проаналізувати та задати необхідні техніко-економічні характеристики засобів ПФІ. Аналіз методів математичного моделювання

та оптимальних алгоритмів ПФІ дозволив визначити актуальність досліджень у напрямку застосування методу на основі індикаторних моделей, що базується на геометричному моделюванні, тобто визначенні довжини відрізка, значення якої є еквівалентом параметру перетворення. Моделювання процесів ПФІ ґрунтується на здійсненні певних процедур порівняння. На практиці порівняння реалізується за допомогою компараторів, які дозволяють визначити співвідношення невідомої величини з деякою «еталонною величиною» або «мірою», чи «шкалою», сформованою з «системи одиниць вимірювання». Істота ПФІ зводиться до послідовних порівнянь невідомої величини з заданими значеннями «міри», що формуються на кожному ітераційному кроці процесу перетворення. За результатами ітераційних порівнянь формується кінцевий результат кількісної оцінки невідомої величини вхідного параметру.

II. ІНДИКАТОРНА МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАННЯ

Метод моделювання передбачає знаходження на відрізьку AB деякої точки X шляхом визначення довжини відрізьку AX за допомогою одного або k так званих індикаторних елементів (ІЕ), кожен із яких фактично виконує функцію компаратора. В результаті прикладення ІЕ на l -му ітераційному кроці до деякої точки X_j здійснюється порівняння відрізьків AX та AX_j , тобто контроль виконання умови більше (\geq) або менше ($<$). J -й

ІЕ по своєму виходу формує дискретне бінарне значення 0, якщо $AX < AX_j$, та значення 1, якщо $AX \geq AX_j$.

$$J = \begin{cases} 0, & AX < AX_j \\ 1, & AX \geq AX_j \end{cases}$$

Прийемо, якщо J -ий ІЕ знаходиться справа від точки X , то по його виходу формується 0, коли ж J -ий ІЕ знаходиться зліва, формується 1. Задача вимірювання довжини відрізка AX в індикаторній моделі зводиться до звуження інтервалу невизначеності відносно точки X [2].

III. АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ПФІ

В сучасній техніці ПФІ під ставовими є алгоритми адитивного оптимізованого пошуку на основі унітарного та двійкового числення.

A. Алгоритм на основі унітарного числення

Даний алгоритм використовує тільки один ІЕ ($k=1$) та реалізується за n ітераційних кроків, при цьому контроль довжини відрізка AB здійснюється одним ІЕ шляхом підрозбиття відрізка на $n+1$ рівних частин, та послідовного порівняння із мірою, при цьому $(n, 1)$ - точність алгоритму.

Проаналізуємо функціонування алгоритму в покроковому режимі (рис. 1).

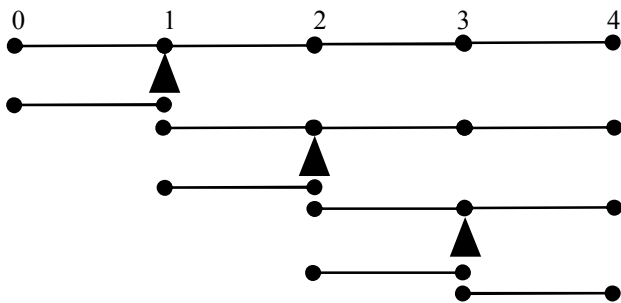


Рис. 1. 3-кроковий алгоритм на основі унітарного числення

Крок 1. ІЕ прикладається до точки 1. При цьому в залежності від стану, сформованого по виходу ІЕ, шукане значення може знаходитися в межах $[0, 1]$ або $[1, 4]$.

а) якщо ІЕ в точці 1 формує 0, це означає, що шукана точка X знаходиться на відрізку $[0, 1]$, в цій ситуації процес пошуку завершується;

б) якщо ІЕ формує 1, це означає, що точка X знаходиться на відрізку $[1, 4]$;

Крок 2. ІЕ прикладається до точки 2, в результаті чого здійснюється порівняння пункту прикладення та визначення стану ІЕ в межах $[1, 2]$ або $[2, 4]$;

а) якщо ІЕ в точці 2 формує 0, це означає що шукана точка X знаходиться на відрізку $[1, 2]$, при цьому процес пошуку завершується;

б) якщо ІЕ формує 1, це означає що точка X знаходиться на відрізку $[2, 4]$;

Крок 3. ІЕ прикладається до точки 3, здійснюється порівняння та визначення вихідного стану ІЕ в межах $[2, 3]$ або $[3, 4]$;

а) якщо ІЕ в точці 3 формує 0, це означає що шукана точка X знаходиться на відрізку $[2, 3]$, при цьому процес пошуку завершується;

б) якщо ІЕ формує 1, це означає що точка X знаходиться на відрізку $[3, 4]$;

Алгоритм завершує роботу.

Таким чином, алгоритми ПФІ на основі унітарного числення є лінійними, що зумовлює відносну простоту їх реалізації, проте кількість ітерацій перетворення є досить значною і визначається повною розрядністю унітарного коду перетворення, що відповідає кількості квантів діапазону перетворення та визначає точність ПФІ.

Зменшити кількість ітераційних кроків порівняння дозволяє застосування зважених, зокрема двійково, мір шкали віднесення.

B. Алгоритм на основі двійкового числення

Алгоритми адитивного пошуку на прикладі двійкового числення зводяться до двох способів перетворення повідомлень. Згідно першого пошук здійснюється шляхом порівняння невідомого значення із двійково зваженими мірами шляхом порівняння від наймолодшого із значень 2^0 до старшого 2^{n-1} . Згідно другого порівняння здійснюється від найстаршого значення 2^{n-1} до молодшого 2^0 .

Як показує практика ПФІ, більш ефективним є алгоритм ітераційного порівняння шляхом прикладання двійкових значень в порядку від старших 2^{n-1} до молодших 2^0 , який знайшов широке застосування в практиці аналого-цифрового перетворення повідомлень [3]. Для прикладу прийемо значення розрядності двійкового коду перетворення $n=3$ для діапазону $k \in \{0, 1, \dots, 7\}$ і проаналізуємо графічний та аналітичний алгоритми (рис. 2).

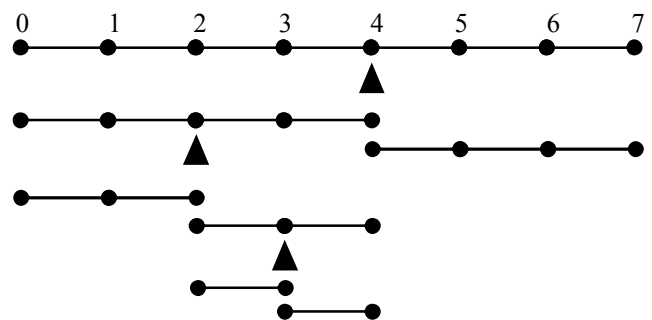


Рис. 2. 3-кроковий алгоритм на основі двійкового числення

Крок 1.

ІЕ прикладається до точки-еквівалента найстаршого двійкового розряду 2^{n-1} , а саме до точки 4, після виконання операції порівняння по станах виходу ІЕ визначаємо:

а) 0 по виходу 4-го ІЕ означає, що шукане значення знаходиться на відрізку $[0, 4]$;

б) 1 по виходу 4-го ІЕ означає, що шукане значення знаходиться на відрізку [4, 7];

Крок 2. Оскільки відбулось альтернативне розгалуження, проаналізуємо подальший перетік порівнянь для двох віток на відрізках [0, 4] та [4, 7].

Якщо на 1 кроку ІЕ сформував по виходу 0, на другому кроку ІЕ прикладається до точки 2, в результаті чого:

а) 0 по виходу 2-го ІЕ означає, що шукане значення знаходиться на відрізку [0, 2];

б) 1 по виходу 2-го ІЕ означає, що шукане значення знаходиться на відрізку [2, 4];

Якщо на 1 кроку ІЕ сформував по виходу 1, на другому кроку ІЕ прикладається до точки 6, в результаті чого:

в) 0 по виходу 6-го ІЕ означає, що шукане значення знаходиться на відрізку [4, 6];

г) 1 по виходу 6-го ІЕ означає, що шукане значення знаходиться на відрізку [6, 7];

Крок 3. Можливим є наступне дворазове галуження, в результаті чого здійснюється порівняння в ІЕ 1, 3, 5, 7

Для спрощення викладок закладемо, що невідоме значення може знаходитись на відрізках [2, 3] чи [3, 4]. Тому із чотирьох попередніх альтернатив контролю 1, 3, 5, 7-ї ІЕ у нас залишається єдиний шлях прикладення до точки 3, в результаті чого можливо:

а) 0 по виходу 3-го ІЕ означає, що невідоме значення знаходиться на відрізку [2, 3];

б) 1 по виходу 3-го ІЕ означає, що невідоме значення знаходиться на відрізку [3, 4].

Так на третьому $n=3$ ітераційному кроці завершується процес визначення невідомого значення.

Таким чином, двійкові методи ПФІ володіють швидшою сходимістю при отриманні результату перетворення, кількість ітераційних кроків визначається еквівалентною розрядністю двійкового коду представлення результату та визначає точність ПФІ. Проте практична імплементація алгоритму є складніша, оскільки потребує визначення та обробку віток двійкового галуження векторів отримання коду перетворення.

ВИСНОВКИ

Індикаторна модель є зручною для здійснення моделювання процесів ПФІ. Таким чином, згідно з наведених алгоритмів ПФІ показано, що алгоритм на основі двійкового числення за однаково кількість кроків здійснює пошук невідомого значення на більшому проміжку, аніж алгоритм на основі унітарного числення.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В. А. Багацкий и др. Преобразователи формы информации. // Современное состояние и перспективы развития. Компьютерні засоби, мережі та системи. 2003, №2, – С. 40-46.
- [2] А. Стахов Коды золотой пропорции. – МосНаучИзд, 1984, - 187 с.
- [3] Л. Б. Петришин, М. Л. Петришин Моделирование процедур ПФІ на прикладі зрівноважування мас. Матеріали 21-ї міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика / Automatics – 2014». – С 238-239.

Статистичне дослідження генераторів випадкових чисел

М.В. Семаньків

кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
dlyamarii@gmail.com

The statistical study of random number generators

M. Semankiv

Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
dlyamarii@gmail.com

Анотація—Проведено аналіз існуючих пакетів статистичних досліджень, визначено їх переваги та недоліки. Подано результати дослідження послідовності псевдовипадкових чисел, яка сформована методом Галуа на основі циклічних зсувів, проведеного за допомогою пакету RaBiGeTe.

Abstract—Analysis of existing packages statistical studies are done, their advantages and disadvantages are listed. Results of research on the package RaBiGeTe sequence of random numbers, which is formed by Galois through cyclic shifts, are submitted.

Ключові слова—генератор випадкових чисел, RaBiGeTe

Keywords—random number generator, RaBiGeTe

I. ВСТУП

Для реалізації методу аналого-цифрового перетворення Монте-Карло необхідно застосовувати генератори випадкових значень опорних сигналів, перед якими ставляться вимоги простоти реалізації та забезпечення рівномірності розподілу генерованих чисел. Саме рівномірність розподілів впливає на точність перетворення для даного методу аналого-цифрового перетворення. На основі аналізу складності технічної реалізації методів псевдовипадкового генерування як один із ефективних запропоновано метод на базі використання незвідних поліномів над полем Галуа [1]. Запропонований спосіб генерування псевдовипадкових чисел Галуа на основі циклічних зсувів легко реалізується програмно і апаратно. Постало питання визначення статистичних характеристик за допомогою потужного пакету

статистичних досліджень, що дозволив би оцінити якість розподілу генерованих вказаним методом послідовностей псевдовипадкових чисел.

II. АНАЛІЗ ПРОГРАМ ДЛЯ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ

На сьогоднішній день запропоновано безліч методів тестування псевдовипадкових послідовностей. Умовно всі методи тестування генераторів випадкових чисел можна розділити на три групи: евристичні, графічні і статистичні [2]. До евристичних тестів належать: перевірка швидкості формування чисел, перевірка періоду, тест на точність визначення деяких констант методом Монте-Карло, перевірка на криптостійкість. Графічні тести (автокореляційна функція, спектральний тест, рівномірність розподілу чисел і ін.) відображають результати у вигляді гістограм і графіків, що характеризують властивості досліджуваної послідовності, але не дають кількісної оцінки. Для встановлення чисельної оцінки якості послідовностей використовують статистичні тести. Статистичні тести за звичай об'єднуються в пакети тестування (серед них можна виділити тести DIEHARD, NIST STS, PractRand, testu01, RaBiGeTe та ін.) [3].

Серед відомих слід відзначити тести Д.Кнута, для яких характерні швидкі алгоритми виконання але невизначеність у трактуванні результатів, зокрема відсутня програмна реалізація. Тести DIEHARD є найбільш строгими з відомих, проте для них нема детального опису тестів і методики трактування їх результатів, крім того більшість тестів є евристичними. Великої популярності

набув пакет статичних тестів NIST STS, проте він має незручний для використання інтерфейс. При використанні програм PractRand і testu01 найлегше за все інтерпретувати висновок. PractRand і Dieharder, як правило, найпростіші для автоматизації тестування за допомогою інтерфейсу командного рядка. PractRand і RaBiGeTe були єдиними, що здійснюють підтримку багатопотокового тестування. RaBiGeTe і NIST STS обидва мають наочні інтерфейси.

RaBiGeTe враховуючи недоліки попередніх пакетів статистичних досліджень включила в себе основні тести вказаних пакетів [4]. Програма включає 24 тести, в склад яких потрапили вибрані тести пакетів NIST DFT, Diehard, тести Д.Кнута, Маурера та додаткові статистичні тести. Користувач надає двійковий файл з генерованими числами та змінює параметри тестування в залежності від потреб. RaBiGeTe має зручний інтерфейс та надає можливості налаштування параметрів тестування, отримані результати подаються у числовому та графічному вигляді. Зазначені переваги стали причиною вибору даного програмного продукту для статичного аналізу послідовностей псевдовипадкових чисел, що утворені методом Гаула на основі циклічних зсувів.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ГАЛУА

Програма RaBiGeTe містить шість закладок: Parameters (Параметри тестів), Table (Таблиця), Pearson (Пірсон), Graph (Графік), Messages (Повідомлення), Preferences (Налаштування).

- Параметри сторінки: здійснення налаштування випробувань, а саме включення тестів, зміна параметрів тестування, довжини послідовності, кількості послідовностей для тестування і т.д.
- Таблиця: показує хід виконання тесту і відображення числових результатів ("KS" – тест Колмогорова-Смірнова, "AD" – Андерсона-Дарлінга і "Bino" – біноміальний тест. pvals: кількість дійсних р-значень. pv min: найменше р-значення в рядку. pv max: найбільше р-значення в рядку).

Test	pvals	KS	AD	Bino	pv min	pv max	1	2	3	4
KS	355	0.5911	0.9420							
AD	355	0.5877	0.8678							
Bino	355	0.9927	0.9969							
1 AMLS 2	50	0.1078	0.0105	0.0125	0.0021	0.9861	0.9770	0.0811	0.9698	0.3861
2 AMLS 4	50	0.0455	0.1227	0.6638	0.0219	0.9979	0.4434	0.1059	0.7661	0.7146
3 AMLS 8	50	0.2985	0.2029	0.8441	9e-004	0.9083	0.2820	0.2212	0.6482	0.9083
4 AMLS 16	50	0.3390	0.3472	0.8599	0.0089	0.9909	0.7429	0.8235	0.1530	0.1686
5 AMLS 32	50	0.8384	0.6531	0.8922	0.0409	0.9467	0.2319	0.8060	0.9290	0.4923
6 AMLS 64	50	0.5227	0.7056	0.9927	0.0277	0.9917	0.5161	0.6557	0.4682	0.6053
7 AMLS 128	50	0.8882	0.8755	0.9995	0.0074	0.9706	0.0249	0.2462	0.4910	0.8908
8 BGdst 2	50	0.1423	0.0859	0.3155	0.0024	0.9960	0.7139	0.0050	0.1947	0.0024
9 BGdst 4	50	0.4030	0.3672	0.6295	0.0805	0.9912	0.1993	0.7765	0.4544	0.3010
10 BGdst 6	50	0.7139	0.7362	0.9883	0.0047	0.9988	0.2143	0.3637	0.5661	0.8243

Рис. 1. Результат проходження тестів для методу Гаула на основі циклічних зсувів

- Пірсон: дані р-значень тесту Пірсона χ^2 -квадрат.
- Графік: подання на графіку розподілу упорядкованих р-значень, отриманих з кожного тесту; є дві точки (для KS і для AD) для результатів тестів з сторінки "Таблиця" і "Пірсон". Для якісного генератора випадкових чисел точки не повинні бути

занадто далеко від чорної «ідеальної» лінії, тобто наблизатись до неї. «Числова відстань» від ідеальної лінії наведена в лівій частині сторінки, де у таблиці подано р-значення для деяких статистичних тестів.

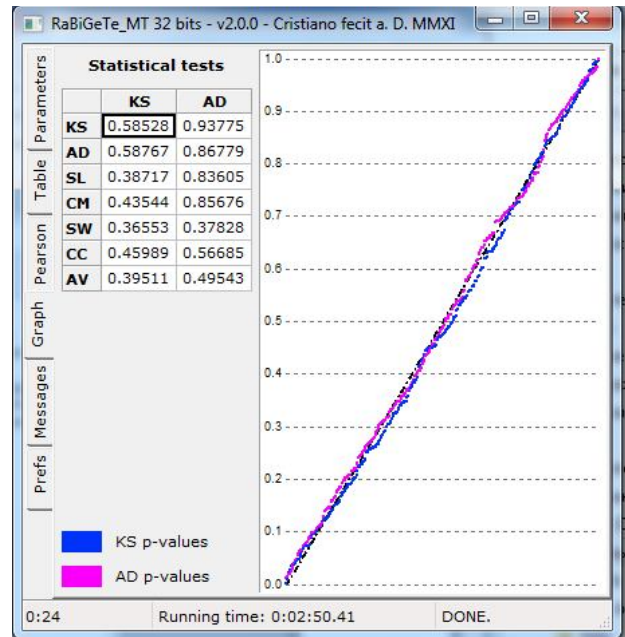


Рис. 2. Розподіл р-значень для методу Гаула на основі циклічних зсувів

- Повідомлення: відображення будь-якого виду повідомлення (інформація про попередження і помилки).
- Налаштування: основні параметрів вибору тестів та порядку відображення результатів тестування.

ВИСНОВКИ

Як показують наведені на рис. 1 та рис. 2. результати, запропонований метод на основі циклічних зсувів дозволяє отримати послідовності псевдовипадкових чисел з досить високою статистичною якістю розподілу р-значень за результатами тестування RaBiGeTe і може бути використаний для побудови генератора псевдовипадкових чисел складі аналого-цифрового перетворювача Монте-Карло. Простота реалізації, низька вартість виготовлення та отриманні результати статичного дослідження визначають перспективу використання запропонованого генератора випадкових чисел для методу Монте-Карло.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Л.Б. Петришин, Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації, К.: ІЗІМН МОУ, 1997.
- [2] М.А. Иванов, И.В. Чугунков, Теория, применение и оценка качества генераторов, М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003.
- [3] М.В. Лаврів, Методи і засоби генерування псевдовипадкових сигналів із рівномірним розподілом та аналіз результатів дослідження їх статистичних характеристик / М.В. Лаврів, Л.Б. Петришин // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – №2 (15). – С. 56-62
- [4] http://cristianopi.altervista.org/RaBiGeTe_MT/

Some aspects of program implementation pseudorandom sequence generators

O. Geiko

Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
ifgo69@gmail.com

S. Dolinowska

Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
sdolinowska@gmail.com

Деякі аспекти програмної реалізації генераторів псевдовипадкових послідовностей

О. Гейко

кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
ifgo69@gmail.com

С. Долиновська

кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
sdolinowska@gmail.com

Abstract — This article considers some aspects of the software implementation of pseudorandom generators, for example generator according to the scheme on the Galois shift registers with linear feedback, with using high-level programming languages, high-level languages with low level of abstraction and language of Assembler. It is proved the efficiency of the software generation of pseudorandom sequences of maximum length, which is based on the algorithms by using the following commands manipulate bits.

Анотація — В статті розглянуто деякі аспекти програмної реалізації генераторів псевдовипадкових послідовностей, на прикладі генератора за схемою Галуа на регістрах зсуву з лінійними зворотними зв'язками, з використанням мов програмування високого рівня, мов високого рівня з низьким рівнем абстракції і мови Assembler. Доведено ефективність програмного забезпечення генерування псевдовипадкових послідовностей максимальної довжини, яке базується на алгоритмах з використанням команд маніпулювання бітами.

Keywords—pseudorandom number generator; maximum length sequence; a Galois field; algorithm; Assembler.

Ключові слова—генератор псевдовипадкових чисел; М-послідовність; поле Галуа; алгоритм; Асемблер.

I. INTRODUCTION

The pseudorandom number generators are widely used in different areas of scientific and practical activities, simulation

modeling, methods of statistical testing, probabilistic testing, and applied cryptography.

One of the ways of obtaining random numbers is the use of mathematical transformations which allow to obtain a numeric sequence, which by their characteristics is close to real random processes.

There are a number of methods for constructing pseudorandom number generators [1-2]. Mainly focuses on hardware implementation of digital elements, although many of the software modules is the need to generate pseudorandom numbers it programmatically.

The aim of the report is the analysis of the algorithmic features of generating pseudo-random sequences over a Galois field $GF(2)$ by means of programming languages high-level programming language of high level with low abstraction level and the Assembler language.

II. DESCRIPTION OF BASIC MATERIAL

Pseudorandom number generators are widely used in various areas of scientific and practical activities, such as simulation, methods of statistical tests, probability testing and applied cryptography.

Mathematical transformations are one of the ways to generate random numbers. This method provides a numerical sequence with characteristics similar to real random processes.

There are several methods for constructing pseudorandom number generator (PRG). Basically it is a hardware implementation based on digital elements, which allows to provide high speed characteristics of the generator, although many software modules needs to generate pseudorandom sequences using software methods. Algorithmic generator component implementation is given insufficient attention.

The purpose of the report is the analysis of algorithmic software features to generate pseudorandom sequence over a Galois field GF (2) by high-level languages, high-level programming language with low level of abstraction and Assembler language.

A key problem in implementing generators pseudorandom binary sequences is the problem of the formation of pseudorandom sequence (PRS) maximum length $L=2^n-1$ with acceptable statistical characteristics.

One of the main ways to implement the generators PRS is the use of linear shift registers (LSR) a maximum period of linear feedback.

This way, under certain conditions, provides a pseudo-random binary M-sequences or maximum length sequences (MLS).

When using transformations over Galois fields GF (p^n) for M-sequence must fulfill certain conditions [3]:

- p - prime number.
- All initial values are not necessarily equal to 0.
- Generating polynomial is irreducible (not decomposed into multipliers lower degree).
- Generating polynomial is primitive (minimal polynomial of a primitive element of the field GF (p^m) for a positive integer m).

The figure shows the block diagram of the PRG configuration over Galois primitive polynomial linear feedback is formed based on a irreducible primitive polynomial $f_{32} = x^{32} + x^{22} + x^2 + x + 1$ [4]:



Fig. 1. Block diagram PRG

Galois generator compares each nonzero element of the field GF (2^{32}) corresponding degree primitive element $W = | 1; 0 |$, modulo $f_{32} = x^{32} + x^{22} + x^2 + x + 1$.

Depending on the outcome of the command and the installation ROL and value CF, bats reverse connection will be formed according to the following table (operation XOR):

TABLE I. CONVERTING BITS BASED ON THE CARRY FLAG

CF	Previous bit	Runny bits	Action
1	0	1	Inversion p.bits
1	1	0	Inversion p.bits
0	0	0	Duplication p.bits
0	1	1	Duplication p.bits

To generate PRS effective methods are [5-6]:

1. Using bit instruction.
2. Using bit mask.
3. Using bits field.

1. Use the bit instruction

With the implementation of this oscillator manner appropriate to have used the shift command and groups intended for inspection or installation of specific bits register using Carry Flag processor architecture IA-32. So for a status register 20 bit and 21 bit setting (for the circuit shown in Figure 1), you can use the following command sequence (MASM32):

```
NextCode proc ;START CONVERSION
    ROL EAX,1 ; Rotate left EAX trough carry
    .IF CARRY?; Test carry flag (CF) == 1 ?
        BT EAX, 20; Insert bit №20 EAX in CF
        .IF CARRY? ; CF == 1
            BTR EAX, 21 ; reset bit №21 EAX 0
        .else
            BTS EAX, 21 ; set bit №21 EAX 1
        .endif
    ...
    .else ; CF == 0
    ...
        BT EAX, 20 ;Insert bit №20 EAX in CF
        .IF CARRY? ; CF == 1
            BTS EAX, 21 ; set bit №21 EAX 1
        .else
            BTR EAX, 21 ;reset bit №21 EAX 0
        .endif
NextCode endp
```

2. Using bits field

High level languages allow you to use structures that represent a specified number of bits is "bit field". The bit field is interpreted as an integer type.

```
struct BitSet {
    unsigned short m00 : 1;
    unsigned short m01 : 1;
    ...
    unsigned short m30 : 1;
    unsigned short m31 : 1;
};
```

This arrangement allows you to get easy access to single bits by performing the necessary manipulations with them, but characterized redundancy command processor to check individual fields.

To perform shift operations is advisable to create the type of union bit field and a variable of type integer (C language):

```
union mKode {
    unsigned int kode;
    BitSet mGalua;
};
```

Then shift operation and establishing certain bit may be represented by the following code:

```
if (t.mGalua.m31==1)CF=true; //check bits №31
t.kode=t.kode << 1; //shift left by 1 bit
if (CF) {
    if (t.mGalua.m20 == 1) //check bits №20
    t.mGalua.m21 = 0; //reset bits №21
    else t.mGalua.m21 = 1; //set bits №21
else {
    if (t.mGalua.m20 == 1) //check bits №20
    t.mGalua.m21 = 1; //set bits №21
    else t.mGalua.m21 = 0; //reset bits №21
...}
```

3. Using bit mask

The bulk of the high-level languages, can perform bitwise operations on operands that are the basis for the program PRG.

Checking and setting specific bit can be performed using bit-wise operations.

For example, the block diagram in Figure 1:

```
check bit №20 - mask 0x00100000, and the operation "logical AND";
setting bit №21 - mask 0x00200000 and operation "logical OR";
reset bit №21 - mask 0xFFDFFFFF and operation "logical AND".
```

Using masks for bitwise operations in the bit field for program PRG, may presented as code (C#):

```
bool CF = false;
if ((t&0x80000000)>0)CF=true; //check bits №31
t = t << 1;
if (CF){
    ...
    if((t & 0x00100000) > 0) //check bits №20
    t &= 0xFFDFFFFF; //reset bits №21
    else t |= 0x00200000; //set bits №21
    ...
else {
    ...
    if((t&0x00100000) == 0) // check bits №20
    t &= 0xFFDFFFFF; //reset bits №21
    else t |= 0x00200000; //set bits №21
    ...
}
```

III. TEST CONDITIONS

Software implementation of the PRG of the field GF (2³²) based on a primitive irreducible polynomial $f(x) = x^{32} + x^{22} + x^2 + x + 1$ and length 2³¹

Software:

- OS – Windows 10 Home x32
- bits instruction: MASM32
- bits mask: Visual C# Express 2015
- bits field: Visual C++ Express 2015

Hardware

- Intel® Core™ i5-4200U (up to 2.60 GHz) 4GB DDR3
- AMD Phenom II X4 955 Black Edition 3.2GHz, RAM 4GB DDR2

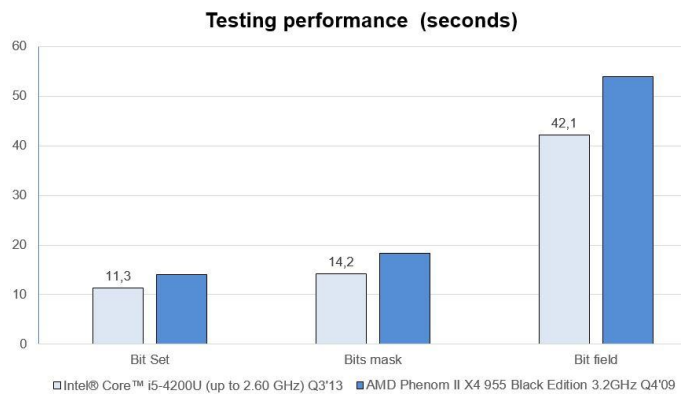


Fig. 2. Testing performance (seconds)

CONCLUSION

Thus, studies have found that program implementation to generate the PRS over a Galois field GF (2) offer a number of ways that include algorithmic complexity and speed implementation.

Using bit instruction, available in the language Assembler have the highest performance, though inferior to hardware implementation and are complex algorithmic solution.

Using bit mask available in almost all programming languages are characterized by simplicity and algorithmic implementation is their best solution, providing sufficient performance.

Using bits field in high-level languages with a low level of abstraction can significantly simplify the algorithmic complexity, but do not provide sufficient performance generation.

It should be mentioned that speed software implementation significantly depends on the CPU architecture, speed RAM.

REFERENCES

- [1] Л.Б. Петришин, Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації, К.: ІЗМН МОУ, 1997.
- [2] В. М. Кузнецов Генераторы случайных и псевдослучайных последовательностей на цифровых элементах задержки (основы теории и методы построения): дис. ... докт. техн. наук: 05.13.05 : защищена 28.01.2012. / Кузнецов, Валерий Михайлович; Казань, 2011.- 347 с.
- [3] Donald E. Knuth. Art of Computer Programming, Volume 2: Seminumerical Algorithms. (3rd Edition). Addison-Wesley. Professional; 3 edition, 1997.- 784 p.
- [4] А. Я. Белецкий Примитивные матрицы и генераторы псевдослучайных последовательностей Галуа // Белецкий.А.Я., Белецкий.Е.А. // Информационные технологии в образовании. - 2014. - № 18. – С. 14-29.
- [5] Schneier, Bruce. Applied Cryptography, Second Edition: Protocols, Algorithms, and Source Code in C (cloth) (Publisher: John Wiley & Sons, Inc. 816 p.
- [6] Н. Ф. Казакова Программная реализация универсального статистического теста Маурера для анализа псевдослучайных последовательностей / Н. Ф. Казакова, Ю. В. Щербина // Информационная безопасность. - 2011. - №7(161). – С. 289-296.

СЕКЦІЯ 4.

Цифрова обробка та ущільнення інформації

An Automatic Face Detection and Gender Classification

Piotr Milczarski

Faculty of Physics and Applied Informatics
University of Lodz
Pomorska str. 149/153, Lodz, Poland
piotr.milczarski@uni.lodz.pl

Zofia Stawska

Faculty of Physics and Applied Informatics
University of Lodz
Pomorska str. 149/153, Lodz, Poland
zofia.stawska@uni.lodz.pl

Abstract— Face detection is one of the most important issues in the identification and authentication systems that use biometric features. In this paper we present algorithms for detecting skin color. The selection and implementation of an algorithm for automated authentication system and face detection can significantly improve the effectiveness of such a system. The second groups of algorithms are the ones responsible for the gender classification. Because of their complexity they are not suitable for nowadays mobile devices but can be used in systems working on more demanding machines. The selection and implementation of algorithms have accuracy about 80-90%. We show the advantages and disadvantages of that methods and future challenges to the researches.

Keywords—face identification, authentication, biometrics, skin color, gender classification.

I. INTRODUCTION

In the soft biometrics face recognition and authentication is still very important problem. Some of the examined features are gender and skin color.

There are many gender classifications approaches and methods. They can be divided in feature-based and appearance-based methods [1]. They use different approaches but they usually are trimmed on the same database. When they are compared on the same FERRET database they show around 90% accuracy or even 99%. When the database is different than the one used by the authors of the gender classification method, then the methods' accuracy drops to 60-70%.

Authentication and identification systems are increasingly. Nowadays, more and more popular become NFC transactions and mobile payments. We want to protect our resources against unauthorized access. The commonly used authentication method using login and password appear to be insufficient and too easy. They are also exposed to a high risk of attack. There is therefore a need to develop alternative methods, which seem most promising biometric methods using individual human characteristics. Biometric methods can use a variety of physical characteristics such as fingerprints, hand geometry, ear and facial geometry, iris of the eye [3][7]. Among these features face as our individual identifier seems to be the most interesting and gives new features research [4][5][6].

Face area is now one of the most interesting elements of the image to the research on its location in the image, the appointment of facial symmetry, finding the significant

points [7], searching for similarities between several images and compared the skin color detection. Locating faces in the image using its search algorithms need to be able to work on the details and provides a basis for further research in the diagnosis of skin color [3].

The paper is organized as follows. In Sec. II effectiveness of the skin color recognition and classification methods are presented. In the next Section we analyze gender classification methods. Finally, Sec. IV concludes the paper.

II. SKIN COLOR RECOGNITION METHODS

The skin color recognition methods are divided into several different groups. Several approaches propose to use color space transformation [8]. Explicit threshold-based skin cluster classifiers are the simplest and often applied methods to classify skin and non-skin pixels. These methods explicitly define the boundaries of the skin cluster in certain color spaces [9].

TABLE I. EFFECTIVENESS OF RECOGNITION METHODS OF SKIN AND NON-SKIN COLOURS [11]

Method / classifier	CDR (%)	FDR (%)	CR (%)
Traditional RGB method	81.27	23.71	77.04
Distance Map (DM)	89.97	9.27	90.61
Bayesian classifier [12][13]	83.92	10.92	88.30
Multilayer perceptron classifier [14]	83.33	11.54	87.69
Color consistency with implementing neural networks[15]	85.60	10.68	88.76
Segment- and edge-based refinements of Bayesian classifier [16]	82.62	10.44	88.44
Principal feature analysis, PFA and Markov random field, MRF based methods [17]	83.93	10.87	88.35

Analyzing the effectiveness of the method one of the methods has almost 90% accuracy in finding correct skin region. In TABLE I. there are shown: (a) correct detection rate (CDR)—percentage of skin pixels correctly classified, (b) false detection rate (FDR)—percentage of non-skin pixels

incorrectly classified as skin pixels, and (c) overall classification rate (CR)—percentage of pixels correctly classified [7][11][11]. In assessing effectiveness used, there was used Compaq database of the skin and non-skin images [12][13]. It includes an appropriate number of images of containing the skin regions (4000) and non-skin images (5500). All the data obtained in TABLE I. are the average values based on simulation 500 test images. As it was mentioned above the best method is method using distance map (DM). As we show in the case of gender recognition methods it can connected with the database properties.

III. GENDER CLASSIFICATION METHODS

In the TABLE II. There are shown the results of different gender recognition methods based on FERET database and a database having pictures from Web in similar format as first one. Both consist of images with and without hair. The results of correct classification CR varies from 57% to 92% with advantage of FERET database.

TABLE II. GENDER CLASSIFICATION METHODS CLASSIFICATION RATE WITH HAIR (CRH+) AND WITHOUT HAIR (CRH-)[1]

Method	FERET images		Web images	
	CRH+ (%)	CRH- (%)	CRH- (%)	CRH+ (%)
Neural network	92.22	90	65.95	61.29
SVM	88.89	82	66.48	57.41
Threshold Adaboost	86.67	90	66.29	66.75
LUT Adaboost	88.89	93.33	66.19	64.81
Mean Adaboost	88.33	90	66.14	67.02
LBP + SVM	80.56	92	67.25	66.54

Apart from the results shown above the best results were reported by Zheng et al. For FERET database they obtained 99,1% and for CAS-PEAL database even better result – 99,8%, but the authors were selected only frontal face images from the datasets. For the images taken in uncontrolled environment the results are a little worst The best result in this case was 94,8% obtained by Shan et al. using LFW dataset.

CONCLUSIONS

It can be concluded that: (1) that the most promising results can be obtained from the methods using the distance map, DM; (2) methods and programs are trimmed into FERET DB; (3) it is worth checking which set of method can make the CR the highest; (4) in case of authentication or identification systems the reliability of the result is so important that we should strive to use algorithms that give the highest accuracy, even at the expense of the significant increase in computational complexity.

REFERENCES

[1] E. Mäkinen and R. Raisamo, “An experimental comparison of gender classification methods” *Pattern Recognition Letters* vol. 29, pp. 1544–1556, 2008.

[2] P.J. Phillips, Moon H., S.A. Rizvi, and P.J. Rauss, “The FERET evaluation methodology for face-recognition algorithms,” *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 22, no. 10, pp. 1090-1104, 2000.

[3] P. Milczarski, L. Kompanets, and D. Kurach, “ An Approach to Brain Thinker Type Recognition Based on Facial Asymmetry,” *LNAI 6113*, pp. 643-650, 2010.

[4] J. L. Crowley, J. Coutaz, “Vision for Man Machine Interaction, Robotics and Autonomous Systems”, Vol. 19, pp. 347-358, 1997.

[5] D. Cahi, K. N. Ngan, “Face Segmentation Using Skin-Colour Map in Videophone plications,” *IEEE Transaction on Circuit and Systems for Video Technology*, Vol. 9, pp. 551-564, 1999.

[6] R. Kjeldsen and J. Kender, “Finding Skin in Colour Images,” *Proceedings of the Second International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 312-317, 1996.

[7] P. Milczarski, “A New Method for Face Identification and Determining Facial Asymmetry,” In: Katarzyniak R., Chiu T.F., Hong C.F., Nguyen N.T. (Eds.), *Studies in Computational Intelligence: Semantic Methods for Knowledge Management and Communication*, Springer,Berlin, 2010.

[8] J. L. Crowley and F. Berard, “Multi-modal tracking of faces for video communications,” in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97)*, pp. 640–645, San Juan, Puerto Rico, USA, June 1997.

[9] J. Kovac, P. Peer, and F. Solina, “2D versus 3D colour space face detection,” in *Proceedings of the 4th EURASIP Conference on Video/Image Processing and Multimedia Communications*, vol. 2, pp. 449–454, Zagreb, Croatia, July 2003.

[10] S. L. Phung, A. Bouzerdoum, and D. Chai, “Skin segmentation using color pixel classification: analysis and comparison,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 1, pp. 148–154, 2005.

[11] M. Abdullah-Al-Wadud and O. Chae, “Region-of-interest selection for skin detection based applications,” In *Proceedings of the International Conference on Convergence Information Technology (ICCIT '07)*, pp. 1999–2004, Gyeongju, Korea, 2007.

[12] M. J. Jones and J. M. Rehg, “Statistical color models with application to skin detection,” in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '99)*, vol. 1, pp. 274–280, Fort Collins, Colo, USA, June 1999.

[13] M. J. Jones and J. M. Rehg, “Statistical colormodels with application to skin detection,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 46, no. 1, pp. 81–96, 2002.

[14] S. L. Phung, D. Chai, and A. Bouzerdoum, “A universal and robust human skin color model using neural networks,” in *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'01)*, vol. 4, pp. 2844–2849, Washington, DC, USA, July 2001.

[15] N. Bourbakis, P. Kakumanu, S. Makrogiannis, R. Bryll, and S. Panchanathan, “Neural network approach for image chromatic adaptation for skin color detection,” *International Journal of Neural Systems*, vol. 17, no. 1, pp. 1–12, 2007.

[16] S. L. Phung, A. Bouzerdoum, and D. Chai, “Skin segmentation using color and edge information,” in *Proceedings of the 7th International Symposium on Signal Processing and Its Applications (ISSPA '03)*, vol. 1, pp. 525–528, Paris, France, July 2003.

[17] K. Chenaoua and A. Bouridane, “Skin detection using a Markov random field and a new color space,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 2673–2676, Atlanta, Ga, USA, October 2006.

[18] J. Zheng, Lu B.-liang, “A support vector machine classifier with automatic confidence and its application to gender classification,” *Neurocomputing*, vol. 74, no. 11, pp. 1926-1935, 2011.

[19] [28] Shan C., “Learning local binary patterns for gender classification on real-world face images,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, no. 4, pp. 431-437, 2012.

Secure Communication Using SDE_x Method

Piotr Milczarski, Artur Hłobaz, Krzysztof Podlaski
Faculty of Physics and Applied Informatics
University of Lodz
Pomorska str. 149/153, Lodz, Poland
{piotr.milczarski, artur.hlobaz, Podlaski}@uni.lodz.pl

Abstract—In the paper the communication security is discussed. Nowadays applications mainly do not support end-to-end security. In the paper we show the solution (SDEX method) how to maintain end-to-end encryption in the data transferring basing on public key distribution using social media. The application of elaborated SDEX method is shown.

Keywords— *secure communication, data encryption, public key distribution, mobile applications, social networks, secure data exchange method.*

I. INTRODUCTION

Nowadays, the Internet security is more and more crucial and even normal Internet users are becoming more and more conscious of the problem [1][2]. In recent years, there have been several major stories about how easy is to eavesdrop and breach our data or communication privacy like emails, e.g. secret documents leaked by former U.S. National Security Agency contractor Edward Snowden, WikiLeaks, HeartBleed OpenSSL, etc. Majority of users is not conscious what encryption is and that applications they use does not support it. It will not help to change it by simply saying or advertising that we users should rise our security level. There are some research that show that your friends can raise your awareness and make you more willing to implement the security measures [2]. The research done by Electronic Frontier Foundation (EFF) has shown that only 6 out of 39 popular messengers fulfill 7 criterions that may support end-to-end security properly [4].

In Sec. II the end-to-end security is described. In Sec. we present Secure Data Exchange (SDE_x) method. In Sec. IV. an example of the method application is shown and possible security problems briefed. Finally, Sec. V. concludes the paper.

II. END-TO-END MESSENGERS SECURITY

The sophisticated online surveillance techniques used by the spy agencies pose the same problem as hackers. If the governments can do it, hackers maybe can do that as well. The problem of different types of attacks is described in several publications, e.g. session hijacking. Facebook has said it could enable end-to-end encryption between users exchanging data, but said such technology is complicated and makes it harder for people to communicate [5].

In the recent research [4] (Nov 2014) done by Electronic Frontier Foundation (EFF) 39 services were checked including popular tools from Apple, Google, Facebook, BlackBerry, Microsoft and Yahoo. According to the EFF research, only 6 applications pass the security test. The EFF was interested in 7

possible questions/features [4]: is data encrypted in transit; is it encrypted so the provider can't read it; can the service verify contacts' identities; are past communications secure if keys are stolen; is the code open to independent review; is security design properly documented; and has there been an independent security audit?

All 39 examined by EFS applications encrypt content in transit, but only six satisfied all of the EFF's security requirements and managed to fulfill all seven EFF requirements: ChatSecure + Orbot, Cryptocat, Off-The-Record (Windows), RedPhone, Silent Phone, Silent Text and TextSecure. Basing on the EFS criterions we prepared the outline of the method that supports end-to-end security. The idea of using the well-known methods of encryption to support end-to-end security is presented in [6][7]. We show some new methods how to strengthen the security of data exchange.

III. METHOD SECURE DATA EXCHANGE (SDE_x)

In the SDE_x method that general outline is presented in [6][7][8], we have sketched the idea of creating secure channel that supports end-to-end secure connectivity. That method also fulfills all of the EFS criterions supposing that we have the code open to independent review and there has been an independent security audit. It does not need the special architecture because it uses existing Social Media Networking users profile. In the papers [9][10][11] we have also shown several methods and techniques how to make end-to-end users communication more secure.

A. The Method SDE_x and Their Applications Prerequisites

The method Secure Data Exchange (SDE_x) was presented generally in [6][7] and [8]. The SDE_x method is designed so it can fulfill the first five requirements of the EFS research.

The application prerequisites that uses the SDE_x method [8]: (1) have the Internet and Social Medias Network access; (2) can upload and download files/ images from them; (3) can save data (keys) locally on the device; (4) can generate QRcode, process QRcodes; (5) can capture and send text and data from SMS, messengers; (6) can capture voice telephony agent to work with the voice transmission; (7) can encrypt and decrypt using well known methods. The prerequisites of the applications can be widened or shortened due to the application's functionality.

B. Frame formats

Frame format of the published QRcode as a public key was designed especially to find QRcodes in Social Media galleries.

Frame metadata header of QRcode contains set number of 16 bytes [8]: unique set of bits for filtering the gallery – 4 bytes; header length in bytes – 1byte; timestamp of key generation in milliseconds – 8 bytes; version of the key – 1byte; key length in bits – 2 bytes. The QRcode is storing only the data without any tags. That data can be anything like names, phone numbers, web page links, etc.

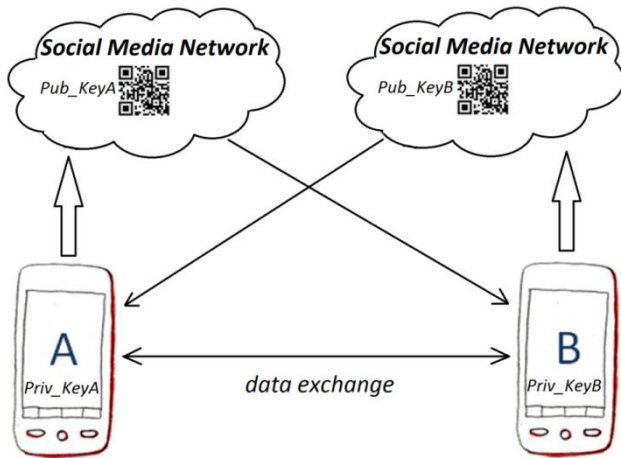


Fig. 1. General scheme of mobile applications using SDEx method

The designed frame metadata header of the message is important part of the SDEx and it contains set number of 14 bytes [8]: application ID – 4 bytes; special unique code - 2 bytes; - message type and controls like new key request, key received, key acknowledged, unrecognized key, etc. – 1 byte; timestamp of key generation of the public key (user B) in seconds – 4 bytes; version of the key used – 1 byte; message length in bytes – 4 bytes.

IV. APPLICATIONS OF SDEx METHOD

At the Fig. 1 it is shown the general scheme of applications that use SDEx method. In the paper [8] the whole method is described thoroughly.

The example of implementation for the encrypted SMS exchange is shown at the Fig. 2. The proposed header can vary depending on the medium used, e.g. phone calls. In the text messaging using SMS it can be simplified by omitting the message length part of it. During the process of data exchange it is possible to change the keys or change the communication medium. For more details see [8].

The problems that need the research is how to protect the initial exchange of the keys because of the possible man-in-the middle attacks, lack of IT infrastructure and how to have the keys that authenticate (and confirm) the end user.

CONCLUSIONS

The proposal of secure data exchange with everyday social network as key store solves both of the problems. On the other hand usage of images from social network gallery makes it easy to accept by ordinary mobile user. The proposed method can be implemented in mobile applications and description of

such application was presented. The application will be presented in more details in next articles.

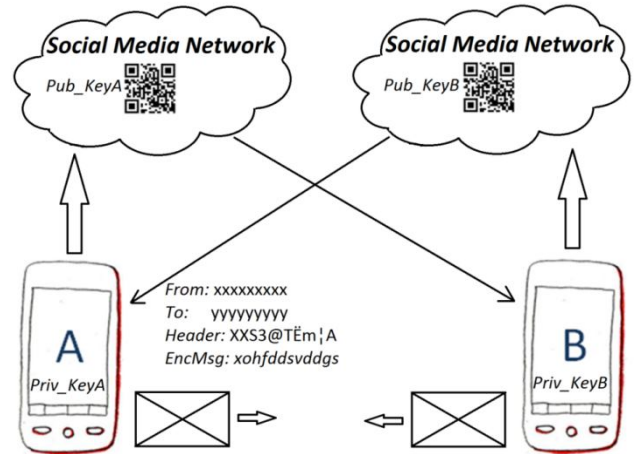


Fig. 2. Text exchange using SMS

The problems that need to be examined are: (A) how to protect the initial exchange of the keys because of the possible man-in-the middle attacks, (B) lack of IT infrastructure and (C) how to have the keys that authenticate (and confirm) the end user.

REFERENCES

- [1] N. Nikifrakis, W. Meert, Y. Younan, M. Johns, and W. Joosen, "Sessionshield: lightweight protection against session hijacking," *Engineering Secure Software and Systems*, pp. 87–100, 2011.
- [2] I. Threats, "New Challenges to Corporate Security," *Research Journal of Applied Sciences*, 8, 3, 2013. Becker, A and Paar, I: *Bluetooth security & hacks*, Ruhr-Universität Bochum, 2007.
- [3] S. Das, A.D.I. Kramer, L. A. Dabbish, and J.I. Hong, "Increasing Security Sensitivity With Social Proof: A Large-Scale Experimental Confirmation," *Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '14)*, ACM, New York, pp. 739-749, 2014.
- [4] Electronic Frontier Foundation, <https://www.eff.org/secure-messaging-scorecard>, November 2014.
- [5] The Verge, <http://www.theverge.com/2013/6/26/4468050/facebook-follows-google-with-tough-encryption-standard>. Accessed March 2015.
- [6] K. Podlaski, A. Hłobaż, P. Milczarski, "New Method for Public Key Distribution Based on Social Networks," *CoRR abs/1503.03354*, 2015.
- [7] K. Podlaski, A. Hłobaż, P. Milczarski, "Secure Data Exchange Based on Social Networks Public Key Distribution", in *proceedings 2nd SaSelIoT*, Rome Italy, Oct 2015.
- [8] P. Milczarski, K. Podlaski, A. Hłobaż, "Applications of Secure Data Exchange Method Using Social Media to Distribute Public Keys," in *Computer Networks, Communications in Computer and Information Science Vol. 522*, Springer International Publishing, pp. 389-399, 2015.
- [9] A. Hłobaż, K. Podlaski, P. Milczarski, "Applications of QR Codes in Secure Mobile Data Exchange," *Communications in Computer and Information Science Vol. 431*, pp. 277-286, 2014.
- [10] A. Hłobaż, "Security of measurement data transmission - message encryption method with concurrent hash counting," *SEP 1/2007*.
- [11] A. Hłobaż, "Security of measurement data transmission - modifications of the message encryption method along with concurrent hash counting," *FSNT NOT Vol. 1*, pp. 39-42, 2008.

Compare Bitrate of Proposed Geometry Mesh Coding Methods

N. Samus
Television and Radiobroadcasting Department
O.S. Popov's ONAT
Odesa, Ukraine
natalia_samus@ukr.net

O. Osharovska
Television and Radiobroadcasting Department
O.S. Popov's ONAT
Odesa, Ukraine
osharovskaya@gmail.com

Порівняння швидкості потоку запропонованих методів сіткового кодування геометрії

Н.С. Самусь
кафедра телебачення та радіомовлення,
ОНАЗ ім. О.С.Попова
Одеса, Україна
natalia_samus@ukr.net

О.В. Ошаровська
кафедра телебачення та радіомовлення,
ОНАЗ ім. О.С.Попова
Одеса, Україна
osharovskaya@gmail.com

Abstract – In this article coding of vertices in selected 3D mesh model using methods, namely residue number system (RNS) and Fibonacci numbers, is considered. The efficiency of these coding methods is analyzed, and also comparison with existing ones is conducted. As a result, most optimal variant coding of mesh vertices with quite low bitrate and sufficient noise immunity was chosen.

Анотація – У даній статті розглядається кодування вершин вибраної сіткової 3D моделі за допомогою таких методів, як система залишкових класів (СЗК) і числа Фібоначчі. Аналізується ефективність таких методів кодування, а також проводиться порівняння з уже існуючими. В результаті був вибраний найбільш оптимальний варіант кодування вершин сітки з досить низькою швидкістю цифрового потоку і достатньою завадостійкістю.

Keywords — 3D mesh, geometry coding, Residue numeral system, Fibonacci sequence, bitrate, noise-resistant

Ключові слова — 3D сітка, кодування геометрії, система залишкових класів, ряд Фібоначчі, швидкість цифрового потоку, завадостійкість

I. INTRODUCTION

The choice of coding system is an important factor in digital processing. Nowadays binary positional encoding methods are widely used. But the new non-positional or mixed coding techniques are implemented well, such as RNS (Residue numeral system), Fibonacci sequence, Galois fields and others. Although they are characterized by redundancy, but

they are also enough noise immunity and can detect errors and correct them in some cases.

II. COMPARISON OF DIFFERENT GEOMETRY CODING METHODS

In previous papers [1,2] we examined geometry coding of selected part on mesh model using Residue numeral system, Fibonacci sequence and joint use of them. The result you can see in the Table 1. The theory of Residue numeral system and Fibonacci sequence can be found at [3, 4].

Using program Mashlab, a portion of mesh model was selected and vertices of this portion were identified. This can be seen in Figure 1.

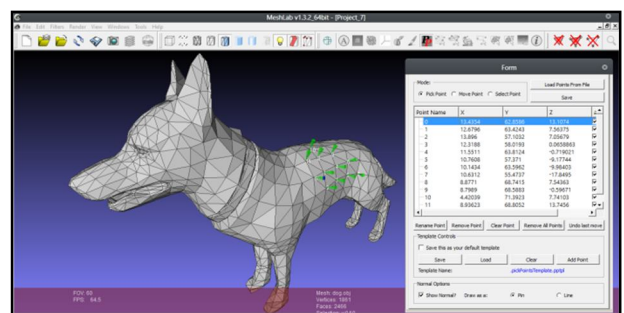


Fig. 1. Chart bitrate comparison of different geometry coding methods

Next, the coding of obtained vertices was conducted using different geometry coding methods. The result of encoding the first two vertices can be seen in Table I.

TABLE 1. Result of different geometry mesh coding methods

Coordinate	951 464 980	872 499 804
Binary representation	1110110111 111010000 1111010100	1101101000 111110011 1100100100
Residue numeral system (RNS)	110 101 010 0010 0010 1001 000 001 101	100 011 001 010 100 101 0110 0001 1011
Fibonacci sequence	01011 10011 0011 0011 0011 010011 11 011 10011	00011 1011 011 0011 00011 10011 01011 011 101011
Modified Fibonacci sequence	100101000101011 00101010100011 100001010101011	000010100001011 10101010010011 001001010010011
RNS + Modified Fibonacci sequence	010011 000011 0011 0011 0011 0100011 11 011 000011	01011 00011 011 0011 01011 000011 010011 011 0001011

Moreover we found values of bitrate in each case. The result you can see in the Table II.

TABLE 2. BITRATE OF DIFFERENT GEOMETRY MESH CODING METHODS

Geometry mesh coding method	Bitrate, bits/coordinate
Binary representation	8.980
Residue numeral system (RNS)	11.212
Parallel processing of RNS	2.290...3.0
Fibonacci sequence	13.422
Modified Fibonacci sequence	14.421
Residue numeral system + Fibonacci sequence with shift	15.0
Residue numeral system + Modified Fibonacci sequence	16.614
Parallel processing of RNS+ Modified Fibonacci sequence	4.429...5.538

Using non-positional encoding methods allow obtaining the capacity for self-correction, increase reliability, accuracy, noise immunity and also uniquely define the encoding ending of each number.

Initially in geometry coding each component of coordinate was indicated with the number 32-bit IEEE floating point. But as this accuracy is over the ability of human visual perception and far more than necessary for most applications, so it was decided to start finding more optimal and effective methods. Some of them are specified in Figure 2. Also there are all of the previously discussed methods.

The most optimal variant was obtained joint using Residue numeral system and Fibonacci sequence. Moreover when we use Residue numeral system, it is necessary to involve separate encoders for each residue. Thus we achieved bitrate

4.429...5.538 bits/coordinate while maintaining advantages of both numeral systems.

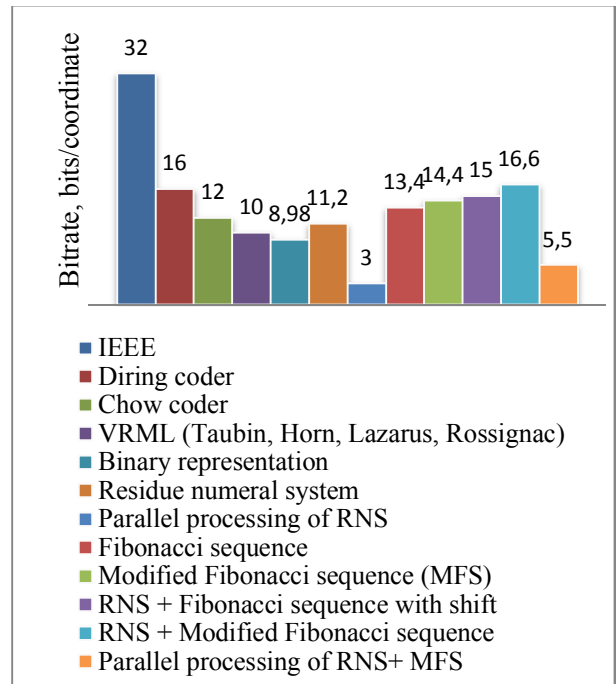


Fig. 2. Chart bit rate comparison of different geometry mesh coding methods

CONCLUSION

Therefore, in this paper not typical methods of encoding images, videos and proper mesh models were considered, such as Residue numeral system and Fibonacci sequence, their modifications and combinations.

Parallelization of codes in Residue numeral system allowed us to obtain a short combination that will not lead to significant errors. Coding Fibonacci sequence allowed getting the opportunity to find and correct errors. It's greatly increases the noise immunity of coding methods geometry.

REFERENCES ЛІТЕРАТУРА

- [1] N. S. Samus, O. V. Osharovska Using a residue number system in the coding 3D mesh geometry objects, Measuring and computing devices in technological processes, 2015, №2(51), pp.117-120.
- [2] N. S. Samus, E. V. Osharovska Noise-resistant integer encoding 3D mesh geometry objects, Digital Technologies, 2016, №18 in press.
- [3] V. V. Yatskiv, N. G. Yatskiv The image coding method based on the residue number system, Proceeding of the XIVth International scientific-practical conference "Modern information and electronic technologies", 2013, pp. 44-46.
- [4] L. B. Petryshyn Fibonacci-similar method of data coding and polibonacci method transition to binary numeral system, Visnik of the Volodymyr Dal East Ukrainian National University, 2013, №15, pp.158-165.

Дослідження комутуючої мережі Бенеша на основі просторово-часових графів

В.М. Грига

кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
volodymyr.gryga@pny.edu.ua

Research Benes network based on the spatio-temporal graphs

V. Gryga

Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
volodymyr.gryga@pnu.edu.ua

Анотація— Розроблено багатотактові операційні пристрої алгоритму сортування на основі комутуючої мережі Бенеша з використанням просторово-часових графів. Отримано аналітичні вирази для розрахунку апаратної складності розроблених пристроїв та визначено, що у порівнянні з відомими розроблені операційні пристрої мають в рази меншу апаратну складність.

Abstract— Developed multitact operating devices sorting algorithm based on Benes network using the spatio-temporal graphs. The analytical expressions for the hardware complexity and determined that in comparison with known operating devices have been developed in times less hardware complexity.

Ключові слова—комутуюча мережа Бенеша; алгоритм сортування; просторово-часовий граф алгоритму, потоковий граф алгоритму

Keywords—Benes network; sorting algorithm; spatio-temporal graph of algorithm, flow graph of algorithm

I. ВСТУП

Сортування даних є одною з типових проблем обробки даних і зазвичай розуміється, як задача розміщення елементів неупорядкованого набору значень, в порядку зростання або спадання [1]. Зазвичай паралельні алгоритми сортування називають сортувальними мережами [2]. Сортувальну мережу будують із базових елементів сортування, які виконують базову операцію “порівняти і переставити”, яка полягає в порівнянні пари із набору

вхідних даних та перестановки цих даних, якщо їхній порядок не відповідає умовам сортування. Одним з найвідоміших і найкраще вивчених алгоритмів сортування є алгоритм на основі неблоковної комутуючої мережі (КМ) Бенеша [3]. Проте при сортуванні великої кількості вхідних даних, комутуюча мережа Бенеша містить велику кількість базових елементів та зв'язків між ними, які іноді часто є не задіяними та простоюють, особливо у випадку вибіркового з'єднання деякого довільного виходу з деяким довільним входом. Тому постає задача розробки та дослідження нових видів комутуючих мереж Бенеша, які б дали можливість при не критичних часових параметрах зекономити на апаратній складності та площі, яку буде займати спроектована мережа на кристалі.

Поставлене завдання вирішується шляхом представлення комутуючої мережі Бенеша у вигляді ярусно-паралельної форми потокового графу (ЯПФ ПГ) та її просторово-часового перетворення [4], з використанням різних типів просторово-часових графів (ПЧГ), що дозволить вибрати оптимальну структуру відносно заданих технічних параметрів для вирішення потрібної задачі.

II. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕРЕЖІ БЕНЕША

Мережа Бенеша з n входами і n виходами має симетричну структуру, в кожній половині якої (верхній і

нижній) між вхідними і вихідними БЕС розташована така сама мережа Бекеша, але з $n/2$ входами і $n/2$ виходами [5].

На рис. 1 наведено структуру алгоритму сортування на основі комутуючої мережі Бенеша 4×4 .

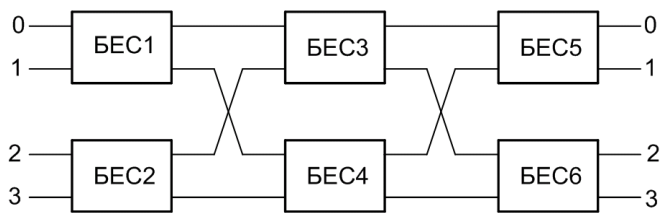


Рис. 1. Алгоритм сортування на основі комутуючої мережі Бенеша 4×4

Дана мережа складається з базових елементів сортування (БЕС), робота яких полягає в порівнянні двох даних та передачі на один з виходів більшого з них, а на другий - меншого. Обчислювальна складність цього алгоритму складає - $N(\log_2 N - 1/2)$ базових елементів, а кількість ярусів - $2 \log_2 N - 1$.

Маючи ЯПФ ПГ КМ Бенеша за допомогою просторово-часового перетворення можна отримати різні типи ПЧГ та апаратно їх відобразити у структуру БОП відповідного типу.

На рис. 2 наведено структуру БОП послідовно-ітераційного типу комутуючої мережі Бенеша 4×4 .

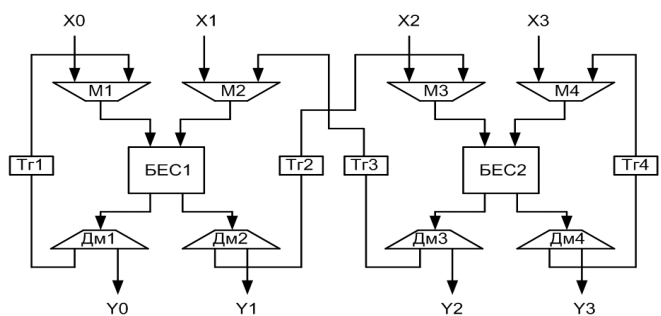


Рис. 2. БОП послідовно-ітераційного типу комутуючої мережі Бенеша

Дана структура БОП складається з двох базових елементів сортування (БЕС1, БЕС2), 4-ох мультиплексорів (M_1, \dots, M_4), 4-ох демультимплексорів ($Дм_1, \dots, Дм_4$) та 4-ох тригерів ($Тг_1, \dots, Тг_4$). БЕС1 та БЕС2 послідовно в часі виконують кожен по три базові операції, мультиплексори послідовно пропускають вхідні дані та проміжні результати на входи БЕС, демультимплексори розподіляють у потрібні моменти часу проміжні результати на входи мультиплексорів а кінцеві результати на свої виходи для запису у вихідні регістри. Елементи затримки проміжних результатів (тригери) затримують проміжні дані на відповідну кількість тактів згідно послідовно-ітераційного ПЧГ. Керування мультиплексорами та демультимплексорами здійснюється за допомогою пристрою керування.

Затрати обладнання на реалізацію БОП послідовно-ітераційного типу для алгоритму сортування на основі КМ Бенеша складають:

$$W_{ПБОП} = N(W_{БЕС} + W_{МП(2 \rightarrow 1)} + W_{ДМП(2 \rightarrow 1)} + W_{Трз.}) \quad (1)$$

Підставивши у формулу (1) значення кількості вентилів, з яких складаються БЕС, мультиплексори, демультимплексори та тригери, отримано числові значення, на основі яких побудовано графік залежності апаратних затрат від кількості вхідних даних для різних типів БОП (рис. 3).

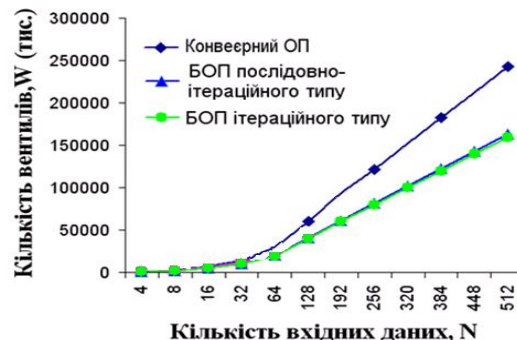


Рис. 3. Графік залежності загальної кількості вентилів від величини вхідних даних для різних типів БОП

Аналізуючи приведені результати на графіку залежності бачимо, що кількість логічних вентилів, які потрібно для побудови структури послідовно-ітераційного та ітераційного БОП мережі Бенеша при ($N > 128$) зменшується в рази у порівнянні з її реалізацією на структурі конвеєрного ОП.

ВИСНОВКИ

Отримані аналітичні вирази для оцінки апаратної складності БОП різних типів, на основі яких проектувальник може вибрати потрібну структуру, що дозволить розв'язати поставлену задачу при встановлених системних параметрах.

Застосування ПЧГ для розробки різних типів БОП дозволяє знайти оптимальне співвідношення між часовими та апаратними характеристиками.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Д. Кнут Искусство программирования для ЭВМ. Т.3: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. -841 с.
- [2] А. О. Мельник Пам'ять із впорядкованим доступом: монографія – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 296 с.
- [3] V.E. Benes, Mathematical Theory of Connecting Networks and Telephone Traffic, Academic Press, 1965.
- [4] В. М. Грига Просторово-часове перетворення потокових графів алгоритму. // Вісн. ХНУ. – Хмельницький, 2010. - №4. – С.113-116.
- [5] Б. Я. Цилькер, С. А. Орлов Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. – спб: Питер, 2006. – 668 с.

Програмна реалізація моделі аналогового генератора за допомогою цифрових хвильових фільтрів

В.А. Ровінський
кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
x_audio.info@gmail.com

О.В. Євчук
кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій
та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
olga.yevchuk@gmail.com

Software implementation of analog oscillator model using wave digital filters

V. Rovinsky
Department of Informatics
Vasyl Stefanyk Precarpatian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
x.audio.info@gmail.com

O. Yevchuk
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olga.yevchuk@gmail.com

Анотація — Реалізована модель роботи аналогового LC-генератора гармонічних коливань. Запропоновано використати теорію цифрових хвильових фільтрів для імітації неточностей роботи реальних аналогових схем.

Abstract — Software model of analog harmonic LC-oscillator is realized. A wave digital filters theory for simulation of real analog circuits inaccuracy is used.

Ключові слова — цифровий хвильовий фільтр, ЦХФ, аналоговий генератор, гармонічне коливання

Keywords — wave digital filter, WDF, analog oscillator, harmonic oscillation

I. ВСТУП

Сучасні музичні синтезатори будуються з використанням цифрових сигнальних процесорів та у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення, яке виконується в реальному часі на персональних комп'ютерах. Методи синтезу, які широко використовуються для створення музичних звуків, базуються на алгоритмах, які використовувались в повністю аналогових синтезаторах ще в 60х-80х рр. XX ст. Поліфонічні аналогові синтезатори містять в своєму складі

значну кількість інтегральних схем (ІС), і оскільки алгоритм їх роботи визначається апаратно - такі пристрої мають значну вартість. Крім того, їм притаманна неідеальність форм генерованих сигналів і шуми, однак історично склалось так, що ці вади і визначають характерну художню якість «аналогового» звуку. Тому в останній час зусилля розробників спрямовані на відтворення хиб аналогових схем в вигляді цифрових алгоритмів, придатних для використання в системах реального часу дії [1]. В зв'язку з вищенаведеним пропонується спосіб побудови цифрової моделі генератора гармонічних коливань, який не використовує блок тригонометричних функцій процесора, табличний синтез, тощо, а ґрунтований на прямому моделюванні процесів, які відбуваються в аналогових електронних генераторах.

II. ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ

Для цифрової реалізації аналогових схем використана теорія цифрових хвильових фільтрів (ЦХФ) [2]. На відміну від моделювання аналогових схем за допомогою інших способів розв'язку диференційних рівнянь, технологія ЦХФ дозволяє значно скоротити процесорний час розрахунків, а також забезпечити стійкість результатів моделювання, проте результати моделювання можуть мати

похибку розрахунків до 5%, що однак корелює з точністю обробки електричних сигналів за допомогою аналогових схем.

III. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ ГЕНЕРАТОРА

В якості схеми-прототипу використана схема LC генератора гармонічних коливань, представлена на рис.1. Внаслідок того, що реальна індуктивність має значний власний опір, такий генератор буде мати погані характеристики на низьких частотах (НЧ). Проте у випадку математичного моделювання, цей ефект можна виключити з розгляду, і тоді форма синусоїди не буде залежати від робочої частоти.

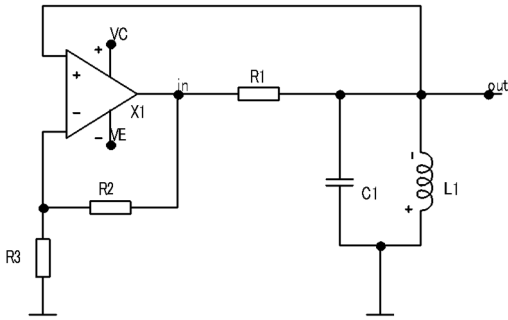


Рис. 1. LC-генератор на операційному підсилювачі

В даній схемі формування гармонічного сигналу здійснюється в коливальному контурі. Синхронне додавання енергії в контур здійснюється позитивним зворотним зв'язком за допомогою операційного підсилювача (ОП). Резистор R1 використаний, оскільки вихідний опір ОП є незначним, і безпосереднє його включення до коливального контуру, призводить до швидкого затухання коливань. У випадку коли коефіцієнт передачі підсилювача на ОП $K_U < 1$, генератор продукує затухаючі коливання, коли $K_U > 1$ - коливання підтримуються зі зростаючою амплітудою, і у випадку $K_U = 1$ - маємо коливання з постійною амплітудою. Реальні аналогові схеми містять обмеження по вихідній напрузі на рівні приблизно $\pm U_{ж}$ ОП, при цьому замість синусоїдних матимемо коливання, які нагадують меандр. Тому алгоритм роботи генератора має бути наступним: при запуску коефіцієнт передачі підсилювача $K_U \gg 1$, а при досягненні заданого рівня вихідного сигналу коефіцієнт повинен динамічно змінюватись, коливаючись навколо значення 1. Частота коливань генератора при цьому визначається власною частотою коливань LC контура: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Побудова RLC ланки в термінах ЦХФ виглядає наступним чином (див. рис.2)

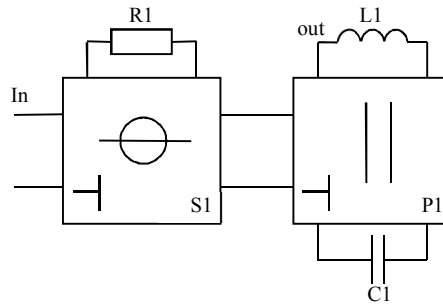


Рис. 2. RLC-коливальний контур в позначеннях адаптерів ЦХФ

Реалізація одержаної ЦХФ схеми мовою C++ з використанням бібліотеки ЦХФ [4] має наступний вигляд:

```
bool detectZeroCross(double in) {
    static double prevVal = 0; bool trigg = false;
    if (prevVal >= 0 && in < 0) trigg = true;
    if (prevVal < 0 && in >= 0) trigg = true;
    prevVal = in;
    return trigg;
}

double getKu(double in){
    currentLevel = -RC.process(abs(in));
    if (currentLevel > maxLevel && detectZeroCross(in))
        Ku = minLevel / (currentLevel);
    if (currentLevel < maxLevel && detectZeroCross(in))
        Ku = 1.0;
    return currentLevel;
}

double LC_contour(double in) {
    P1.do_b3(C1.state, -L1.state);
    S1.do_b123(P1.b3, 0.0, in);
    P1.do_b1b2(S1.b1);
    C1.state = P1.b1;
    L1.state = P1.b2;
    double res = -(P1.a1 + P1.b1)*0.5;
    return res;
}

double main_process() {
    res = LC_contour(res * Ku);
    getKu(res);
    return res;
}
```

Метод `getKu()` застосовується для автоматичного підстроювання коефіцієнту передачі підсилювача генератора в залежності від значень огинаючої, одержаної внаслідок біжучого згладжування модуля дискретизованих значень генерованого сигналу. Для початкового виведення системи зі стану рівноваги вхідному значенню однократно присвоюється значення 0.5. Зміна коефіцієнтів підсилення в алгоритмі стабілізації амплітуди вихідного сигналу здійснюється тільки в моменти переходу сигналу через нуль, що дозволяє зменшити загальний рівень нелінійних спотворень.

Після виконання розрахунків можемо спостерігати експоненціальне наростання амплітуди вихідного сигналу і спрацьовування програмної системи автоматичного регулювання підсилення сигналу генератора, яка стабілізує рівень вихідного сигналу (див. рис.3) :

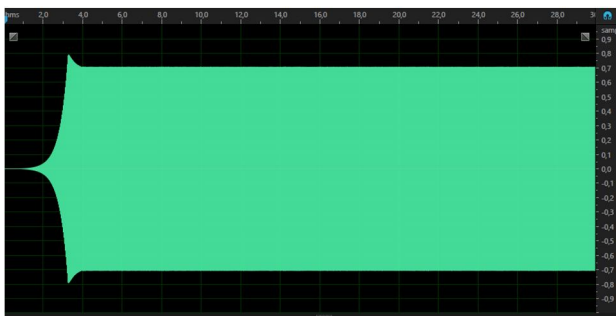


Рис. 3. Перехідні процеси при запуску генератора

Часова форма вихідного сигналу представлена на рис.4 і не містить видимих спотворень.

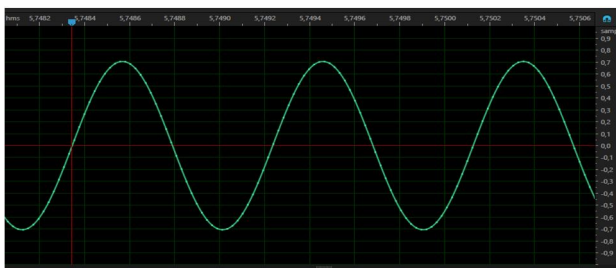


Рис. 4. Часова форма генерованих коливань

Частотний аналіз одержаних коливань (див. рис.5) свідчить про наявність незначної кількості гармонік.

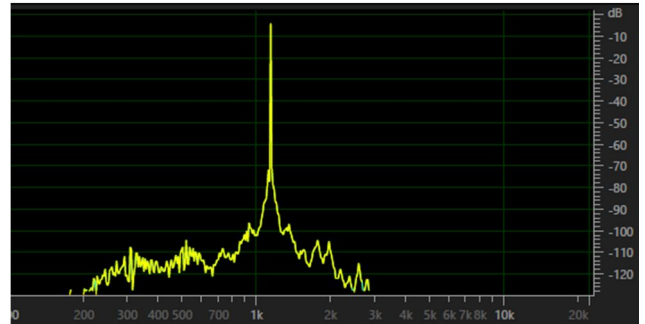


Рис. 5. Частотна форма генерованих коливань

Рівень паразитних гармонік складає -70дБ, що відповідає рівню шумових і паразитних спотворень, які притаманні аналоговій техніці кінця ХХст. Експериментально виміряне навантаження на процесор при генерації одного гармонічного сигналу в режимі реального часу складає близько 0.4%.

ВИСНОВКИ

Була розроблена модель аналогового генератора гармонічних коливань з використанням теорії ЦХФ. Реалізація моделі з використанням бібліотеки ЦХФ довела її дієздатність та ефективність з точки зору використання обчислювальних ресурсів ЕОМ. Нерозглянутими залишились експериментальні характеристики роботи генератора в режимі частотної модуляції.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] J. Mačák and J. Schimmel, "Real-time guitar tube amplifier simulation using approximation of differential equations," in Proceedings of the 13th International Conference on Digital Audio Effects DAFx10, Graz, Austria, Sep. 6-10, 2010.
- [2] A. Fettweis. Wave digital filters: theory and practice // Proc. IEEE, vol. 74, no. 2, pp.270-327. – Feb. 1986
- [3] У Титце., К. Шенк Полупроводниковая схемотехника. Том 2: Пер.с нем. – М.:ДМК Пресс, 2008. С.165–166
- [4] В. А. Ровінський, О. В. Євчук, Ю. Й. Стрілецький Використання цифрових хвильових фільтрів у задачах технічної вібродіагностики. // Метрологія та прилади. – 2011. - №6(32). – С.67-70

Аналіз вібраційних характеристик за допомогою мобільного Android-пристрою

В. О. Горєлов
кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
vitaliy.goryelov@gmail.com

The vibration characteristics analysis using an Android mobile device

V. Goryelov
Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
vitaliy.goryelov@gmail.com

Анотація—Розглянуто особливості інтерполювання даних акселерометра мобільного пристрою під керуванням ОС Android. Запропоновано метод дослідження спектральних характеристик даних, отриманих на неоднорідній часовій сітці.

Abstract—The key features of Android mobile device's accelerometer data interpolation are studied. The spectral analysis method of non-uniformly sampled data is proposed.

Ключові слова—*нерівномірна часова сітка, акселерометр, Android, спектральні характеристики*

Keywords—*non uniform grid time domain, accelerometer, Android, spectral characteristics*

I. ВСТУП

Проведення спектрального аналізу дискретних сигналів базується на використанні швидкого перетворення Фур'є (FFT) як ефективної реалізації перетворення Фур'є (FT) сигналів скінченної довжини, реалізованих на рівномірній часовій сітці. Однак, існують задачі, котрі пов'язані із нерівномірним кроком часової сітки. Такі задачі виникають у різних галузях науки та техніки, наприклад: при обробці сигналів радарів, обчисленні перетворення Радона у томографії тощо. Розв'язок їх отримують за допомогою відповідних алгоритмів NUFFT.

Існують різні методи NUFFT [1–5], одним із ефективних варіантів яких є такий, що використовує квазірівномірні вхідні відліки.

Основна ідея такого підходу полягає у інтерполяції відліків, отриманих на нерівномірній часовій сітці, та представлення їх у вигляді відліків, отриманих у часі рівномірно.

Процес зміни часової сітки пов'язаний із ефектом аліасингу, проявом якого є ступінчастість вихідного сигналу.

Причинами виникнення часової нерівномірності відліків можуть бути технічні несправності обладнання, обмеження каналів передавання даних, шуми та конструктивні особливості. Прикладом джерела даних із нерівномірною часовою сіткою є сенсор прискорення мобільного пристрою під керуванням ОС Android.

Сфера застосування мобільних додатків, що використовують спектральні характеристики сигналу вібрації, доволі широка: від комп'ютерних ігор до експрес-діагностики стану дорожнього покриття, що визначає актуальність дослідження даної тематики.

Особливістю використання акселерометрів мобільних пристроїв під керуванням ОС Android є неможливість прогнозування чи керування моментами отримання відліків у часі.

Об'єктом дослідження даної роботи є спектральні характеристики сигналу давача прискорення мобільного пристрою під керуванням ОС Android на нерівномірній часовій сітці.

II. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА ANDROID-ПРИСТРОЮ

У Android Sensor Framework не передбачено управління частотою дискретизації даних акселерометра мобільного пристрою. Натомість, існує ряд декларативних констант, котрі описують бажані з точки зору користувача інтервали оновлення даних сенсора, проте операційна система не зобов'язана дотримуватися їх і інтерпретує періоди оновлення як «звичайний», «достатній для інтерфейсу користувача», «ігровий» та «найшвидший» без прив'язки до конкретних числових значень.

Доступ до даних акселерометра реалізовано через масив зі значенням прискорення за осями X, Y та Z.

Імплементация інтерфейсу `EventListener` дозволяє перевизначити метод `onSensorChanged(SensorEvent event)` і, таким чином, отримати доступ до даних давача (`event`) після завершення вимірювання у момент, коли операційна система прийме рішення про можливість надання такого доступу. Поле `timestamp` містить інформацію про час надходження повідомлення про можливість доступу до даних.

Типовим підходом до використання даних акселерометра є наступний. Оголошують масив X. У момент, коли операційна система повідомляє про оновлення стану давача (`onSensorChanged`), копіюють вміст відповідних елементів `event` до масиву X. При цьому момент наступного оновлення не може бути передбачений із достатньою для практичного використання точністю.

Імітацію певної частоти оновлення давача реалізують за допомогою окремого потоку, котрий читає вміст масиву X із заданою регулярністю. Фактично, такий підхід реалізує ступінчасту інтерполяцію, що у випадковій заміні часової сітки породжуватиме фантомні високочастотні складові.

При цьому, вміст елементів масиву X є незмінним під час послідовних опитувань потоком до моменту чергового виклику методу `onSensorChanged()`. У режимі «game» метод `onSensorChanged()` викликається у середньому кожні 0-10 мс. Центр функції густини ймовірності відповідає значенню ~5 мс.

Дослідження проведено із використанням мобільного телефону LG Nexus 5 D821 під керуванням Android 6.0.1. Проаналізовано вибірки із 1000 елементів для кожного із режимів роботи акселерометра.

Враховуючи, що частота оновлення даних не є константою, використання X як джерела даних для проведення швидкого перетворення Фур'є не є коректним.

Імплементация алгоритму NUFFT дозволяє отримати спектральні характеристики для подібного типу даних.

III. СПЕКТРАЛЬНІ ВІБРАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Швидке перетворення Фур'є для відліків на нерівномірній часовій сітці, здійснюють у відповідності до наступного виразу:

$$f_i = F(\alpha)_j = \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \alpha_k e^{it_k \omega_j} \text{ для } j = -N/2, \dots, N/2-1.$$

Частотні відліки $\omega = \{\omega_{-N/2}, \dots, \omega_{N/2-1}\}$, $\omega_j = 2\pi j / N \in [-\pi, \pi]$ – рівномірні; відліки у часі $t = \{t_{-N/2}, \dots, t_{N/2-1}\}$, $t_k \in [-N/2, N/2]$ – нерівномірні.

На основі проведеного дослідження розроблено додаток для моніторингу вібраційних характеристик з використанням мобільних пристроїв під управлінням Android.

ВИСНОВКИ

ОС Android не надає можливості керувати частотою оновлення даних акселерометра.

Одним із варіантів дослідження спектру вібрації на основі даних мобільного телефона, є використання квазіеквідистантних відліків, отриманих шляхом інтерполяції.

Експериментально встановлені центри функцій густини ймовірності для режимів «game» «fastest» становлять 5 та 20 мс. При цьому розкид значень відстаней у часі між двома сусідніми відліками становить ~10 та ~20 мс відповідно.

У режимі «game» максимальна частота, котра може бути отримана у результаті застосування перетворення Фур'є, складає близько 50 Гц. При цьому мобільний пристрій може бути застосований для автоматичного бюджетного експрес-моніторингу стану дорожнього покриття за умови достатньої жорсткості кріплення.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] S. Bagchi and S. Mitra, The Nonuniform Discrete Fourier Transform and Its Applications in Signal Processing, Kluwer Academic, Boston, 1999.
- [2] J. A. Fessler and B. P. Sutton, Nonuniform fast Fourier transforms using min-max interpolation, IEEE Trans. Signal Process., 51 (2003), pp. 560–574.
- [3] J. I. Jackson, C. H. Meyer, D. G. Nishimura, and A. Macovski, Selection of a convolution function for Fourier inversion using gridding, IEEE Trans. Med. Imag., 10 (1991), pp. 473–478.
- [4] J. D. O'Sullivan, A fast sinc function gridding algorithm for Fourier inversion in computer tomography, IEEE Trans. Med. Imag., MI-4 (1985), pp. 200–207.
- [5] D. Potts, G. Steidl, and M. Tasche, Fast Fourier transforms for nonequispaced data: A tutorial, in Modern Sampling Theory: Mathematics and Applications, J. J. Benedetto and P. Ferreira, eds., Appl. Numer. Harmon. Anal., Birkhäuser, Boston, 2001, pp. 249–274.

Алгоритм ортогонального перетворення в системах функцій Галуа

Н.В. Превисокова
кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
natvolo@rambler.ru

Algorithm orthogonal transform on the Galois functions base

N. Prevysokova
Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
natvolo@rambler.ru

Анотація—Здійснено факторизацію матриць ортогональних систем функцій Галуа та розроблено алгоритм обчислення дискретного ортогонального перетворення в даному базисі. Визначено часову складність розробленого алгоритму.

Abstract—It is considered two algorithms of discrete orthogonal transform on Galois functions base. The proposed algorithm is based on the procedure matrix factorization. It is done matrix factorization of orthogonal Galois functions. It is developed the calculating algorithm of discrete orthogonal transform in this basis. The time complexity of this algorithm is evaluated. The efficiency of the developed algorithm is proved.

Ключові слова—системи функцій Галуа; дискретне ортогональне перетворення; алгоритм перетворення; факторизація матриць

Keywords—Galois functions system; discrete orthogonal transform; transform algorithm; matrix factorization

I. ВСТУП

Методи обробки інформації на основі ортогональних перетворень широко застосовуються на практиці в галузі цифрової обробки сигналів. Дискретні перетворення дозволяють подати дискретні в часі сигнали в частотних координатах. Найчастіше у задачах цифрової обробки інформації використовуються дискретні перетворення Фур'є, косинусне, Уолша, Хаара та ін. [1, 2]. Підвищення вимог до швидкості реалізації методів і процедур обробки інформації зумовлює необхідність розробки швидких

алгоритмів обчислення, які дозволяють зменшити час виконання дискретних перетворень [1-2]. У практиці до цього часу широке застосування дискретного ортогонального перетворення в системах функцій Галуа [3] обмежувалось часовою складністю алгоритму обчислення перетворення прямим методом.

Автором розвивається напрямок дослідження та розробки швидких алгоритмів дискретних перетворень в системах функцій Галуа шляхом вирішення задачі факторизації матриць та розробки алгоритму обчислення дискретного ортогонального перетворення в системах функцій Галуа.

II. ОСНОВИ ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В СИСТЕМАХ ФУНКЦІЙ ГАЛУА

Базисом дискретного перетворення в системах функцій Галуа [3] є ортогональна система $\{G(n, \theta, i)\}$ порядку n , на інтервалі $\theta \in [0; 1)$, $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$ [3], одержана ортогоналізацією рекурсивної системи функцій Галуа.

Рекурсивна система функцій Галуа $\{Gal(n, \theta, i)\}$ [2], утворюється із рекурсивної послідовності $g_0 \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot \dots \cdot g_{2^n - 1}$, $j = 0, 1, \dots, 2^n - 1$, утвореної відповідно до породжуючого вектора поля Галуа $GF(2^n)$.

Функції $\{Gal(n, \theta, i)\}$ в точках $\theta = j/N$, $N = 2^n$ визначаються із послідовності g_j [2]

$$Gal(n, \theta, 0) = Gal(n, j/N, 0) = 1 - 2g_j,$$

$$Gal(n, \theta, i+1) = Gal(n, \theta + 1/N, i).$$

Відповідно до наведених процедур формування, матриці рекурсивних систем функцій Галуа є тоепліцевими циклічними або ганкелевими антициклічними (циркулянтами) [2].

Із рекурсивної системи $\{Gal(n, \theta, i)\}$ будується модифікована система $Gal_m(n, \theta, i)$

$$Gal_m(n, \theta, 0) = 1; Gal_m(n, \theta, i) = Gal(n, \theta, i-1). \quad (1)$$

Ортогональні функції $\{G(n, \theta, i)\}$ [3] одержують застосуванням процедури ортогоналізації Грама – Шмідта

$$G(n, \theta, 0) = 1,$$

$$G(n, \theta, k+1) = Gal_m(n, \theta, k+1) - \sum_{i=0}^k \frac{\langle Gal_m(n, \theta, k+1), G(n, \theta, i) \rangle}{\|G(n, \theta, i)\|_{L_2}^2} G(n, \theta, i), \quad (2)$$

де $k = 0, 1, \dots, N-1$, $\|G(n, \theta, i)\|_{L_2}^2$ – норма в просторі $L_2[0,1)$ інтегровних з квадратом функцій, $\langle Gal_m(n, \theta, k+1), G(n, \theta, i) \rangle$ – скалярний добуток.

Дискретне матричне ортогональне перетворення Галуа [3] одновимірного інформаційного потоку $\{X(0), X(1), \dots, X(N-1)\}$ визначається як добуток

$$Y = GX, \quad (3)$$

де $Y = [Y(0), Y(1), \dots, Y(N-1)]^T$ – вектор спектральних коефіцієнтів перетворення Галуа, G – матриця розміру $N \times N$ значень ортогональних функцій Галуа.

Прямий метод обчислень згідно (3) вимагає $N(N-1)$ арифметичних операцій типу додавання-віднімання та $(N-n-1)(N-1)$ перемножень.

III. АЛГОРИТМ ПЕРЕТВОРЕННЯ

У результаті дослідження залежностей (2) здійснено факторизацію матриці перетворення G і подання її у формі добутку матриць

$$G = C \times Gal_m, \quad (4)$$

де C – трикутна матриця ортогоналізації $N \times N$, Gal_m – матриця значень функцій $\{Gal_m(n, \theta, i)\}$ в точках $\theta = j/N$.

Елементи матриці C є дійсними числами, які визначаються рекурсивно

$$c_{k+1, j} = Gal_m(n, \frac{j}{N}, k+1) - \sum_{i=0}^k \frac{\sum_{l=0}^{N-1} c_{il} \cdot Gal_m(n, \frac{l}{N}, k+1)}{\sum_{l=0}^{N-1} (c_{il})^2} c_{ij}.$$

Встановлено, що для всіх $k \leq n$, $j \leq n$ елементи матриці C задовольняють умови $c_{kk} = 1$; $c_{kj} = 0$, $k > j$.

Із використанням факторизації (4) перетворення (3) запишеться у формі

$$Y = C \cdot Gal_m \cdot X. \quad (5)$$

Тоепліцева циклічна структура матриці Gal_m визначає можливість застосування алгоритмів обчислення згорток і швидкого перетворення Фур'є при виконанні перетворень.

На основі факторизації матриць розроблено наступний алгоритм обчислення перетворення (5):

1) множення вхідного інформаційного вектора на циркулянт за допомогою швидких алгоритмів обчислення згорток, наведених в [4].

2) множення результату на трикутну матрицю ортогоналізації C , відому для даного перетворення.

Здійснено дослідження та визначено часову складність запропонованого алгоритму.

ВИСНОВКИ

Таким чином, здійснено факторизацію матриць ортогональних систем функцій Галуа, на основі чого розроблено алгоритм обчислення дискретного ортогонального перетворення в даному базисі.

Встановлено, що часова складність розробленого алгоритму є меншою, порівняно із відомим прямим методом обчислень, що забезпечує можливість ефективного застосування даного перетворення у методах цифрової обробки одновимірних інформаційних потоків.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Л. А. Залманзон, Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении связи и других областях, М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989.
- [2] Л. Б. Петришин, Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації, К.: ІЗІМН МОУ, 1997.
- [3] Н. В. Превисокова, Метод обробки інформації на основі дискретного ортогонального перетворення Галуа // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2010. – № 2 (146). – С.149–156.
- [4] В. В. Воеводин, Е. Е. Тыртышников, Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами, М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.

СЕКЦІЯ 5.
***Захист інформації в інформаційно-
телекомунікаційних системах***

Контроль доступу віддалених абонентів до ресурсів інформаційних систем

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

Remote subscribers access control to resources of information systems

V. Temnikov
Department of Means of Information Protection
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
temnikov_v@ukr.net

Анотація — У доповіді представлені принципи побудови системи контролю доступу віддалених абонентів до банківських та довідкових інформаційних ресурсів. Їх реалізація, застосування різних методів і підходів (вейвлет-перетворень, кепстрального аналізу, кластеризації та ін.) для підвищення швидкодії та достовірності роботи дозволило створити високоефективну систему контролю з широкою функціональністю.

Abstract — The article presents the principles of construction of access control system for remote subscribers to the bank and reference information resources. Its implementation and using of various methods and approaches (wavelet transforms, cepstrum analysis, clustering, etc.) for increase of speed and reliability of work allowed to create a highly efficient control system with broad functionality.

Ключові слова: система контролю доступу, моніторинг емоційного стану.

Keywords: access control system, emotional state monitoring.

I. ВСТУП

В даний час існує велика кількість проблем, пов'язаних з наданням людям можливості дистанційного використання ресурсів різних інформаційних систем (банківських, довідкових та ін.), які належать їм або знаходяться у загальному доступі.

Однією з таких проблем є організація автоматичного контролю віддалених абонентів для запобігання несанкціонованого доступу до інформаційних ресурсів, а також доступу до них осіб, які перебувають в неналежному психофізіологічному (емоційному) стані. У доповіді представлені вимоги до систем контролю

дистанційного (віддаленого) доступу (СКДД) до ресурсів інформаційних систем, виконання яких дозволило забезпечити високу достовірність і швидкість роботи СКДД, а також наведені принципи побудови голосових систем, що відповідають цим вимогам.

II. ВИМОГИ, ЩО ВИСУВАЮТЬСЯ ДО СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСТУПУ

До СКДД висуваються такі вимоги:

1. У процесі контролю абонента під час дистанційного здійснення банківських операцій мають проводитися його аутентифікація, ідентифікація при непроходженні процедури аутентифікації, а також визначення емоційного стану (ЕмС) абонента. Контроль ЕмС абонента дозволить відстежувати його зміну в процесі телефонної розмови і припиняти розмову з абонентом в разі виявлення неадекватності його поведінки.

2. Для підвищення якості контролю повинні бути забезпечені ефективно придушення шумів в аналізованому системою мовному сигналі і якісна передача мовного сигналу від його джерела до інформаційної системи і СКДД по телекомунікаційним мережам.

Зазначені вимоги обумовлені такими особливостями застосування голосових систем контролю:

1. Велика кількість записів в базах даних абонентів інформаційних систем.

2. Великі відстані від джерел (абонентів) до приймачів (банківських та довідкових інформаційних

систем і СКДД) мовних сигналів, які зумовлюють використання дротових або бездротових телекомунікаційних мереж (доступ до інформаційних ресурсів може здійснюватися за голосом із застосуванням мобільних або стаціонарних телефонів).

3. Високі рівні шумів в прийнятих мовних сигналах, обумовлені недосконалістю телефонного зв'язку і наявністю зовнішніх завад.

III. III ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСТУПУ

Побудова СКДД пропонується здійснювати на основі таких принципів:

1. Розпізнавання абонента проводиться за окремими - так званими, ключовими – мовними фрагментами, які виділяються з безперервної мови абонента.

В якості ключових мовних фрагментів вибираються слова та словосполучення, які зазвичай (часто) використовуються абонентами під час запиту необхідної інформації або в процесі виконання банківських операцій. Зауважимо, що у разі, коли СКДД в процесі діалогу між нею та абонентом вимагає від абонента промовляти певні слова або словосполучення, розпізнавання абонента може бути зведене до розпізнавання за командами.

2. Структурна схема СКДД будується на основі методів теорії розпізнавання образів [1], яка передписує в процесі аутентифікації, ідентифікації і контролю ЕмС абонента послідовне проведення попередньої обробки мовного фрагмента, його параметризацію, класифікацію та прийняття рішення про віднесення до певного класу.

Виділення ключових мовних фрагментів з безперервної мови абонента проводиться додатково включеною до складу СКДД підсистемою розпізнавання мовних фрагментів.

3. Модулі класифікації підсистем розпізнавання мовних фрагментів і аутентифікації абонентів будуються на основі штучних нейронних мереж (ШНМ), на вхід яких подаються інформативні параметри ключових мовних фрагментів.

Параметризація останніх проводиться із застосуванням методу короткочасного аналізу [2] (ділення сигналу на фрейми малої тривалості) з побудовою системи інформативних параметрів на основі кепстральних коефіцієнтів лінійного передбачення.

Конкретні вид ШНМ і значення параметрів модулів параметризації і класифікації визначаються в процесі їх спільного тестування за критерієм максимуму відсотка правильної аутентифікації.

4. Підсистема ідентифікації абонента будується із застосуванням розробленої в процесі проведення досліджень процедури прискорення процесу ідентифікації.

Зазначена процедура заснована на методах кластерного аналізу [3] і полягає в послідовному виключенні з розгляду при проведенні класифікації в режимі реального часу найбільш віддалених від ідентифікованого зразка моделей абонентів (кластерів).

5. У зв'язку з підвищеним рівнем шумів в аналізованому СКДД мовному сигналі необхідно використовувати системи шумопридушення з високим рівнем очищення.

Модуль шумопридушення, що входить до складу підсистеми попередньої обробки мовного фрагмента, пропонується будувати на основі вейвлетів.

6. Голосовий контроль ЕмС абонента здійснюється шляхом відстеження зміни значень частот основного тону та формантних частот голосних фонем, що розраховуються в процесі пофонемного аналізу ключових мовних фрагментів.

Сегментацію на фонеми пропонується, як і шумопридушення, проводити із застосуванням вейвлетів.

Дослідження, в тому числі із застосуванням кластерного аналізу, підтвердили інформацію про те, що значення частот основного тону мають достатньо чітку тенденцію до підвищення при зміні ЕмС людини по лінії «депресія, скутість - норма - збудження».

ВИСНОВКИ

Реалізація представлених в доповіді принципів побудови СКДД до ресурсів банківських і довідкових інформаційних систем, використання різних методів і підходів для підвищення швидкодії та достовірності роботи (методів вейвлет-перетворень, кепстрального аналізу, кластеризації, а також ШНМ і алгоритмів, заснованих на метриках) дозволяє виконати висунуті до СКДД вимоги і створити системи, що працюють в режимі реального часу, застосування яких допоможе запобігти несанкціонованим діям порушників.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Рамишвили Г.С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу. / Г.С. Рамишвили // М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
- [2] Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов. / Л. Рабинер, Б. Гоулд // М.: Мир, 1978. – 848 с.
- [3] Дюк В. Data mining: учебный курс / В. Дюк // СПб: Питер, 2001. – 370 с.

Структури операційних пристроїв для реалізації псевдонедетермінованих криптографічних перетворень

Ю. В. Баришев
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
yuriy.baryshev@gmail.com

Operating Devices Structures for Pseudonondeterministic Cryptographic Transformations Implementation

Y. Baryshev
Department of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
yuriy.baryshev@gmail.com

Анотація— Проаналізовано відомі підходи до розробки апаратних засобів криптографічного перетворення. Виділено ті з них, які можуть використовуватись як базові для реалізації псевдонедетермінованих криптографічних перетворень та наведено приклад такої реалізації.

Abstract—Known cryptographic transformations hardware design approaches were analyzed. Those of them, which could be used as basic ones for the pseudonondeterministic cryptographic transformations implementation, were pointed out and an instance of the implementation was presented.

Ключові слова—псевдонедетерміноване перетворення; операційний пристрій; керовані перетворення

Keywords—pseudonondeterministic transformation; operating device; driven transformations

I. ВСТУП

Концепція відкритості криптографічних алгоритмів при закритих параметрах криптографічних перетворень (ключів) дозволяє дослідити науковій громаді досліджувати їх стійкість. Останнє сприяє науковим дискусіям, а відтак швидкості розвитку криптографії. Водночас, попри цю низку переваг така відкритість криптографічних перетворень дозволяє криптоаналітикам реалізовувати атаки, обумовлені власне такою відкритістю

алгоритмів [1-3]. Таким чином постала проблема розробки криптографічних перетворень, які при збереженні відкритості до досліджень закривали б від зловмисників спосіб криптографічних перетворень, які відбуваються над даними, що захищаються [4, 5], актуальність якої обумовлюється вищевикладеними суперечливими тенденціями. Рішенню цієї проблеми присвячені, зокрема, дані дослідження.

Метою даного дослідження є підвищення стійкості криптографічних перетворень до аналізу зловмисників шляхом реалізації псевдонедетермінованих криптографічних перетворень.

На шляху до досягнення даної мети необхідно розв'язати низку задач. Однією з цих задач є розробка спеціалізованих криптографічних апаратних засобів. Розв'язанню якої присвячено дану роботу.

II. СТРУКТУРИ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

Відома низка робіт присвячених розробці апаратних засобів для реалізації криптографічних перетворень, що створюють для зловмисника невизначеність в параметрах операцій, що виконуються [6-9].

В роботі [6] пропонується структура уніфікованого пристрою криптографічних перетворень, який реалізує

низку перетворень, вибір яких залежить від вектора керування. Таким чином, для зловмисника, якому невідомий вектор керування, утворюється невизначеність у виконуваному перетворенні. У роботі [7] наводяться спеціалізовані пристрої для керованих криптографічних перетворень на основі керованих перестановок.

Апаратні засоби та структура спеціалізованого процесора для багатоканального керованого гешування, розглянуті в роботах [8, 9], базуються на логічних функціях, аналогічних використаним у SHA-2, та керовані зсуви аргументів цих функцій. На рис. 1 наведено приклад такої структури.

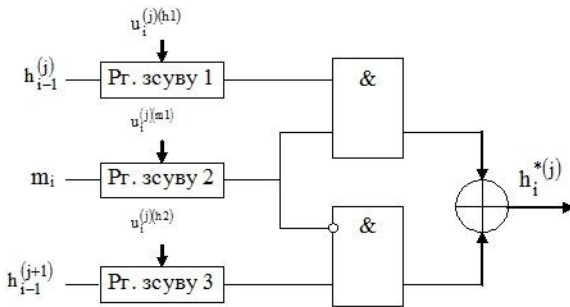


Рис. 1. Структура операційного пристрою на основі логічної функції та регістрів зсуву

Загальним недоліком даних засобів та підходів, що лежать в їх основі є те, що попри певну невизначеність у виконуваних перетвореннях, зловмиснику залишаються відомими кількість та черговість цих перетворень, а також дані, над якими ці перетворення виконувались. У роботі [4] запропоновано моделі псевдодетермінованих криптографічних перетворень, які дозволяють усунути зазначені недоліки.

Для реалізації моделей псевдодетермінованих перетворень пропонується удосконалити підхід, використаний в роботах [8, 9] з урахуванням утворення невизначеності зловмисника у даних, що обробляються на певній ітерації. На рис. 2 наведено структуру такого операційного пристрою. Його перевагою над структурою, зображеною на рис. 1 є можливість адаптуватися до вхідних даних різної розмірності. Блок комутації й ущільнення в операційному пристрої дозволяє ущільнити дані до допустимих в логічних блоках, з'єднаних з його виходами.

Висновки

В даній роботі визначено актуальність реалізації псевдодетермінованих криптографічних примітивів. На основі відомих структур криптографічних пристроїв запропоновано структуру операційного пристрою, який може використовуватись в структурі спеціалізованого процесора.

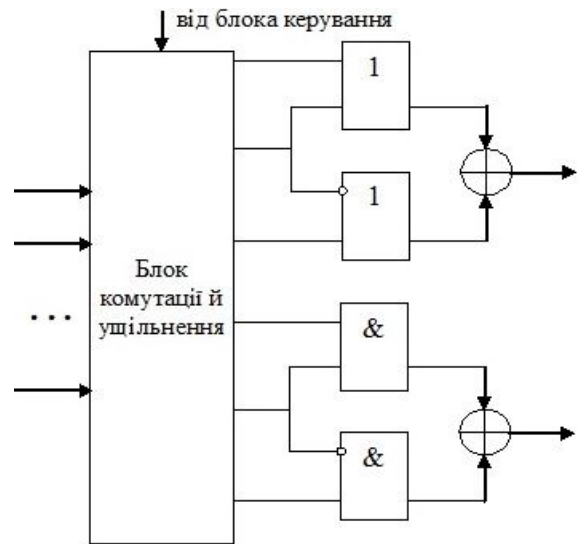


Рис. 2. Приклад структури операційного пристрою для псевдодетермінованого перетворення

Недоліком запропонованої структури є її апаратна надлишковість порівняно з аналогами. Проте даний недолік компенсується за рахунок можливості його використання для реалізації декількох різних криптографічних перетворень, наприклад симетричного блокового шифрування та гешування.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] C. Blondeau, G. Leander, K. Nyberg. Differential-Linear Cryptanalysis Revisited, 2014, p. 20, <http://users.ics.aalto.fi/~blondeau/PDF/FSE2014.pdf>
- [2] J.Kelsey, T. Kohno. Herding hash functions and the Nostradamus attack, 2005, p. 18. <http://archives.scovetta.com/pub/crypto/Nostradamus%20Attack.pdf>
- [3] J. J.Hoch, A. Shamir Breaking the ICE – Finding Multicollisions in Iterative Concatenated and Expanded (ICE) Hash Functions, 2006, p. 13. http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~yaakovh/papers/hashpaper_submission.pdf
- [4] Ю. В. Барішев. Моделі псевдодетермінованих криптографічних перетворень. "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія"; матеріали статей п'ятої міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 27-29 травня 2015 року, Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2015, С.189-191.
- [5] В. А. Лужецький, Ю. В. Барішев. Концепція псевдодетермінованого гешування. Системи управління, навігації та зв'язку, 3, 2010, С. 94-98.
- [6] В. М. Рудницький, В. Г. Бабенко. Модель уніфікованого пристрою криптографічного перетворення інформації Системи обробки інформації, 3, 2009, С. 91-95.
- [7] Н.А. Молдовян, А.А. Молдовян, М.А. Еремеев. Криптография: от примитивов к синтезу алгоритмов, СПб.: Питер, 2004, 448 с.
- [8] В. А. Лужецький, Ю. В. Барішев Апаратні засоби для реалізації багатоканального керованого гешування. Системи обробки інформації, 3, 2011, С. 130-133.
- [9] Ю. В. Барішев. Структура спеціалізованого криптографічного процесора для керованого гешування. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2011): матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 19-21 травня 2011 р., Вінниця: ВНТУ, 2011 С. 169-170.

Denial-of-Service attack research

O.P. Voitovych

Information Security Department
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
voitovych.op@gmail.com

E.I. Kolibabchuk

Information Security Department
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
ekolibabchuk4@gmail.com

Дослідження атак на відмову в обслуговуванні

О. П. Войтович

кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет,
Україна
voitovych.op@gmail.com

Е.І. Колібабчук

кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет,
Україна
ekolibabchuk4@gmail.com

Abstract – Methods and ways to perform denial-of-service attack are analyzed and classified in this work. Famous Denial-of-Service attack classifications are reviewed and analyzed. Elements of modern DoS attack classification are proposed – classification by the amount of devices, by time, by the source computers belonging, by the source computer list, by the triggering, by the correctness of the source address, by the vulnerability, by the type, by the geographical position of sources, by power dynamics, by power layer and by effect.

Анотація — У статті проаналізовано та класифіковано засоби та способи проведення атак на відмову в обслуговуванні. Розглянуто та проаналізовано відомі класифікації атак на відмову в обслуговуванні. Запропоновано нові елементи сучасної класифікації атак на відмову в обслуговуванні – класифікація за кількістю задіяних пристроїв, за часовими параметрами, за приналежністю, за наявністю списку джерел, за способом активації, за коректністю адреси-джерела, за вразливістю, за типом, за географічним положенням, за динамікою, за рівнем та за впливом.

Keywords: *denial-of-service attacks, classification, computer networks.*

Ключові слова: *атаки на відмову у обслуговуванні, класифікація, комп'ютерні мережі.*

I. INTRODUCTION

One of the most wide-spread threats in our time for computer networks and systems is Denial-of-Service attack. The Denial-of-Service attack makes impossible system operation and partially or completely disables an access to resources and services for users. Its important to not only detect the fact of attack but also to properly identify attack type to increase effectiveness of DoS-preventing technologies.

To simplify detecting and preventing Denial-of-Service attacks a clear good-structured classification of the DoS attacks is required. Currently there are a lot of different classifications of DoS attacks, the basic is Mirkovic's classification [1] but there is still no good classification

adapted for today's features and trends with a possibility to use with real systems.

II. RESEARCH OF DOS ATTACKS

The main proposed classification criterion is listed below.

By the amount of source devices – DoS attacks can be divided into simple DoS attacks, group DDoS attacks (with up to 100 devices) and massive DDoS attack (more than 100 devices).

According to attack source computers belonging to malicious attacks can be divided into voluntary attacks from intruder's machines, attacks that use bot networks, attacks that use physical and virtual dedicated servers, tunnelled attacks and random users' attacks.

Attacks from bot networks can be divided into attacks that use infected servers, infected home computers and mobile devices. It's important to know that mobile devices' IP address is not constant and can be changed every time user connects to different wireless network.

By the list of source computers DoS attacks can be divided into static-listed (fixed list of computers), controlled dynamic-listed (list of attacking sources constantly changes but there is a list of possible attack sources somewhere and dynamic unlisted when there is no way to constantly determine the list of attack sources).

By the triggering attacks can be divided into manual (when attacker manually crafts each required packet), controlled (when distributed attack is remotely controlled) and automatic (when the attack is triggered without manual actions).

Controlled attacks can be divided by the way of controlling into direct-controlled attacks (attack is controlled from the single point and infected computers has open ports that allows to identify them) and indirect-controlled (attack is controlled with reverse-connections or additional protocols like BitTorrent or IRC) [2].

Direct-controlled attacks can be divided by the way that infected computers are added into network into: random scanning (attacker randomly scans IP-addresses looking for infected computers), list scanning (attacker uses the list of infected machines) and reverse-scanning (infected machines notify the attacker themselves).

Attacks can also be divided by the geographical position of sources into local (regional) and worldwide. It's useful for better recognizing legitimate traffic.

By spread in time attacks can be divided into real-time attacks which action «just now» and scheduled attacks that can change during the time of attack or be planned to change during a period of time.

By the correctness of the source address attacks can be divided into: attacks with correct source addresses (it's possible to determine the source of the attacking machine), spoofed attacks (the source address in packets is malformed) and reverse-attacks (use servers' replies for attacking, for example DNS).

By the type of the vulnerability attacks can be divided into protocol attacks and current implementation attacks.

By the power dynamics attacks can be divided into the attacks with constant power, attacks with randomly changing power, attacks with determined changing power, attacks with fluctuating power and attacks with increasing power.

By the layer attacks can be divided into attacks on physical layer (physical intrusion into a computer system, a cable break, radiation), attacks on the data link layer [3] (overloading on the frame layer), attacks on the network level (attacks on the IP protocol layer), attacks on the transport layer (attacks on the layer of datagram and segment), attacks on the session layers (attacks inside of logical connections), application level attacks [4] (attacks on the application protocols like HTTP or FTP) and attacks on services (attacks on the application that runs on top of the application layer, e.g. cloud service or web framework) [5].

By the effect attacks can be divided into blocking attacks (as a result it's impossible to connect to service for users), draining attacks (attacks drain a lot of resources but the service remains available) and damaging attacks (they damage an attacking component for example a cache, file system or protection mechanisms and as a result the data can be lost).

Blocking attacks can be divided into repairable and non-repairable. Attack is repairable when the service becomes available again after the attack stops without any manual actions.

III. EXAMPLES

The application of this proposed classification is an identification of the DoS-attack using proposed methods.

For example, Slowloris attack. By the amount of devices it's usually a single device attack or group attack because usually it's enough to use the single device to block access to webserver. By the source computer it's usually voluntary. Because of using a single computer it's a static-listed manually triggered attack. It's a semantic type of attack because it just exceeds the limit of opened connections. The source address it's correct because web server should respond to request. The vulnerability there is in the implementation, not in HTTP protocol. Only some web servers are affected, for example Apache. By power dynamics it's a constant attack. It's an application-level attack (on HTTP server) [7]. By the effect the attack is repairable blocking.

SUMMARY

There were reviewed and analysed known Denial-of-Service attack classifications in this paper.

New modern criteria of different types of Denial-of-Service attack depending on different aspects was proposed for future development.

Future plans are to complete investigation of different Denial-of-Service attacks and to improve proposed classification.

REFERENCES

- [1] J. Mirkovic, A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms / J J Mirkovic, P Reiher // ACM SIGCOMM Computer Communication. – 2004. – Режим доступа до ресурсу : https://www.researchgate.net/profile/Peter_Reiher/publication/2879658_A_taxonomy_of_DDoS_attack_and_DDoS_defense_mechanisms/links/02e7e51d1ce043291000000.pdf.
- [2] Z. Chi. Detecting and blocking malicious traffic caused by IRC protocol based botnets / Z. Chi, Z. Zhao // Parallel Computing Workshops. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4351531.
- [3] S. Mansfield-Devine / Anonymous: serious threat or mere annoyance? / S. Mansfield-Devine // Network Security. – 2011. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353485811700046>.
- [4] D. Hobbs / Using Spreadsheets as a DDoS weapon / D. Hobbs // Radware Blog – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <https://blog.radware.com/security/2012/05/spreadsheets-as-ddos-weapon/>.
- [5] P. Ipeirotis / The Google attack: How I attacked myself using Google Spreadsheets and I ramped up a \$1000 bandwidth bill / P. Ipeirotis // A Computer Scientist in a Business School – 2012. – Режим доступа: <http://www.behind-the-enemy-lines.com/2012/04/google-attack-how-i-self-attacked.html>.
- [6] E. Cambiaso / Slow DoS attacks: definition and categorization / E. Cambiaso, G. Papaleo, G. Chiola, M. Aiello // International Journal of Trust Management in Computing and Communications. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJTMCC.2013.056440>.

Дослідження структури простору опису образів сеансових ключів

В.Є. Глущенко

кафедра кібернетики та комп'ютерних систем
Східноукраїнський національний університет
імені В.Даля
Северодонецьк, Україна
2847@i.ua

М.Л. Петришин

кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
M.L.Petryshyn@gmail.com

Investigation of the space structure of session keys patterns description

V. Glushchenko

Department of Cybernetics and Computer Systems
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
Severodonetsk, Ukraine
2847@i.ua

M. Petryshyn

Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
m.l.petryshyn@gmail.com

Анотація—В статті представлено результати дослідження структури простору лінійних квазіпорядків, необхідних для формування сеансових ключів

Abstract—The article presents the research results on the structure of the linear space quasiparallel necessary for creating session keys

Ключові слова—інформаційна безпека, сеансові ключі, завадостійкість, кодування, інформація

Keywords—information security, the session key, noise resistance, encoding information

I. INTRODUCTION

As the latest research of domestic and foreign authors, one of the most effective methods of encrypting data during its transmission is a method based on the concept of session keys. Therefore, the problem of creating a powerful mathematical apparatus allows you to create a variety of session keys and provides the basis for the creation of effective algorithms working with these keys remains highly relevant.

II. FORMULATION OF RESEARCH PROBLEMS

The formation concept of session keys in a structured space is considered in [1, 2]. Implementation of this concept makes it necessary to study the structure of linear space quasi orders used to describe the images of session keys.

III. THE RESEARCH RESULTS

To solve this problem the location points of the mixed potential at the senior levels of the space of linear quasi-orders were analyzed. All the basic concepts and definitions used below, and are described in following work [1].

Let the points form a mixed potential space QB , $QB \subset QL$. Multiple HQB points of QB points is define as:

$$HQB = \{R \mid R \in QL, \exists i, |R_i| > 1, |R_i + R_s| \geq 2 \text{ } i \neq s\}, \quad (1)$$

where R_s - class that defines the potential rankings R .

To investigate the combined potential points location in ranking space are introduced the next concepts.

To describe the ranking structure, that describes mixed-point potential, we use the following reference designation: I_i^j - equivalence class, whose power is equal to j , having the i -th serial number in the ranking; P_i - single element class that has the i -th number in the ranking.

Then the ranking of $R=(a-b,c,d-e-f,g)$ will have the following form: $R=(I_1^2 P_2 I_3^3 P_4)$.

Points of mixed potential, showing a partition of set $A=\{a,b,\dots\}$, $|A|=N$, having the same potential equal to U , form a set of points X_u .

$$X_u = \{R: \forall R \in HQB, \text{Pot } R = \text{Pot } U\} \quad (2)$$

where $Pot U$ – the value of the potential hypersurface U , where located points of set X_u .

The point of X_u set with considering structure of described rankings are divided into disjoint subsets forming a level surface. Than $X_u = \prod_{i=1}^R Y_i$, $Y_i \cap Y_j = \emptyset$, $i \neq j$.

When splitting the hypersurface at the levels is used the information about class rankings equivalence which capacity without taking into account the class, which determines the potential of the point, the greatest.

Lemma 1. For any ranking $R=(k_1, k_2, \dots, k_n)$, which describes the point of the mixed potential on A , there is a class $|k_u^R| \geq |k_i^R|$, $i=1, \dots, n$, $i \neq u$, $i \neq s$, $u \neq s$, where s -class number, which determines the potential of the rankings R . The level number, where located the point x will be denoted by NuR .

Definition 1. The level number, where the R point is located, is equal $NuR = |k_u| - 1$.

From Definition 1 follows that the number of levels on which the point of the R , one less than the capacity of the class that defines the level of the point number. Power classes, defining the number of levels of two points of one hypersurface located on adjacent levels differ by one. Power class defines the number of points the level of any building, located on the ground level, is equal to two.

As the smallest number of classes, which contains the ranking of elements of A , which describes the point of the mixed potential, is equal to two, the greatest power of class rankings, excluding the class that defines its potential for even N is equal to $N/2$ when N is odd is equal to $(N+1)/2$.

Therefore, it is a hypersurface of the potential split in the largest number of levels.

Lemma 2. The maximum number of levels, which are divided points of mixed potential elements described rankings of A power $|A| = N$ is equal, i.e.

$$\mu \alpha \xi \lambda_N = \left[\frac{N}{2} \right] - 1 \quad (3)$$

It is obvious that the number of hypersurfaces points of mixed potential, on which there are points of HQB for even N is odd. The potential hypersurface whose set of points is divided into the greatest number of levels equal to $N/2$. The points of this hypersurface located on $max l_N$ level described dichotomous partitions, that include the class of the R_s , which determines potential of the point and the class of R_u , determined by the level number, the power of which are:

$$|R_s| = |R_u| = N/2.$$

With decreasing values of the potential at the hypersurface whose potentials are in the range from $N-2$ to $N/2$ unit, the number of levels into which hypersurface this point is

incremented. This is due to the fact that the decrease in unit performance class determined the potential points can increase the capacity of the class, which determines the level number, and per unit.

When changing value per unit potential of the hypersurface whose potential is in the range of $N/2$ to 2 per unit, the number of levels into which the set points of the hypersurface is decremented. This is due to the condition of Lemma 1, according to which class power determines the potential of points, is not less than the power of any class of the partition.

From the foregoing, it follows the following assertion.

Assertion 1. The number of levels into which a hypersurface points of the mixed potential U for even N , $N = |A|$, equal to:

$$e_N^r = \begin{cases} N - PotU - 1, & \text{if } PotU \geq \frac{U}{2} \\ PotU - 1, & \text{if } PotU < \frac{U}{2} \end{cases}$$

For odd N , $N = |A|$, the number of hypersurfaces, i.e., even potential. Potentials hypersurfaces, the set of points that are divided by (3) at $max l_N$ levels, and are equal to $(N-1)/2$ and $(N+1)/2$;

Then on the hypersurface U_1 , $Pot U_2 = (N-1)/2$, the level of points having a number of $max l_N$, described dichotomous partitions for which holds: $|R_s| - |R_u| = 1$.

U_2 hypersurface point, $Pot U_2 = (N-1)/2$, located at the level of numbers $max l_N$, describes three classes comprising ranking. Two of these classes are classes R_s and R_u , which $|R_s| = |R_u|$, and one singleton class.

With the decrease of potential values per unit of the hypersurface whose potential is in the range of $N-2$ to the number of levels into which the points of this hypersurface is incremented. This is due to the fact that the decrease per unit of class power determines the potential of points, can increase the power per unit class, which determines the level of the point number.

From the foregoing it follows that the following claims.

Assertion 2. The number of levels into which divided the hypersurface mixed potential points U for odd N , $|A| = N$, is equal to

$$e_N^H = \begin{cases} U - PotU - 1, & \text{if } PotU \geq \frac{N+1}{2} \\ PotU - 1, & \text{if } PotU < \frac{N-1}{2} \end{cases} \quad (4)$$

Simplifying the expression (3 and 4) to find the number of levels into which divided any potential hypersurface.

Lemma 3. The number of levels into which divided the hypersurface U mixed potential outlets for even N is

$$l_N = \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor - 1 - \left(\left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor - PotU \right) \quad (5)$$

Lemma 4. The number of levels into which divided the hypersurface U , $Pot U$, mixed potential points when N is odd

$$l_N = \begin{cases} \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor - 1 - \left(\left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor - PotU \right) & \text{if } PotU \neq \frac{N+1}{2} \text{ when } N \text{ is even} \\ \frac{N}{2} - 1 & \text{if } PotU \neq \frac{N+1}{2} \text{ when } N \text{ is odd} \end{cases}$$

All points given potential hypersurface one level are divided into subsets corresponding to that form of the orbit of this level. Partitioning (level) of points on the orbit is made with regard to the number of two-element classes included in the ranking, describing the points under consideration. At the same classes that define the potential points and their level number, do not affect the orbit number.

The orbit number, on which the point R will be denoted NoR .

Definition 3. The orbit number, on which is the point of the mixed potential $R=(R_1, \dots, R_m)$ is equal to:

$$NoR = \sum_{i \in Q} \frac{|R_i|}{2} + 1; \quad Q = \{i \mid |R_i| = 2, i=1, \dots, m, i \neq s, i \neq u\} \quad (7)$$

where R_s -class that defines the potential of points R , R_u - class, which determines the number of levels on which the point R .

From the definition 3 follows that the first level of the first hypersurface orbit of any potential, located points of the mixed potential, described rankings do not contain any class of power, equal to two, not including classes, defining the points and the potential number of levels on which they are located.

The number of two-element classes in the rankings, describing a couple of points of equal potential and level, located on adjacent orbits differ by one.

Let derive expressions for defining the maximum number of orbit into which divide a certain level of points given hypersurface.

Let ranked objects sets $A=(a, b, c \dots)$, whose power is equal to N . The number of elements of which will be formed

$$l_N = \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor - 1 - \left(\left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor - PotU \right) \quad (6)$$

Theorem. The number of levels into which divided the hypersurface of the U , a mixed potential points is equal to:

two-element classes during the transition from one orbit to another on hypersurface U , i -level, equal to $N - PotU - (i+1)$. As the first point of the orbit described by the rankings, which contain apart from the class, which determines the potential of the rankings, and the class that defines the level number, a single-element classes, it follows that the following lemma holds.

Lemma 5. The number of orbits into which the i -th level of the U hypersurface, is equal to

$$r^i = \left\lfloor \frac{N - PotU - (i+1)}{2} \right\rfloor + 1 \quad (8)$$

Here the square brackets denote the integer part of the number.

The definition 3 it follows that on the first level of the first hypersurface orbit of any potential, located in terms of the mixed potential, described rankings do not contain any class.

CONCLUSION

Results of the study hypersurface structure selected as a space descriptions session key images form a field of knowledge, to recognize the device, based on the use of the geometric approach to finding solutions group.

REFERENCES

- [1] В.Е. Глущенко, Ю.В. Глущенко Методика формування семантичних ключів. Вісн. Східноукр. нац. ун-т. В.Даля, -Луганськ. - 2009. -№6, Ч.1. -С. 189-193.
- [2] В.С. Глущенко, М.Л. Петришин Формування завадостійкого коду семантичних ключів. Матеріали статей п'ятої Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія", - Івано-Франківськ. 2015. - с.171-174.

Про неіснування матриць максимального індексу розгалуження над кільцем лишків за модулем 2^n

С.В. Яковлєв

кафедра математичних методів захисту інформації,
Фізико-технічний інститут,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
Київ, Україна
yasv@rl.kiev.ua

В.В. Дідан

кафедра математичних методів захисту інформації,
Фізико-технічний інститут,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
Київ, Україна
vdidan@mail.ru

On the non-existence of matrices of maximum branch number over ring of residues modulo 2^n

S. Yakovlev

Department of Mathematical Methods of Information
Security,
Institute of Physics and Technology,
National Technical University of Ukraine
“Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
yasv@rl.kiev.ua

V. Didan

Department of Mathematical Methods of Information
Security,
Institute of Physics and Technology,
National Technical University of Ukraine
“Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
vdidan@mail.ru

Анотація — Доведено неіснування матриць максимального індексу розгалуження над кільцем лишків за модулем 2^n та проаналізовано наслідки для побудови криптографічних алгоритмів, які використовують операцію додавання за модулем для лінійного розсіювання.

Abstract — We prove that no matrix over the ring of residues modulo 2^n has maximal branch number and show how this claim influences the cryptographic properties of algorithms which uses modular addition in the linear diffusion layer.

Ключові слова — індекс розгалуження; розсіюючий шар; додавання за модулем

Keywords — branch number; diffusion layer; modular addition

I. ВСТУП

Всі сучасні симетричні блокові шифри побудовані відповідно до класичних принципів Шеннона [1] і складаються з лінійних перетворень, які забезпечують розсіювання статистичних характеристик (diffusion), та нелінійних перетворень, які забезпечують перемішування (confusion) даних та ключа. Розсіюючий шар виконує істотну роль в блокових шифрах. Він забезпечує стійкість

проти таких відомих атак на блокові шифри, як диференціальний та лінійний криптоаналіз [2, 3].

Одним з найбільш популярних типів лінійних перетворень, що використовуються в блокових шифрах, є перетворення на основі матриць з максимальним індексом розгалуження над скінченим полем характеристики 2. Шари такого типу використовуються в таких відомих блокових шифрах, як AES [4], «Кузнечик» [5], ДСТУ 7624:2004 («Калина») [6].

На даний момент перетворення над скінченими полями характеристики 2, які використовуються в блокових шифрах, достатньо вивчені, обґрунтований їх вплив на стійкість шифру до різного роду атак, чого не можна сказати про перетворення над кільцем лишків за модулем. Однак операція додавання за модулем має ряд бажаних криптографічних властивостей, зокрема, суттєво підвищує стійкість шифрів до лінійного та алгебраїчного криптоаналізу. Тому постає задача пошуку перетворень над кільцем лишків за модулем 2^n , використання яких дало б змогу побудувати криптографічно стійкі шифри з теоретичної та практичної точки зору.

Поставлене завдання вирішується шляхом побудови перетворення над кільцем лишків аналогічно

перетворенню над скінченим полем, а саме: побудова матриці максимального індексу розгалуження над кільцем лишків за модулем 2^n .

II. НЕОБХІДНІ ТЕРМІНИ ТА ПОЗНАЧЕННЯ

Кільце лишків за модулем 2^n – це алгебраїчна структура, що складається з множини цілих чисел від 0 до $2^n - 1$ та визначеними на ній операціями додавання та множення за модулем 2^n .

Матриця $m \times n$ над кільцем лишків за модулем 2^n – це прямокутна таблиця $A = \|a_{ij}\|$, $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq n$, де кожен a_{ij} є елементом кільця лишків за модулем 2^n .

Підматрицею матриці A називається матриця, що отримана шляхом викреслювання рядків або стовпців матриці A .

Матриця над кільцем лишків за модулем 2^n є невивроженою, якщо її визначник взаємнопростий з 2^n , тобто є непарним числом.

Індексом розгалуження β матриці M розмірності $k \times k$ над кільцем лишків за модулем 2^n називається найменше число з суми ненульових елементів $k \times 1$ -вектора X та $k \times 1$ -вектора $Y = M \cdot X$ (позначається як $wt(X)$ і $wt(Y)$ відповідно) серед всіх $X \neq 0$, тобто $\beta = \min_{X \neq 0} \{wt(X) + wt(Y)\}$, де $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)^T$ та $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)^T$ – вектори, що складаються з елементів кільця лишків за модулем 2^n .

Індекс розгалуження β називається максимальним, якщо для матриці M розмірності $k \times k$ він дорівнює $k + 1$ [7].

III. ПОШУК МАТРИЦЬ З МАКСИМАЛЬНИМ ІНДЕКСОМ РОЗГАЛУЖЕННЯ НАД КІЛЬЦЕМ ЛИШКІВ ЗА МОДУЛЕМ 2^n

Для матриці M розмірності $n \times n$ доведено [8], що $\beta = n + 1$ тоді і тільки тоді, коли ранг кожної підматриці матриці M розмірності $k \times k$ дорівнює k для всіх $1 \leq k \leq n$, тобто всі квадратні підматриці є невивродженими. Перевіримо, чи виконується дана умова для матриць над кільцем лишків за модулем 2^n .

Нехай M – матриця розмірності $n \times n$ над кільцем лишків за модулем 2^n , β – індекс розгалуження матриці M . Нехай для $n \times 1$ -вектора X маємо $wt(X) = l$. Тоді для вектора $Y = M \cdot X$ справедливо $wt(Y) \geq \beta - l$ за визначенням індексу розгалуження. Розглянемо вектори X з одним ненульовим елементом, тобто $wt(X) = 1$. Тоді щоб індекс розгалуження для матриці M був максимальним необхідно, щоб $wt(Y) = n$. Але якщо відповідний стовпчик матриці M містить парні елементи,

то для них можна підібрати такі множники, які дадуть у результуючому векторі Y нульове значення у відповідній координаті. Таким чином, для того, щоб індекс розгалуження був максимальним, необхідно, щоб матриця M складалась лише з непарних елементів.

Розглянемо тепер довільну підматрицю розмірності 2×2 матриці M . Очевидно, що оскільки всі її елементи – непарні числа, то її визначник буде парним числом. Отже, всі ці підматриці є вивродженими над кільцем лишків за модулем 2^n , що суперечить умові. Таким чином, над кільцем лишків за модулем 2^n не існує матриць з максимальним індексом розгалуження.

IV. ВИСНОВКИ

Індекс розгалуження є важливим параметром лінійних перетворень, які використовуються у слово-орієнтованих симетричних шифрах та геш-функціях. Чим більше значення індексу розгалуження, тим вища стійкість відповідного криптоалгоритму до диференціальних та лінійних атак. Операція модульного додавання також має добрі криптографічні властивості, що підвищує стійкість криптографічних алгоритмів до лінійних та алгебраїчних атак. Однак в даній роботі було показано, що ці дві властивості в деякому сенсі суперечать одна одній, оскільки лінійні перетворення над кільцем лишків за модулем 2^n принципово не можуть досягнути максимального значення індексу розгалуження.

При побудові криптографічних примітивів певного рівня стійкості необхідно враховувати цей факт та підвищувати стійкість до відомих криптографічних атак не тільки за рахунок лінійного розсіюючого шару, але й іншими засобами. В подальших дослідженнях планується знайти максимальне теоретичне значення індексу розгалуження матриць над кільцем лишків та побудувати перетворення, застосовні з криптографічної точки зору.

V. ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] C. E. Shannon, "Communication theory of secrecy systems", Bell Syst. Tech. J., vol. 28, pp. 656-715, Oct. 1949.
- [2] E. Biham, A. Shamir, "Differential Cryptanalysis of DES-Like Cryptosystems", CRYPTO '90, LNCS, vol. 537, pp. 2-21, Springer, 1991.
- [3] M. Matsui, "Linear Cryptanalysis Method for DES Cipher", EUROCRYPT '93, LNCS, vol. 765, pp. 386-397, Springer, 1994.
- [4] J. Daemen, V. Rijmen, "The design of Rijndael: AES – The Advanced Encryption Standard", Springer Verlag, 2002.
- [5] Shishkin, V. Low-Weight and Hi-End: Draft Russian Encryption Standard. / V. Shishkin, D. Dygin, I. Lavrikov, G. Marshalko, V. Rudskoy, and D. Trifonov // Current Trends in Cryptology (Moscow, 2014). — 2014. — pp. 183—188.
- [6] Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення: ДСТУ 7624:2014. – К.: Держспоживстандарт України, 2015. – 238 с.
- [7] S. M. Dehnavi, A. Mahmoodi Rishakani, M. R. Mirzaee Shamsabad, Hamidreza Maimani, Einollah Pasha, "Construction of New Families of MDS Diffusion Layers", IACR Cryptology ePrint Archive, 2014 [Online]. Available: <https://eprint.iacr.org/2014/011>.
- [8] Ju-Sung Kang et al, "Practical and Provable Security against Differential and Linear Cryptanalysis for Substitution-Permutation Networks", ETRI Journal, Vol.23, No.4, Dec. 2001.

Перевірка «випадковості» генерації S-блоків алгоритму шифрування ДСТУ 7624:2014

М.П. Оксьоненко

кафедра математичних методів захисту інформації,
Фізико-технічний інститут,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
Київ, Україна
maksoks94@gmail.com

С.В. Яковлев

кафедра математичних методів захисту інформації,
Фізико-технічний інститут,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
Київ, Україна
yasv@rl.kiev.ua

Testing the “random” generation of S-boxes of encryption algorithm DSTU 7624:2014

M. Oksonenko

Department of Mathematical Methods of Information
Security,
Institute of Physics and Technology,
National Technical University of Ukraine
“Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
maksoks94@gmail.com

S. Yakovlev

Department of Mathematical Methods of Information
Security,
Institute of Physics and Technology,
National Technical University of Ukraine
“Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
yasv@rl.kiev.ua

Анотація — Перевірено криптографічні властивості S-блоків шифру ДСТУ 7624:2014 «Калина» та його попередньої версії 2007-го року. Показано, що S-блоки останньої версії були знайдені не шляхом випадкового пошуку.

Abstract — We examine some cryptographic properties of S-boxes of DSTU 7624:2014 (“Kalyna”) cipher and its previous 2007-year version. We show that S-boxes of last version of this cipher cannot be randomly generated.

Ключові слова — S-блок; таблиця імовірностей диференціалів; таблиця імовірностей лінійних апроксимацій

Keywords — S-box; difference distribution table; linear approximations table

I. ВСТУП

Швидкий розвиток інформаційних технологій зумовив розвиток і впровадження криптографічних алгоритмів і протоколів в різні сфери нашого життя. Питання захисту конфіденційності даних постає майже в усіх системах електронної обробки даних. Блокові шифри є поширеним криптопримітивом для забезпечення конфіденційності. Складові сучасних блокових шифрів обираються через призму відомих методів криптоаналізу для забезпечення самого високого рівня надійності. Однак методи

криптоаналізу постійно вдосконалюються, тому необхідно постійно проводити ретроспективну оцінку криптографічної стійкості наявних алгоритмів.

У 2015 році в Україні був прийнятий новий національний стандарт блокового шифрування ДСТУ 7624:2004 («Калина») [1]. Розробники стверджують, що одні з головних структурних одиниць даного шифру, таблиці нелінійної заміни (S-блоки), були одержані шляхом випадкового пошуку. В даній роботі за допомогою статистичного аналізу це твердження буде перевірено.

II. НЕОБХІДНІ ТЕРМІНИ ТА ПОЗНАЧЕННЯ

S-блок – функція, що приймає на вхід n біт і перетворює їх за визначеним правилом, видаючи на виході m біт. n та m не обов’язково рівні між собою. Якщо $m = n$, то мова йде про бієктивний S-блок. В шифрах, які ми розглядаємо, використовуються саме бієктивні перетворення.

Нехай $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ – деяке відображення.

Таблиця імовірностей диференціалів (Difference Distribution Table, DDT) відображення f – матриця $\|d_{ij}\|$ розмірності $2^n \times 2^n$, де кожний елемент d_{ij} знаходиться за формулою:

$$d_{ij} = \left| \{x \in \{0,1\}^n : f(x \oplus i) \oplus f(x) = j\} \right|.$$

Таблиця імовірностей лінійних апроксимацій (Linear Approximation Table, LAT) відображення f – матриця $\|c_{ij}\|$ розмірності $2^n \times 2^n$, де кожний елемент c_{ij} знаходиться за формулою:

$$c_{ij} = \left| \{x \in \{0,1\}^n : x \cdot i = f(x) \cdot j\} \right| - 2^{n-1} = \frac{1}{2} \sum_x (-1)^{xi \oplus f(x) \cdot j}.$$

Імовірності диференціалів та лінійних апроксимацій визначають стійкість криптоперетворень до диференціального та лінійного криптоаналізу.

III. ПЕРЕВІРКА S-БЛОКІВ НА «ВИПАДКОВІСТЬ»

Розробники шифру «Калина» декларували, що S-блоки даного алгоритму одержані шляхом випадкового пошуку: генерувалась випадкова підстановка, яка перевірялась на ряд умов на криптографічні параметри; підстановки, які не задовольняли умовам, відкидалились. Табличне представлення замість аналітичного визначення (як то зроблено, скажімо, в шифрі AES) було обрано спеціально для захисту від алгебраїчних атак.

Існують теоретичні оцінки для певних статистичних параметрів випадкових S-блоків – зокрема, визначено теоретичну імовірність, що для випадкового S-блоку максимальне значення λ таблиці DDT (LAT) буде зустрічатись не більше ніж N разів [4]. За допомогою цих параметрів можна встановити, скільки необхідно перебрати випадкових S-блоків, щоб знайти S-блок із заданими параметрами.[3]

Для DDT 8-бітного S-блоку відповідна імовірність оцінюється за такою формулою:

$$\Pr(\lambda, N) = \sum_{t=0}^N C'_{255^2} D(\lambda)^t \left(\sum_{d=0}^{\frac{\lambda-1}{2}} D(2d) \right)^{255^2-t},$$

де $D(2d) = \frac{e^{-\frac{1}{2}}}{2^d d!}$ – імовірність розподілу Пуассона із параметром $\frac{1}{2}$. Аналогічна формула для LAT має вид

$$\Pr(\lambda, N) = \sum_{t=0}^N C'_{255^2} (L(\lambda) + L(-\lambda))^t \left(\sum_{d=-\frac{\lambda}{2}+1}^{\frac{\lambda-1}{2}} L(2d) \right)^{255^2-t},$$

де $L(2d) = \frac{\binom{C_{128}^{64+d}}{C_{256}^{128}}}{C_{256}^{128}}$ – імовірність гіпергеометричного розподілу.

Нами було розглянуто вісім S-блоків S_0, \dots, S_7 з шифру «Калина» 2007 р. [2] та чотири S-блоки π_0, \dots, π_3 з шифру «Калина» 2014 р [1]. Для кожного з них побудовано таблицю імовірності диференціалів і таблицю імовірністю лінійних апроксимацій та обчислено значення параметрів

λ , N та $\Pr(\lambda, N)$. Результати обчислень наведено у таблиці I. Значення імовірностей $\Pr(\lambda, N)$ для DDT та LAT S-блоків шифрів «Калина»

ТАБЛИЦЯ I. ЗНАЧЕННЯ ІМОВІРНСТЕЙ $\Pr(\lambda, N)$ ДЛЯ DDT ТА LAT S-БЛОКІВ ШИФРІВ «КАЛИНА»

S-блок	DDT			LAT		
	λ	N	$\Pr(\lambda, N)$	λ	N	$\Pr(\lambda, N)$
π_0	8	15	$\approx 2^{-90}$	24	44	$\approx 2^{-200}$
π_1	8	9	$\approx 2^{-100}$	24	28	$\approx 2^{-240}$
π_2	8	7	$\approx 2^{-120}$	24	42	$\approx 2^{-200}$
π_3	8	9	$\approx 2^{-100}$	24	40	$\approx 2^{-200}$
S_0	8	90	$\approx 2^{-18}$	32	2	$\approx 2^{-6}$
S_1	8	80	$\approx 2^{-20}$	30	6	$\approx 2^{-6}$
S_2	8	96	$\approx 2^{-18}$	32	2	$\approx 2^{-6}$
S_3	8	96	$\approx 2^{-18}$	32	4	$\approx 2^{-5}$
S_4	8	91	$\approx 2^{-18}$	32	8	$\approx 2^{-5}$
S_5	8	93	$\approx 2^{-18}$	32	5	$\approx 2^{-5}$
S_6	8	101	$\approx 2^{-18}$	32	3	$\approx 2^{-6}$
S_7	8	105	$\approx 2^{-18}$	32	3	$\approx 2^{-5}$

З наведених даних бачимо, що S-блоки S_0, \dots, S_7 першої версії шифру «Калина» цілком могли бути знайдені шляхом випадкового пошуку: складність такого пошуку в середньому становить $2^{18} \div 2^{20}$ перебору. Однак випадковий пошук S-блоків із параметрами підстановок π_0, \dots, π_3 вимагатиме $2^{100} \div 2^{200}$ спроб. Тому можна стверджувати, що S-блоки π_0, \dots, π_3 занайменше були певним аналітичним чином покращені для підсилення стійкості до диференціального та лінійного криптоаналізу.

IV. ВИСНОВКИ

Було показано, що генерація S-блоків алгоритму шифрування ДСТУ 7624:2014 «Калина» шляхом випадкового пошуку вимагає занадто великої кількості ресурсів (на відміну від генерації S-блоків попередньої версії шифру «Калина» 2007 року). Відповідно, можна стверджувати, що для генерування цих S-блоків використовувались певні аналітичні алгоритми, оцінка впливу яких на загальну криптографічну стійкість шифру наразі є недослідженою.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] R. Oliynykov, I. Gorbenko, O. Kazymyrov, V. Ruzhentsev, O. Kuznetsov, Y. Gorbenko, O. Dyrda, V. Dolgov, A. Pushkaryov, R. Mordvinov, D. Kaidalov. A New Encryption Standard of Ukraine: The Kalyna Block Cipher. – 2015. – <http://eprint.iacr.org/2015/650>
- [2] Горбенко І.Д. Перспективний блоковий шифр “Калина” – основні положення та специфікація / І.Д. Горбенко, О.С. Тоцький, С.В. Казьміна та ін. // Прикладна радіоелектроніка. – 2007. – Т.6, №2. – С.195-208
- [3] A. Biryukov, L. Perrin and A. Udovenko. Reverse-Engineering the S-Box of Streebog, Kuznyechik and STRIBOBr1 (Full Version). – 2016. – <http://eprint.iacr.org/2016/071>
- [4] J. Daemen, V. Rijmen. Probability distributions of correlation and differentials in block ciphers // Journal of Mathematical Cryptology. – №1(3). – 2007

Метод та спеціалізований процесор для байт-орієнтованого гешування даних

В.А. Лужецький
кафедра захисту інформації
Вінницький національний
технічний університет
Вінниця, Україна
lva_zi@mail.ru

Д.В. Кисюк
кафедра обчислювальної техніки
Вінницький національний
технічний університет
Вінниця, Україна
kneimad@gmail.com

А.О. Комаров
кафедра захисту інформації
Вінницький національний
технічний університет
Вінниця, Україна
komand9@gmail.com

Method and specialized processor of byte-oriented data hashing

V. Luzhetskyi
Department of
Information Protection
Vinnytsia National
Technical University
Vinnytsia, Ukraine
lva_zi@mail.ru

D. Kysiuk
Department of
Computer Science
Vinnytsia National
Technical University
Vinnytsia, Ukraine
kneimad@gmail.com

A. Komarov
Department of
Information Protection
Vinnytsia National
Technical University
Vinnytsia, Ukraine
komand9@gmail.com

Анотація—Розглядається метод та засіб неітераційного гешування, яке базується на використанні характеристичних ознак даних. Наведено математичні моделі запропонованого методу, а також функціональну та структурну модель спеціалізованого процесора для гешування даних.

Abstract — The method and tool of non-iteration hashing, based on the use of the characteristic features of the data was considered. The mathematical and schematic models and functional and structural model of a specialized processor of this method were presented.

Ключові слова: гешування, геш-функція, неітеративне гешування, байтова обробка даних, спеціалізований процесор.

Keywords: hashing, hash - function, noniterate hashing, byte-oriented hashing, specialized processor.

I. ВСТУП

Зростаючі вимоги, що висуваються до швидкості гешування даних, а також необхідність реалізації

пристроями з невеликими обчислювальними можливостями, приводять до необхідності розробки нових методів гешування, а також спеціалізованих пристроїв [1, 2].

Відомі геш-функції передбачають реалізацію у вигляді ітераційних процедур. Проте, у зв'язку з тим, що питання про лавиноподібний ефект з початковим заповненням при великій кількості ітерацій недостатньо досліджений, і, відповідно, використання цих функцій є недостатньо обґрунтованим. Також, до недоліків слід віднести такі їх особливості [3, 6]:

1) різний вплив блоків даних на остаточний результат гешування через нелінійність функцій перетворення (значення першого блоку бере участь у формуванні усіх проміжних геш-значень, а значення останнього блоку враховується лише на останній ітерації);

2) існує потенційна можливість за результатами кожної ітерації знайти колізію, тому зазвичай в даних методах

намагаються ускладнити функцію перетворення на кожній ітерації [4, 5].

Для усунення вказаних недоліків автори пропонують неітеративний метод гешування.

II. МЕТОД ГЕШУВАННЯ НА ОСНОВІ ХАРАКТЕРИСТИЧНИХ ОЗНАК БАЙТОВОЇ СТРУКТУРИ ДАНИХ

Кожне повідомлення можна охарактеризувати алфавітом, що використовується для побудови цього повідомлення. Як одну із характеристик повідомлення пропонується використовувати кількість входжень до повідомлення кожного окремого елемента алфавіту. Друга характеристика повідомлення – це номери позицій, в яких розташовані конкретні елементи алфавіту. З урахуванням цього пропонується метод, в якому спочатку визначаються такі дві характеристики, а потім – згортка отриманих результатів до коду, що має довжину геш-значення.

Вхідне повідомлення M розбивається на послідовність байтів:

$$M = \{ m_1, m_2, \dots, m_L \}.$$

Кожен байт розглядається як число n , що відповідає ASCII – коду символу представленого байтом $m_l (l = 1 \div L)$, тобто $n = f(m_l)$.

Повідомлення характеризується кількістю елементів k_n , що мають числовий еквівалент $n (n = 0 \div 255)$ та номерами позицій у яких розташовані ці елементи.

На основі цих характеристик утворюється два масиви K та S :

$$K = (k_0, k_1, \dots, k_{255}),$$

$$S = (s_0, s_1, \dots, s_{255}),$$

де: k_n – кількість байтів, що мають числовий еквівалент n ;

s_n – сума номерів позицій, на яких розташований байт з числовим еквівалентом n ;

$$s_n = (\sum_{j=1}^{k_n} l_j^n) \bmod 2^8.$$

Узагальнена схема процесу гешування наведена на рис. 1.

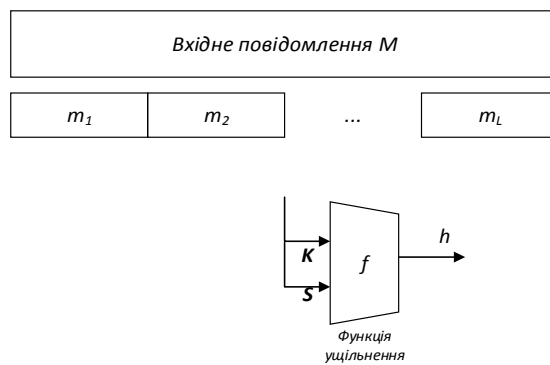


Рис. 1. Узагальнена схема процесу гешування

Для підрахунку геш-коду виконуються такі операції над елементами масивів K та S .

1. Додаються побайтно елементи масивів K та S , які мають розмір 8 байт, причому елементи масиву K беруться з початку, а елементи масиву S беруться з кінця.
2. Над першою половиною байтів результату виконується циклічний зсув праворуч на 4 біти.
3. До перших 4 байтів результату додаються за модулем два останні 4 байти, які переставлені в зворотному порядку.
4. Перші 2 байти результату циклічно зсуваються на 4 біти.
5. Додаються за модулем два 1 і 3, 2 і 4 байти.
6. Перший байт циклічно зсувається на 4 біти.
7. Додаються за модулем 2 перший і другий байти.

Результатом виконання цих операцій є послідовність H^* з 256 байт.

Далі масив H^* представляється як 8 32-байтних чисел $H^* = (H_1^*, H_2^*, H_3^*, H_4^*, H_5^*, H_6^*, H_7^*, H_8^*)$. Виконується нагромаджувальне множення елементів масиву H^* :

$$D_1 = H_1^* \boxtimes H_2^*, D_2 = D_1 \boxtimes H_3^*, D_3 = D_2 \boxtimes H_4^*, \dots, D_7 = D_6 \boxtimes H_8^*.$$

Тут символ \boxtimes означає звичайне множення двох 32-байтних співмножників, результатом якого є 64-байтний код, з подальшим додаванням за модулем 2^{256} старших і молодших 32 байтів.

Результат гешування – $h = D_7$.

III. СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ПРОЦЕСОР

IV. Спеціалізований процесор для гешування даних названо МН-процесор (message hashing). МН-процесор певним чином підключений до центрального процесора комп'ютера і вони обмінюються потоками даних, виконуючи функції, перелік яких наведено в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ І. РОЗПОДІЛ ВИКОНУВАНИХ ФУНКЦІЙ МІЖ ПРОЦЕСОРАМИ

Виконувані функції	
Центральний процесор	Спеціалізований процесор
1. Зчитування файлу або даних та формування послідовності М .	1. Обчислення геш-значення за запропонованим алгоритмом.
2. Отримання послідовності Н .	

Оскільки файли, для яких буде обчислюватись геш-значення, зберігаються в пам'яті комп'ютера, то передбачається, що центральний процесор буде виконувати зчитування файлу та формування послідовності **М**. На МН-процесор покладаються обчислення геш-значення.

Схему оброблення потоку даних у МН-процесорі наведено на рис. 2. Появлення даних на вхідній шині МН-процесора приводить до ініціювання процесу «ВХІДНИЙ ДИСПЕТЧЕР» (DI), який спрямовує потік даних (**М**) до процесу ініціалізації (PI). Далі потік даних спрямовується до процесу «ЗГОРТКА» (PC). Результат процесу згортки ініціює процес «МНОЖЕННЯ» (PM). Завершення процесу PM приводить до дії процесу «ВИХІДНИЙ ДИСПЕТЧЕР» (DO), який збирає отримані результати і організовує з них потік даних (**Н**) до центрального процесора.

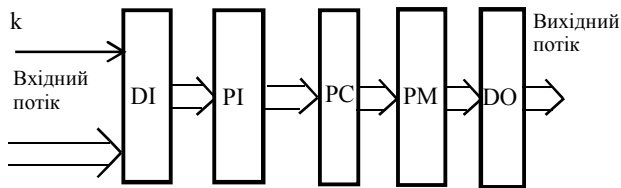


Рис. 2. Функціональна модель МН-процесора

Функціональній моделі МН-процесора, відповідає структурна модель, яку наведено на (рис.3).

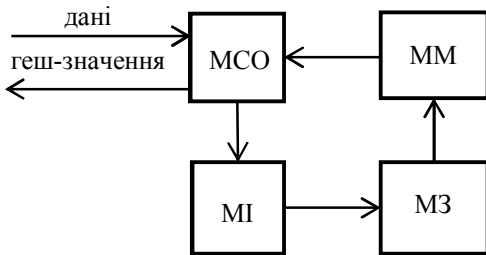


Рис. 3. Структура МН-процесора

До складу МН-процесора входять:

- модуль системних операцій (MCO), що здійснює

зв'язок з центральним процесором і реалізує процеси DI і DO;

- модуль ініціалізації (MI), що реалізує процес PI;
- модуль згортки (M3), що реалізує процес PC;
- модуль множення (MM), що реалізує процес PM.

Модуль ініціалізації містить дві пам'яті обсягом 256x8 байтів кожна, які використовуються для зберігання масивів **K** та **S**. Лічильники Ліч1 і Ліч2, що забезпечують послідовне зчитування байтів даних від молодшого байту до старшого та навпаки, відповідно. Лічильник Ліч3 використовується для формування номеру позиції, в якій знаходиться конкретний байт даних. Суматор SM1 використовується для збільшення кількості певного байту в повідомленні на 1. Суматор SM2 використовується для додавання номеру позиції.

Модуль згортки містить пам'ять обсягом 256 байтів, що використовується для зберігання блоку даних **H***, 8 однобайтних суматорів, 10 однобайтних регістрів і лічильник.

Модуль множення складається з пристрою множення 256 бітних кодів та суматора за модулем 2^{256} .

ВИСНОВКИ

Запропонований метод хешування не передбачає ітеративної процедури обчислення геш-значення і, як наслідок, до нього не можуть бути застосовані відомі атаки на ітеративні геш-функції.

Використання характеристичних ознак вхідних даних та їх побайтна обробка значно прискорюють процес обчислення геш-значення, а також зменшують апаратні витрати на реалізацію такого методу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Лужецький В. А. Новий підхід до побудови криптографічних хеш-функцій / В. А. Лужецький, Д. В. Кисюк // «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія»; матеріали статей п'ятої міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 27-29 травня 2015 року. – Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2015 р. – с. 206-208..
- [2] Лужецький В. А. Узагальнений метод хешування байтової форми представлення інформації / В. А. Лужецький, Д. В. Кисюк // IV міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – Вінниця: ВНТУ, 2014., - 275с.
- [3] Aumasson J. P. SHA-3 proposal BLAKE / Henzen L., Meier W., Phan R. - 2010.
- [4] Bos J. W. Performance analysis of the SHA-3 candidates on exotic multi-core architectures / J. W. Bos, D. Stefan. - 2010.
- [5] Neves S. ChaCha implementation. - 2009. – Режим доступу до статті: <http://eden.dei.uc.pt/sneves/chacha/chacha.html>.
- [6] Knezevic M. Fair and consistent hardware evaluation of fourteen round two SHA-3 candidates / M. Knezevic, K. Kobayashi, J. Ikegami, S. Matsuo, A. Satoh, U. Kocabas, J. Fan April 2011.

Дослідження примітивів малоресурсної криптографії

В. П. Семеренко

кафедри обчислювальної техніки,
Вінницький національний технічний університет
м. Вінниця, Україна, vpsemerenko@ukr.net

Research of the Primitives in Low Resource Cryptography

V. P. Semerenko

Department of Computer Technique
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, 21021, Ukraine,
vpsemerenko@ukr.net

Анотація – Проведено аналіз криптостійкості стандартних засобів захисту інформації з обмеженими обчислювальними ресурсами. Обґрунтовано умови існування односторонніх функцій з врахуванням симетрії часу за допомогою теорії лінійних послідовнісних машин (ЛПС). Розглянуто функціонування лінійних конгруентних генераторів на основі автоматних моделей в полі Галуа. Запропонована структура малоресурсної односторонньої хеш-функції на основі теоретичного апарату ЛПС.

Abstract – The analysis of cryptoresistance of the standard protection with the restricted computable resources is done. The conditions of existence of one-way functions taking into account the time symmetry by help of the theory of linear finite state machine (LFSM) are proved. The functioning of linear congruent generators based on automaton models in Galois field is considered. The structure of the low resource one-way hash-function which based on theory of LFSM are suggested.

Ключові слова: малоресурсна криптографія, одностороння функція, хеш-функція, генератор псевдовипадкових чисел, лінійна послідовнісна схема

Keywords: low resource cryptography, one-way function, hash function, pseudorandom generator, linear finite state machine

I. ВСТУП

Магістральним шляхом розвитку інформаційних технологій в найближчі роки стане Інтернет Речей (Internet of Things, IoT). Цей напрямок характеризується

об'єднанням в єдину безпроводну мережу різноманітних приладів, сенсорів, давачів (типу міток радіочастотної ідентифікації, REID) [1].

Стрімкий розвиток таких технологій робить дуже актуальними питання, які пов'язані з їх інформаційною безпекою. Основною проблемою є те, що зазначені Інтернет-засоби мають значні обмеження на програмно-апаратні ресурси, що робить неможливим застосування до них відомих стандартних способів захисту інформації.

Ефективним вирішенням проблеми забезпе-чення інформаційної безпеки у світі Інтернету Речей може стати так звана «малоресурсна» (*low resource*) або «легковагова» криптографія (*lightweight cryptography, LWC*) [2].

Задачею проектування засобів малоресурсної криптографії є знаходження компромісу між наявними обмеженнями, ціною та криптостійкістю алгоритмів захисту. Такий компроміс можна шукати як на основі спрощення відомих так і розробці нових криптографічних засобів. Таким чином, сьогодні є актуальними дослідження з позицій малоресурсної криптографії таких базових примітивів як хеш-функції, генератори псевдо-випадкових чисел, блокові та потокові шифри тощо.

II. Односторонні функції

Розглянемо функцію F , яка перетворює двійковий рядок символів довжиною n в двійковий рядок символів довжиною m ($m \ll n$):

$$F: \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m$$

Функція F називається односторонньою (*one-way*), якщо виконуються такі умови [3]:

1. Для детермінованої машини Тьюрінга існує алгоритм, який для будь-якого аргументу x з поліноміальною складністю обчислює $y = F(x)$.

2. Ймовірнісна машина Тьюрінга може по заданому y визначити аргумент x із рівняння $y = F(x)$ з дуже малою ймовірністю:

$$P\{F(T_R(F(x))) = F(x)\} < \frac{1}{p(n)} \quad (1)$$

де $p(n)$ – деякий поліном розмірності n .

Неформально кажучи, одностороння функція $F(x)$ легко обчислює своє значення для будь-якого аргументу x , однак, дуже важко знайти аргумент функції по її значенню.

Одностороння функція є центральним поняттям в криптографії, багато криптографічних примітивів базуються на її основі, але саме існування такої функції до цього часу математично не доведено. Як не доведено та не спростовано збіг класів складності P та NP ($P \neq NP?$).

Цілком можливо, що розв'язання цієї проблеми не існує в рамках існуючої парадигми обчислень.

Тому спробуємо проаналізувати проблему існування односторонньої функції з іншого боку.

В сучасних моделях обчислювальних процесів використовується лінійна структура часу, яка направлена від минулого до майбутнього. Однак в фундаментальних законах фізики від класичної ньютонівської динаміки до теорії відносності та квантової динаміки категорія часу не містить в собі відмінності між минулим і майбутнім [4]. Це означає, що теореми, які вірні при зміні часу від “теперішнього” до “майбутнього”, будуть також вірними при зміні часу від “теперішнього” до “минулого”.

Відразу введемо необхідні уточнення.

По-перше, ми маємо на увазі не фізичну категорію часу, а лише математичну.

По-друге, будемо розглядати лише динамічні системи (ДС), які характеризуються множинами станів, входів і виходів, а також двома функціями: переходів і виходів. Обмежимося тільки інтегрованими ДС з одним ступенем свободи, для яких послідовність змін станів в часі утворює в просторі станів системи замкнуту фазову траєкторію у вигляді кола [5].

Найбільш розповсюдженим представником зазначених ДС є автономні кінцеві автомати, зокрема, автономні лінійні автомати. Саме такі автомати і використовуються в сучасній криптографії.

III. АВТОМАТНІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ ФУНКЦІЙ

Багатообіцяючим підходом в криптографії є використання теоретико-автоматних моделей.

Розглянемо криптографічні примітиви на основі теорії лінійних послідовнісних схем (ЛПС) [6].

ОЗНАЧЕННЯ 1. ЛПС з r елементами пам'яті, l входами і m виходами є кінцевим автоматом лінійного типу (лінійним автоматом), який над полем Галуа $GF(q)$ описується функцією станів (переходів)

$$S(t+1) = A \times S(t) + B \times U(t), \quad GF(2) \quad (1)$$

і функцією виходів

$$Y(t) = C \times S(t) + D \times U(t), \quad GF(2) \quad (2)$$

де t – дискретний час, $A = \|a_{ij}\|_{r \times r}$; $B = \|b_{ij}\|_{r \times l}$; $C = \|c_{ij}\|_{m \times r}$; $D = \|d_{ij}\|_{m \times l}$ – характеристичні матриці; $S(t) = \|s_i\|_r$; $U(t) = \|u_i\|_l$; $Y(t) = \|y_i\|_m$ – відповідно слово стану, вхідне і вихідне.

Елементи матриці A в (1) визначаються коефіцієнтами породжувального полінома, що свідчить про тісний зв'язок автоматного і поліноміального представлень в полях Галуа.

Найпростішою апаратною реалізацією ЛПС є загальновідомий регістр зсуву з лінійним оберненим зв'язком (РЗЛОЗ).

ОЗНАЧЕННЯ 2. Автономною ЛПС Λ_{fst} над полем $GF(2)$ називається така ЛПС, функціонування якої не залежить від вхідних сигналів і описується функцією станів (переходів)

$$S(t+1) = A \times S(t), \quad GF(2) \quad (3)$$

Апаратною реалізацією автономної ЛПС є РЗЛОЗ, який після запуску далі функціонує у вільному режимі згідно (3). При виборі матриці A в (3) на основі примітивного породжувального поліному r -вимірної ЛПС буде генерувати M -послідовність періоду $2^r - 1$, яка при великих r практично не відрізняється від випадкової послідовності. Тобто, така ЛПС буде псевдовипадковим генератором чисел (ПВГЧ) в полі. $GF(2)$

Такий ПВГЧ (назвемо його прямим) функціонує по шкалі часу від “теперішнього” до “майбутнього”.

Позначимо початковий стан ЛПС як $S(0)$, а кінцевий стан через тактів роботи прямого ПВГЧ як $S(n)$. Тоді послідовність обчислень згідно (3) можна компактно записати так:

$$S(n) = F_{fst}(S(0)) \quad (4)$$

ОЗНАЧЕННЯ 3. Оберненою автономною ЛПС A_{inv} над полем $GF(2)$ називається така ЛПС, функціонування якої не залежить від вхідних сигналів і описується функцією станів (переходів)

$$S(t) = A_{inv} \times S(t+1), \quad GF(2) \quad (5)$$

Апаратною реалізацією оберненої автономної ЛПС є ПВГЧ (назвемо його оберненим), який функціонує по шкалі часу від “теперішнього” до “минулого”.

Обернений ПВГЧ генерує елементи в полі Галуа в оберненому порядку в порівнянні з прямим ПВГЧ. Якщо обернений ПВГЧ почне працювати після прямого ПВГЧ, тоді можна зі стану $S(n)$ знову повернутись в стан $S(0)$:

$$S(0) = F_{inv}(S(n)) \quad (6)$$

Не важко зрозуміти, що повернутись в стан $S(0)$ іншим способом, наприклад, за допомогою функції переходів (3), «дуже важко». Таким чином, функція переходів (3), чи функція F_{fst} в (4), є односторонньою для прямого ПВГЧ.

Аналогічно, для оберненого ПВГЧ односторонньою функцією є функція станів (5) чи функція F_{inv} в (6).

Цікаво проаналізувати зв'язок між функціями F_{fst} і F_{inv} з позицій складності обчислень. Як видно з (3) та (6) ці функції в математичному сенсі відрізняються своїми характеристичними матрицями.

Матриці A та A_{inv} є взаємно оберненими, тобто їх добуток дорівнює одиничній матриці I :

$$A \times A_{inv} = I$$

Як відомо, послідовний алгоритм знаходження оберненої матриці в найгіршому випадку має часову складність $O(n^3)$ [7]. На практиці використовуються матриці A дуже простої структури, і фактично перехід від одної матриці до іншої вимагає лише двох циклічних операцій зсуву рядків і стовпців матриць [8].

Таким чином, задача переходу від F_{fst} до F_{inv} і навпаки має поліноміальну складність і належить до класу складності P . А самі обчислення за формулами (3) та (5) мають лінійну складність $O(n)$.

По суті функції F_{fst} та F_{inv} є дзеркальним відображенням одна одної і їх можна розглядати як дві сторони однієї інтегрованої функції F . І ця функція вже не є односторонньою при роботі з різними шкалами часу.

В [9] отримано фундаментальний результат, який коротко формулюється у вигляді такої теореми: «псевдовипадкові генератори існують тоді і лише тоді, коли існують односторонні функції».

Як показують вищенаведені розрахунки зазначена теорема буде справедливою при використанні лише одного часового напрямку.

IV. ЛІНІЙНИЙ КОНГРУЕНТНИЙ ГЕНЕРАТОР

Лінійний конгруентний генератор (ЛКГ) належить до найвідоміших генераторів псевдовипадкових чисел. Зважаючи на простоту реалізації та швидкість роботи його цілком можна віднести до засобів малоресурсної криптографії. Незважаючи на низьку криптостійкість, ЛКГ має дуже широку сферу застосування, зокрема, в компіляторах багатьох мов програмування.

ЛКГ формує псевдовипадкове число x_i згідно формули

$$x_i = (a \times x_{i-1} + c) \bmod m \quad (7)$$

де a, c, m - цілочислові константи ($i = 1, 2, 3, \dots$),

x_0 - початкове значення (зародок, *seed*).

Неважко помітити аналогію між ЛКГ та ЛПС.

Формули (3) і (7) реалізують примітивно-рекурсивну функцію з одним змінним параметром: час t для ЛПС і x_i для ЛКГ. Обчислення за модулем m в (7) аналогічне обчисленню в полі Галуа в (3). При правильному виборі констант в (7) ЛКГ буде генерувати достатньо довгу і статистично хорошу послідовність чисел, аналогічну М-послідовності для ЛПС.

Для аналізу криптостійкості ЛКГ розглянемо процедуру генерації чисел в (7) з позицій складності обчислень. Якщо зародок x_0 є секретним для супротивника, тоді формула (7) відповідає вимогам односторонньої функції.

Чи можна організувати генерацію чисел за допомогою ЛКГ в оберненому порядку?

Розглянемо спочатку найпростіший варіант ЛКГ, коли $c = 0$:

$$x_i = (a \times x_{i-1}) \bmod m \quad (8)$$

Інтерпретуючи ЛКГ як кінцевий автомат в полі Галуа $GF(m)$ неважко вивести формулу генерації псевдовипадкових чисел в оберненому порядку:

$$x_{i-1} = (a_{inv} \times x_i) \bmod m \quad (9)$$

де a_{inv} - константа, обернена до константи a .

Формули (8) і (9) є повними аналогами відповідних формул (3) і (5) для ЛПС. В загальному випадку, коли $c \neq 0$:

$$x_{i-1} = ((x_i + c) \times a_{inv} + c + w) \bmod m \quad (10)$$

де $w=1$ або $w=-1$ в залежності від співвідношення між константами a, c, m .

Величину a_{inv} в (9) і (10) можна розглядати, як обернений елемент поля Галуа відносно величини a , тобто співвідношення між вказаними числами таке:

$$a \times a_{inv} = 1 \bmod m$$

Отже, до аналізу ЛКГ можна застосувати всі основні теоретичні положення ЛПС відносно односторонніх функцій, які були розглянуті вище.

V. МАЛОРЕСУРСНІ ХЕШ-ФУНКЦІЇ

Перспективним напрямком в сфері мініатюризації обчислювальних пристроїв є розвиток RFID-технологій [1,2]. Ці технології базуються на автоматичній ідентифікації об'єктів, коли інформація передається за допомогою радіосигналів і зберігається в спеціальних RFID-мітках. Основними проблемами тут є забезпечення правильності передачі та збереження конфіденційності інформації, записаної в мітку.

Для перевірки цілісності та аутентичності повідомлень можна використати хешування, тобто ущільнення початкової послідовності X символів довільної довжини n в послідовність Y символів фіксованої довжини r ($r \ll n$). З-за суттєвих обмежень на часові та апаратні ресурси для RFID-технологій можна використовувати лише максимально «полегшені» хеш-алгоритми.

Для аналізу хеш-функцій також часто використовується автоматний підхід [10]. Розглянемо процедуру хешування на основі теоретичного апарату ЛПС [6]. В цьому випадку послідовність X можна інтерпретувати як вхідну послідовність символів, під дією якого ЛПС з деякого початкового стану $S(0)$ перейде в стан $S(n)$. Математичні перетворення в процесі ітеративних обчислень здійснюються згідно формули (1). Обчислений стан $S(n)$ і буде значенням функції хешування $H(X)$:

$$H(X) = S(n)$$

Така хеш-функція $H(X)$ буде придатною тільки для перевірки відсутності ненавмисних спотворень переданих повідомлень, тобто для перевірки цілісності даних.

Проаналізуємо детальніше умови криптостійкості зазначеної хеш-функції $H(X)$. Найважливішою властивістю криптографічної хеш-функції в термінах

теорії ЛПС є таке: легкість обчислення стану $S(n)$ по заданому початковому стану $S(0)$ і практичну неможливість (окрім повного перебору) знаходження стану $S(0)$ по відомому стану $S(n)$. Передбачається, що супротивнику можуть бути відомі характеристичні матриці ЛПС (структура обернених зв'язків при реалізації у вигляді РЗЛОЗ). Іншими словами, хеш-функція $H(X)$ має бути односторонньою функцією F_{fst} .

Однак така одностороння функція має підказку («потаємний вхід» – *trapdoorfunction*): початкове значення (*seed*) ПВГЧ, тобто початковий стан $S(0)$ ЛПС. Завдяки знанню $S(0)$ отримувач даних може згенерувати свою хеш-функцію $H''(X)$ і порівняти її з переданою хеш-функцією $H(X)$.

Звичайно, значення $S(0)$ має бути закритим для супротивника, тобто має стати r -розрядним секретним ключем K , який відомий лише передавачу та отримувачу даних. Таким чином, хеш-функція $H(X)$ має обов'язково бути ключовою. Окрім підвищення криптостійкості секретний ключ забезпечить також імітозахист в протоколах аутентифікації повідомлень.

Всі наведені вище міркування будуть справедливими лише при роботі в одному часовому напрямку, наприклад, від «теперішнього» до «майбутнього». Але, з однаковим успіхом можна працювати і в протилежному часовому напрямку: від «теперішнього» до «минулого». Тоді всі математичні докази стануть дзеркально протилежними і хеш-функція $H(X)$ має бути односторонньою функцією F_{inv} .

Одностороння функція F_{inv} також має підказку: останній стан $S(n)$ ЛПС, тобто саме значення хеш-функції $H(X)$. Засекретити значення $H(X)$ неможливо, але його можна захистити за допомогою r -розрядного секретного ключа, який має передаватись після основного повідомлення.

І на завершення розглянемо найбільш повний сценарій захисту даних за допомогою хеш-функції, коли можна почергово працювати в обох часових напрямках.

Тоді послідовність хешування даних буде такою: спочатку хешується секретний ключ K , далі – основне повідомлення, і на завершення знову хешується секретний ключ K .

В результаті матимемо односторонню хеш-функцію з одним закритим симетричним ключем, та з відкритими початковим станом (нульовим) і останнім станом ЛПС, тобто $H(X)$.

VI. ВИСНОВКИ

Багато обчислювальних пристроїв не мають змоги повноцінно реалізувати складні сучасні засоби захисту,

що потребує розробки криптозасобів з врахуванням обмежених ресурсів. Для ефективного вирішення зазначеної проблеми в роботі проведено дослідження криптостійкості для найпростіших генераторів псевдовипадкових чисел та хеш-функцій на основі автоматних моделей. Варто відзначити, що теоретичні результати, зокрема, про односторонні функції з врахуванням різних часових шкал, можуть бути використані при проектуванні систем будь-якої складності.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Zhou H., The Internet of Things in the Cloud: A Middleware Perspective. – CRC Press, 2012.
- [2] Жуков А. Е. Легковесная криптография [Текст] / А. Е. Жуков // Вопросы кибербезопасности . – 2015. – № 1(9). – С. 26–43.
- [3] Введение в криптографию [Текст] / Под общ. ред. В. В. Ященко. – 4-е изд., доп. – М.: МЦНМО, 2012. – 348 с.
- [4] Хокинг С. Краткая история времени: От Большого взрыва до черных дыр. – СПб.: Амфора, 2008. – 231 с.
- [5] Семеренко, В. П. Темпоральные модели параллельных вычислений [Текст] / В. П. Семеренко // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2014. – Vol. 1. – P. 13–25.
- [6] Гилл, А. Линейные последовательностные машины [Текст] / А. Гилл; пер. с англ. – М.: Наука, 1974. – 288 с.
- [7] Миллер Р. Последовательные и параллельные алгоритмы: Общий подход / Р. Миллер, Л. Боксер. пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 406 с.
- [8] Семеренко В. П. Теорія циклічних кодів на основі автоматних моделей : монографія [Текст] / В. П. Семеренко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 444 с.
- [9] Hastad J. A pseudorandom generator from any one-way function / J. Hastad, R. Impagliazzo, L. A. Levin, and M. Luby // *SIAM Journal of Computing*. – 1999. – 29(4). – P. 1364-1396.
- [10] Jeon J. C. Analysis of Hash Functions and Cellular Automata Based Schemes [Text] / J. C. Jeon // *International Journal of Security and Its Applications*. – 2013. – Vol. 7. – No. 3, May. – P. 303-316.

СЕКЦІЯ 6.

***Математичне та комп'ютерне
моделювання складних систем***

Моделювання динаміки пуску верстата

Л.Ф. Дзюба

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна
lidadz111@gmail.com

О.В. Меньшикова

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна
helga.menshikowa@gmail.com

М.І. Кусій

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Львів, Україна

Modeling of machine start dynamic process

L. Dzuba

Department of Applied Mathematics and Mechanics,
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
lidadz111@gmail.com

O. Menshykova

Department of Applied Mathematics and Mechanics,
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
helga.menshikowa@yandex.ua

M. Kusiya

Department of Applied Mathematics and Mechanics,
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
kusijmiroslava@gmail.com

Анотація—Виконано математичне моделювання динамічного процесу під час вмикання механізму різання горизонтального стрічковопилкового верстата. Виникаючі коливання моделюються з урахуванням електромагнітних процесів у двигуні та коливальних процесів в еквівалентній пружній системі механізму різання. Сумісний розв'язок системи диференціальних рівнянь круглих коливань пружної системи механізму різання та диференціальних рівнянь електромагнітного стану двигуна виконаний методом Ейлера у середовищі Maple V.

Abstract—Mathematical modeling of the dynamic process during the horizontal band saw machine cutting mechanism turning has been completed. The resulting vibrations are modeled on the basis of electromagnetic processes in the engine and oscillatory processes in the cutting mechanism equivalent elastic system. Compatible solution of the cutting mechanism twisting vibration differential equations system and the engine's electromagnetic state differential equations are made in the environment by Euler's method.

Ключові слова—*перехідний процес, крутильні коливання, механізм різання, електромагнітний стан двигуна*

Keywords—*transitional process, torsional vibrations, cutting mechanism, electromagnetic condition of the engine*

Динамічні навантаження на елементи конструкцій під час вмикання двигунів досліджують переважно з використанням зведених двомасових моделей [1]. Однак особливості конструкцій деяких механізмів потребує побудови моделей з більшою кількістю зведених мас. Оскільки в механізмі різання горизонтального стрічковопилкового верстата обертальні маси розміщені на трьох валах, а стрічкова пилка є водночас і тяговою ланкою, і пиляльним інструментом, то в розрахунковій моделі її доцільно виділити як окрему пружну ланку (рис.1). Така розрахункова схема механізму різання дозволяє встановити додаткове динамічне навантаження на інструмент під час пуску верстата з урахуванням взаємодії складників пружної системи верстата: електродвигуна, механізмів передавання та пиляльного інструменту. Тому метою цієї роботи є моделювання динамічних процесів у приводі механізму різання горизонтального стрічковопилкового верстата під час його вмикання.

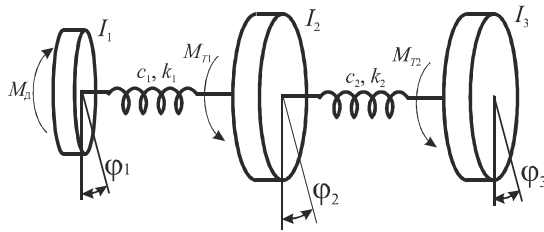


Рис. 1. Розрахункова схема механізму різання стрічковопилкового верстату

Складені на підставі рівнянь Лагранжа другого роду та подані у нормальному вигляді Коші диференціальні рівняння малих коливань еквівалентної пружної системи механізму різання відповідно до розрахункової схеми мають вигляд:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}; \omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt}; \omega_3 = \frac{d\varphi_3}{dt} \\ \frac{d\omega_1}{dt} = -\frac{k_1}{I_1}(\omega_1 - \omega_2) - \frac{c_1}{I_1}(\varphi_1 - \varphi_2) + \frac{M_{Д}(t)}{I_1}; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{k_1}{I_2}(\omega_1 - \omega_2) - \frac{k_2}{I_2}(\omega_2 - \omega_3) + \\ + \frac{c_1}{I_2}(\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{c_2}{I_2}(\varphi_2 - \varphi_3) - \frac{M_{T1}}{I_2}; \\ \frac{d\omega_3}{dt} = \frac{k_2}{I_3}(\omega_2 - \omega_3) + \frac{c_2}{I_3}(\varphi_2 - \varphi_3) - \frac{M_{T2}}{I_3}, \end{cases} \quad (1)$$

де I_1, I_2, I_3 – зведені до вала електродвигуна моменти інерції обертальних мас, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – узагальнені координати, якими є кути повороту відповідних зведених мас; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – узагальнені кутові швидкості відповідних мас, k_1, k_2, c_1, c_2 – зведені коефіцієнти в'язкого опору та жорсткості пружних ланок; M_{T1}, M_{T2} – зведені моменти сил опору, зумовлені тертям у підшипниках валів; $M_{Д}(t) = \frac{3}{2} p_0 L_m (i_{rx} i_{sy} - i_{ry} i_{sx})$ – електромагнітний момент двигуна, p_0 – число пар магнітних полюсів двигуна, L_m – робоча індуктивність двигуна, $i_{rx}, i_{ry}, i_{sx}, i_{sy}$ – проекції струмів ротора (індекс r) та статора (індекс s) на координатні осі x, y . Для визначення струмів статора та ротора використовують рівняння електромагнітного стану машини

$$\begin{cases} \frac{di_s}{dt} = A_s(u_s + \Omega_s \Psi_s - R_s i_s) + B_s(\Omega_r \Psi_r - R_r i_r); \\ \frac{di_r}{dt} = A_r(\Omega_r \Psi_r - R_r i_r) + B_r(u_s + \Omega_s \Psi_s - R_s i_s), \end{cases} \quad (3)$$

де i_s, i_r, u_s – матриці-колонки струмів і напруг; A_s, B_s, A_r, B_r – квадратні матриці зв'язку; Ω_s, Ω_r – матриці частот обертання; Ψ_s, Ψ_r – матриці

потокозчеплень; R_s, R_r – активні опори. Для обчислення вказаних параметрів за методикою [2] використовують технічні характеристики електродвигуна.

Системи диференціальних рівнянь (1), (3) повністю описують динамічний стан електромеханічної системи механізму різання горизонтального стрічковопилкового верстату.

Для сумісного розв'язку систем диференціальних рівнянь (1), (3) з урахуванням (2) прийняті нульові початкові умови: $i_{rx}(0) = 0, i_{ry}(0) = 0, i_{sx}(0) = 0, i_{sy}(0) = 0, \omega_1(0) = 0, \omega_2(0) = 0, \omega_3(0) = 0, \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0$.

Систему диференціальних рівнянь малих коливань пружної системи механізму різання стрічковопилкового верстату (1) розв'язано сумісно з рівняннями електромагнітного стану двигуна (3) методом Ейлера в середовищі Maple V. На рис. 2 показаний один з результатів моделювання перехідного процесу під час пуску механізму різання.

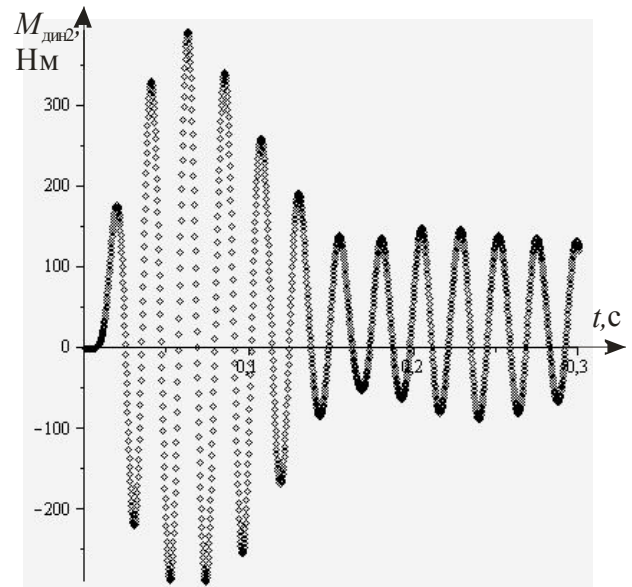


Рис. 2. Графік зміни моменту на другій пружній ланці

Встановлено, що динамічний момент під час пуску на другій пружній ланці перевищує у 8 раз обертальний момент, створюючи додаткове змінне навантаження на полотно стрічкової пилки. Таке навантаження викликає поперечні коливання полотна, які можуть бути резонансними, та зменшує довговічність інструмента.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Електромеханічні системи автоматизованого керування та електроприводи: навч. посібник / [М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.]; за ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005, 680 с.
- [2] Е.В.Харченко Динамические процессы буровых установок, Львов: Свит, 1991, 176 с.

Implementation of Late Name Binding, Asynchronous Pi-Calculus in Maude

Bartosz Zieliński

Department of Computer Science
Faculty of Physics and Applied Computer Science,
University of Łódź
ul. Pomorska nr 149/153, 90-236 Łódź
bzielinski@uni.lodz.pl

Paweł Maślanka

Department of Computer Science
Faculty of Physics and Applied Computer Science,
University of Łódź
ul. Pomorska nr 149/153, 90-236 Łódź
pmaslan@uni.lodz.pl

Abstract—We describe a new implementation of asynchronous pi-calculus in Maude which utilizes CINNI — a calculus of explicit substitutions — to cope with name binding. We believe that using late name binding, instead of early, simplifies the implementation, which we intend to use later as part of a workflow specification system.

Keywords—pi calculus; CINNI; late name binding

I. INTRODUCTION

The calculus of mobile processes (pi-calculus, [1]) is one of the most popular process algebras used in specification of workflows (see e.g., [2], [3], [4]), or security protocols (see e.g., [5]). There are many implementations of pi-calculus which allow actually to run the pi-processes and to explore and analyze the possible execution paths. Here we describe the implementation in the language and term rewriting framework Maude [6]. This is by far not the first implementation of pi-calculus in Maude (see, e.g., [7]). In fact, we follow the basic ideas of [7] such as incorporating transition labels into the process terms (c.f., [8]) and utilizing CINNI [9] — a calculus of explicit substitutions — to deal with name binding. However, instead of early binding semantics, like in [7] we implement a late semantics in a way in which the label part of the process can also bind names, and to the best of our knowledge this is the first such implementation.

II. ASYNCHRONOUS PI-CALCULUS

Let P, Q, \dots (perhaps with indices) denote pi-process terms and let small latin letters denote channel names. Then the grammar of asynchronous pi-calculus is given by (where I is finite and guards $\square ::= \square \mid \square(\square)$):

$$P ::= 0 \mid \sum_{i \in I} \alpha_i . P_i \mid \bar{a} \langle b \rangle \mid (P \mid Q) \mid (vx)P \mid !P \mid [x = y](P, Q),$$

We will write $\sum_{i \in I} \alpha_i . P_i$ using an associative and commutative operator „+”. We also consider “|” to be associative and commutative with 0 being the neutral element. Operators (vx) and $a(x)$ bind x in $(vx)P$ and $a(x).P$, respectively (and these are the only binding operations). We denote by “ \equiv_α ” the α -equivalence relation on pi-terms. Thus,

e.g., if y does not occur free in P we must have that $a(x).P$ and $a(y).([x := y]P)$ are α -equivalent, where $[x := y]P$ denotes the capture avoiding substitution of name y for free occurrences of x in P . We assume that α -equivalent terms behave identically. Processes evolve by performing internal actions as well as receiving and sending public or private names. $\mathbf{0}$ is the empty process which does nothing, process $\bar{a} \langle b \rangle$ sends name b on the channel identified by name a . For any $i \in I$, process $\sum_{i \in I} \alpha_i . P_i$ can perform either an internal action (if $\alpha_i = \tau$) or receive value on some channel a (if $\alpha_i = a(x)$ and then become P_i . Here our semantics is late because we do not consider the value actually received as part of the transition. $P \mid Q$ is a parallel composition of processes which can evolve independently or communicate, $!P$ replicates P , $(vx)P$ is a restricted process in which x is private (but it can be sent to other process), and finally $[x = y](P, Q)$, evolves as either P or Q depending on whether x is the same name as y or not. Thus, pi-process terms are states in the labeled transition system.

We write $P \xrightarrow{\alpha} Q$ when a process P can transition into Q performing an action with label α . There are four kinds of action labels: τ (internal transition), $a(x)$ (value receive), $\bar{a} \langle b \rangle$ (public name sent), $\bar{a} \langle vb \rangle$ (private name sent). The possible transitions can be described precisely using rules: we allow those and only those transitions which are provable from the rules. For instance, the first rule below describes communication between parallel processes, the second describes sending of some private name:

$$\frac{P \xrightarrow{\bar{a} \langle b \rangle} P' \quad Q \xrightarrow{a(x)} Q'}{P \mid Q \xrightarrow{\tau} P' \mid [x := b]Q'} \text{FCOM}, \quad \frac{P \xrightarrow{\bar{a} \langle b \rangle} Q \quad a \neq b}{(vb)P \xrightarrow{\bar{a} \langle vb \rangle} Q} \text{OPEN}.$$

III. IMPLEMENTATION

The main problem of implementing labeled transition system in term rewriting system such as Maude, is that they usually do not support labeled transitions. The fundamental idea of [8] is to incorporate labels into process term — effectively the process term drags with itself the full trace of all actions performed so far by the process. Formally, one extends the grammar of process terms with new syntactic category of action process terms AP :

$$AP ::= P \mid \{\alpha\}AP$$

where α is an action label (e.g., τ , $a(x)$, etc.) and P is an ordinary pi-process term. Denote by the unlabelled thick arrow “ \Rightarrow ” the rewriting relation among action process terms. It is defined with the following rules:

$$\frac{P \xrightarrow{\alpha} Q}{P \Rightarrow \{\alpha\}Q} \text{1STEP}, \quad \frac{P \Rightarrow \{\alpha\}Q \quad Q \Rightarrow AP}{P \Rightarrow \{\alpha\}AP} \text{TRANS.}$$

where P, Q are pi-proces terms, AP is an action process term and α is an action label. We assume that action labels of the form $a(x)$ and $\bar{a}\langle vb \rangle$ bind name x in action process terms of the form $\{a(x)\}AP$ and $\{\bar{a}\langle vx \rangle\}AP$. Accordingly, we extend α -conversion to action process terms and identify α -equivalent action process terms.

For example, assume that $P \xrightarrow{a(x)} Q$. Because of identification of behaviour of α -equivalent terms we must also have $P \xrightarrow{a(y)} [x := y]Q$ for any name y which is not free in Q .

This is evident when we write the transition $P \xrightarrow{a(x)} Q$ with unlabeled rewritings as $P \Rightarrow \{a(x)\}Q$. Indeed, because we extend the α -equivalence to action process terms we have that $\{a(x)\}Q$ and $\{a(y)\}[x := y]Q$ are α -equivalent.

Implementing capture avoiding substitutions and α -conversion necessary to enable some transitions is cumbersome. One way to deal with it is to use de Bruijn indices instead of names. This would however be unreadable for humans. A good balance between readability and implementability is provided by the calculus of explicit substitutions CINNI [9], and we follow [7] in utilizing it. Namely, except for binding constructs, we use channel names of the form a_n , where a is a (user defined) name and n is a natural number.

The meaning of n is as follows: Suppose that a_n occurs in the process or action process term T . Then n is the number of operations binding name a in T which one must pass while

going up the parse tree of T before either encountering an operation which binds this a_n or the root of the parse tree.

The signature of action process terms is extended with various substitution operators (including the usual capture avoiding substitution) defined through equations. On the other hand, there is no longer any α -equivalence.

As an example consider the following translation of the OPEN rule mentioned above into unlabeled rewritings with CINNI:

$$\frac{P \Rightarrow \{\bar{y}_m \langle x_0 \rangle\}Q \quad y \neq x}{(\nu x)P \Rightarrow \{\bar{y}_m \langle vx \rangle\}Q} \text{OPEN}_1, \quad \frac{P \Rightarrow \{\bar{x}_{m+1} \langle x_0 \rangle\}Q}{(\nu x)P \Rightarrow \{\bar{x}_m \langle vx \rangle\}Q} \text{OPEN}_2$$

CONCLUSION

We created a new implementation of late binding semantics for asynchronous pi-calculus in Maude. We partly use the ideas from earlier papers ([7], [8]). A novel (to the best of our knowledge) aspect of this implementation is extending α -equivalence to labeled process terms. We found out that implementing late semantics is easier and more natural than late semantics (as in [7]), particularly when using our main idea. We created this implementation to become a part of a system for workflow specification we are currently working on.

REFERENCES

- [1] Robin Milner, “Communicating and Mobile Systems: the Pi-Calculus,” Cambridge University Press, 1999
- [2] Howard Smith and Peter Fingar, “Workflow is just a pi process”, BPTrends, November, pages 1-36, 2003.
- [3] Frank Puhlmann and Mathias Weske “A look around the corner: the pi-calculus,” In Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II, pages 64-78. Springer, 2009.
- [4] Bartosz Zielinski, Šcibor Sobieski, Piotr Kruszyński, Maciej Sysak, and Paweł Maślanka, “Object pi-calculus and document workflows,” In Model and Data Engineering, pages 227-238. Springer, 2015.
- [5] Mark D. Ryan and Ben Smyth, “Applied pi calculus,” chapter in Véronique Cortier & Steve Kremer (editors) Formal Models and Techniques for Analyzing Security Protocols, IOS Press, 2011.
- [6] Manuel Clavel, Francisco Duran, Steven Eker, Patrick Lincoln, Narciso Martí-Oliet, Jose Meseguer, and Carolyn Talcott, “The maude 2.0 system,” In Robert Nieuwenhuis, editor, Rewriting Techniques and Applications (RTA 2003), number 2706 in Lecture Notes in Computer Science, pages 76-87. Springer-Verlag, June 2003.
- [7] Prasanna Thati, Koushik Sen, and Narciso Martí-Oliet, “An executable specification of asynchronous pi-calculus semantics and may testing in maude 2.0”, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 71:261-281, 2004.
- [8] Alberto Verdejo and Narciso Martí-Oliet, “Implementing CCS in Maude 2”, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 71:282-300, 2004. WRLA 2002, Rewriting Logic and Its Applications.
- [9] Mark-Oliver Stehr, “Cinni-a generic calculus of explicit substitutions and its application to lambda-, sigma- and pi-calculi,” Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 36:70-92, 2000.

Використання дробових похідних за часом для дослідження фільтрації газу в пористих середовищах

Н.Б. Лопух
Центр математичного моделювання
ІППММ ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
Lopuh.nazar@gmail.com

Я.Д. П'янило
Центр математичного моделювання
ІППММ ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

О. Б. Браташ
Центр математичного моделювання
ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
olebra31@gmail.com

The use of fractional derivatives in time to investigate gas filtration in porous media

N.B. Lopuh
Center of Mathematical Modeling
IAPMM by Ya.S.Pidstryhach NAS of Ukraine
Lviv, Ukraine
Lopuh.nazar@gmail.com

Ya.D. P'yanylo
Center of Mathematical Modeling
IAPMM by Ya.S.Pidstryhach NAS of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

O. B. Bratash
Center of Mathematical Modeling
IAPMM by Ya.S.Pidstryhach NAS of Ukraine
Lviv, Ukraine
olebra31@gmail.com

Анотація—Побудовано модифікований метод скінченних елементів із використанням схеми Грюнвальда-Летнікова для дробових похідних за часом. Розглянуто дробові похідні Капутто та Рімана-Ліувіля. Проведено числовий аналіз із використанням експериментальних вхідних даних. Результатами експерименту підтверджено характер поведінки тиску газу у пористому середовищі за наявності нетипової фільтрації. Встановлено, що порядок дробової похідної може служити параметром адаптації математичної моделі.

Abstract—Built modified finite element method using Grunwald Letnikov scheme for fractional derivatives in time.

Considered fractional derivatives Caputo and Riman-Liouville.

Ключові слова—схема Грюнвальда-Летнікова; дробові похідні; метод скінченних елементів

Keywords—Grunwald-Letnikov scheme; fractional derivatives; finite element method

I. ВСТУП

Відомо, що багато фізичних процесів описуються динамічними системами, в яких враховуються похідні дробових порядків. Область застосовності диференціальних рівнянь дробового порядку значно ширша, ніж

диференціальних рівнянь з цілочисловим диференціюванням, оскільки останні є їх частковим випадком.

Підвищений інтерес до диференціальних рівнянь дробового порядку обумовлено їх фізичною інтерпретацією. Показано, що перехід до похідної дробового порядку за часом дозволяє враховувати ефекти пам'яті системи. Це дозволяє отримувати принципово нові результати, більш глибоко осмислити відомі результати, створити нові адекватні кількісні моделі досліджуваних явищ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ЧИСЛОВА РЕАЛІЗАЦІЯ

Процес масопереносу в пористих середовищах розглядається на прикладі фільтрації газу та рідини, яка описується рівнянням із дробовою похідною за часовою змінною [1]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kh}{\mu\chi} \frac{\partial p^l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kh}{\mu\chi} \frac{\partial p^l}{\partial y} \right) = 2mh \left(\frac{\partial^\alpha}{\partial t^\alpha} \left(\frac{p}{\chi} \right) + 2qp_{at} \right) \quad (1)$$

Тут $l=2$ для газу та $l=1$ для нестисливої рідини; $\alpha \in (0, 2]$ – степінь дробової похідної; $k = k(x, y, t)$, $m = m(x, y)$ та $h = h(x, y)$ коефіцієнти проникності, пористості та товщина середовища відповідно; μ – динамічна в'язкість речовини, p_{at} – атмосферний тиск, q – густина відбору, χ – коефіцієнт стисливості газу.

Числова модель базується на методі скінченних елементів в поєднанні з ітераційною процедурою, що діє на кожному часовому підінтервалі. Дробова похідна $\frac{\partial^\alpha p}{\partial t^\alpha}$ розкладається за схемою Грюнвальда-Летнікова:

$${}^{GL}D_\tau^\alpha p := \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta t)^{-\alpha} \sum_{j=0}^{[\tau/\Delta t]} (-1)^j \binom{\alpha}{j} p(\tau - j\Delta t). \quad \text{Оператор}$$

Грюнвальда-Летнікова апроксимується на проміжку $[0, \tau]$ з підінтервальним кроком Δt як

$${}^{GL}D_\tau^\alpha p(\tau) \approx \sum_{j=0}^{[\tau/\Delta t]} c_j^{(\alpha)} p(\tau - j\Delta t)$$

Схема МСЕ застосовується ітераційно для лінеаризованого рівняння для кожного моменту часу із уточненням коефіцієнтів стисливості та проникності.

ВИСНОВКИ

В праці на базі методу скінченних елементів запропоновано числову модель фільтрації газу в пористих неоднорідних середовищах із використанням дробових похідних за часом. Розглянуто дробові похідні Капугто та Ріммана-Ліувіля. Проведений числовий аналіз із використанням експериментальних вхідних даних.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] R. Carmona & M. Ludkovski (2005), "Gas storage and supply guarantees: an optimal switching approach," submitted to Management Science.
- [2] Cook, Robert D., Concept and Applications of Finite Element Analysis, fourth edition, John Wiley & Sons, 2002.
- [3] Н. Лопух, М. Притула, Н. Притула, Я. П'янило, "Розрахунок початково-граничних умов у задачах фільтрації газу в пористих середовищах", в Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології, 2009.
- [4] Я.Д.П'янило, Н.Б.Лопух, П.П.Галій Числова модель пласта підземного сховища газу на основі методу скінченних елементів в "Нафтова і газова промисловість", 2011.

Моделювання стаціонарних процесів теплопровідності в тілах випадкової структури з використанням діаграм Фейнмана

О.Ю. Чернуха
відділ математичного моделювання
нерівноважних процесів

Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
cher@cmm.lviv.ua

Modeling steady-state processes of heat transfer in bodies of random structure using Feynmann diagrams

O. Chernukha
Department of mathematical modeling
nonequilibrium processes

Centre of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute
for Applied Problems of Mechanics and Mathematics,
Ukrainian Academy of Sciences
Lviv, Ukraine
cher@cmm.lviv.ua

Анотація—Робота присвячена математичному моделюванню стаціонарних процесів теплопровідності у випадково неоднорідних багатофазних структурах. Крайовій задачі теплопровідності поставлено у відповідність інтегродиференціальне рівняння з випадковим ядром, розв'язок якого побудований у вигляді ряду Неймана. З допомогою техніки діаграм Фейнмана отримано аналоги рівнянь Дайсона і Бета-Солпітера для стаціонарних процесів теплопровідності у багатофазних стохастично неоднорідних тілах.

Abstract—The work is devoted to mathematical modeling steady-state processes of heat transfer in randomly nonhomogeneous multiphase structures. An integro-differential equation with random kernel, which solution is constructed in terms of Neumann series, is obtained in accordance with the boundary value problem of heat transfer. By using the technique of Feynman diagrams analogues of equations of both Dayson and Bethe-Salpeter for the steady-state heat transfer processes in multiphase stochastically nonhomogeneous bodies are obtained.

Ключові слова—математичне моделювання; теплопровідність; стохастична структура; діаграма Фейнмана

Keywords—mathematical modeling; heat transfer; stochastic structure; Feynmann diagram

I. ВСТУП

Стохастичний характер теплових полів, як правило, спричинений недостатньою інформацією про неоднорідну структуру середовища [1]. При дослідженні теплових полів у випадково неоднорідних тілах (рис.1) розробляють методи, які використовують умову ергодичності (квазі-ергодичності, тобто поля є ергодичними лише в об'ємах,

малих порівняно з характерними масштабами змін статистичних характеристик поля) досліджуваних процесів [2, 3], при постановці крайових задач записують рівняння, отримання яких вимагає введення фізично малого репрезентативного елемента тіла, що накладає обмеження на відповідні випадкові поля. Нижче за допомогою техніки діаграм Фейнмана досліджується в стаціонарному режимі процес теплопровідності у випадково неоднорідних тілах для довільних розмірів включень. При цьому джерела тепла описуються детермінованою функцією, а структура тіла є випадковою.

II. МОДЕЛЮВАННЯ СТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В ТІЛАХ ВИПАДКОВОЇ СТРУКТУРИ

Нехай в багатофазному тілі з випадково розташованими неоднорідностями (рис. 1) протікають процеси теплопровідності. Тіло складається з N різних за густиною фаз (матриці та включень), в яких теплофізичні властивості можуть істотно відрізнятися. При цьому точна геометрична конфігурація фаз невідома.

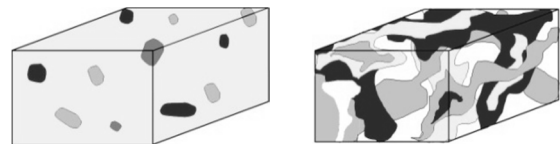


Рис. 1. Можливі реалізації багатофазної структури тіла

Розподіл випадкового температурного поля $T(\vec{r})$ в такому тілі у стаціонарному випадку описує рівняння теплопровідності

$$L(\vec{r})T(\vec{r}) \equiv \vec{\nabla}(\lambda(\vec{r})\vec{\nabla}T(\vec{r})) = f(\vec{r}), \quad (1)$$

де $L(\vec{r})$ - випадковий оператор рівняння теплопровідності, \vec{r} - радіус-вектор біжучої точки, $\lambda(\vec{r})$ - випадковий коефіцієнт теплопровідності, $f(\vec{r})$ - густина джерел тепла (детермінована функція). Вважаємо, що на поле температури $T(\vec{r})$ накладені детерміновані граничні умови.

Гранична задача (1) зведена до інтегро-диференціального рівняння типу Гаммерштейна:

$$T(\vec{r}) = T_0(\vec{r}) + \int_{(V)} G(\vec{r}, \vec{r}') L_s(\vec{r}') T(\vec{r}') d\vec{r}', \quad (2)$$

де $T_0(\vec{r})$ - розв'язок «однорідної» задачі:

$$\bar{L}(\vec{r})T_0(\vec{r}) - f(\vec{r}) = 0 \quad (3)$$

з вихідними граничними умовами; $G(\vec{r}, \vec{r}')$ - детермінована функція Гріна, яка є розв'язком рівняння з точковим джерелом

$$\bar{L}(\vec{r})G(\vec{r}, \vec{r}') - f(\vec{r}) = \delta(\vec{r} - \vec{r}') \quad (4)$$

за відповідних нульових граничних умов; $L_s(\vec{r})$ - випадковий оператор вигляду

$$L_s(\vec{r}) = \bar{L}(\vec{r}) - L(\vec{r}) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} (\bar{\lambda} - \lambda_j) \eta_{ij}(\vec{r}) \Delta + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} [\lambda(\vec{r})]_{\Gamma_{ij}} \delta(\vec{r} - \vec{r}_{\Gamma_{ij}}) \vec{\nabla},$$

де $\bar{\lambda} = \overline{\lambda(\vec{r})}$ - усереднений за ансамблем реалізацій структури коефіцієнт теплопровідності, $\eta_{ij}(\vec{r}) = \begin{cases} 1, & \vec{r} \in (V_i^{(j)}) \\ 0, & \vec{r} \notin (V_i^{(j)}) \end{cases}$ - випадкова функція просторових координат, $[\lambda(\vec{r})]_{\Gamma_{ij}}$ - вектор-функція стрибка коефіцієнта теплопровідності на міжфазних границях, $(V_i^{(j)})$ - однозв'язна область з об'ємом $V_i^{(j)}$, яку займає i -те включення j -ї фази.

Розв'язок рівняння (2) будуємо методом послідовних наближень, вибираючи за нульове наближення розв'язок задачі (3). Тоді отримаємо рекурентні співвідношення, яким ставимо у відповідність ряд Неймана

$$T(\vec{r}) = T_0(\vec{r}) + \sum_{n=1}^{\infty} R_n(\vec{r}), \quad (5)$$

Тут $R_n(\vec{r})$ - різниця між n -м та $(n-1)$ -м членами.

Встановлено умови і доведено теорему про абсолютну і рівномірну збіжність цього ряду [4]. На відміну від

нестационарного випадку, коли для збіжності ряду Неймана для випадкового поля температури достатньо умови обмеженості теплофізичних коефіцієнтів фаз та відмінності від нуля параметрів матриці, для стаціонарної теплопровідності необхідна додаткова умова на обмеженість об'єму тіла або обмеженість об'єму, які займають включення. Також сформульовано і доведено теорему існування розв'язку інтегро-диференціального рівняння.

Щоб дослідити структуру ряду (5), введено графічне зображення його елементів у вигляді діаграм Р. Фейнмана [5]. Тоді ряд (5) у графічному вигляді набуде вигляду [6]:

$$\begin{aligned} \sphericalangle &= \sim + \begin{array}{c} \bullet \\ | \\ \sim \\ \vec{r}' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \\ &+ \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \end{array} \dots \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}^{(n-1)} \quad \vec{r}^{(n)} \end{array} + \dots \end{aligned} \quad (5a)$$

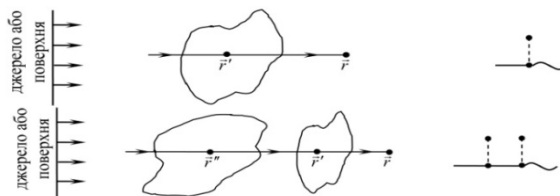
де $T(\vec{r}) \sim \sphericalangle$, $T_0(\vec{r}) \sim \sim$, $G(\vec{r}', \vec{r}'') \sim \frac{1}{\vec{r}' - \vec{r}''}$, $L_s(\vec{r}) \sim \begin{array}{c} \bullet \\ | \\ \sim \\ \vec{r}' \end{array}$.

Усереднене за ансамблем конфігурацій фаз теплове поле можна подати так

$$\begin{aligned} \text{---} &= \sim + \begin{array}{c} \bullet \\ | \\ \sim \\ \vec{r}' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \\ &+ \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \\ &+ \begin{array}{c} \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ | \quad | \quad | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \vec{r}''' \end{array} + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

Тут $\langle T(\vec{r}) \rangle \sim \text{---}$, $\psi_k(\vec{r}', \vec{r}'', \dots, \vec{r}^{(k)}) \sim \begin{array}{c} \bullet \\ | \\ \sim \\ \vec{r}' \quad \vec{r}'' \quad \dots \quad \vec{r}^{(k)} \end{array}$

Діаграми Фейнмана, за допомогою яких представлений ряд Неймана (6), мають прозору фізичну інтерпретацію. Діаграма 1 з ряду (6) описує поширення теплового поля з джерела або від поверхні (в залежності від граничних умов та наявності внутрішніх джерел тепла) в однорідному середовищі. Діаграма 2 описує наступний процес: теплове поле поширюється від джерела до точки \vec{r}' як в однорідному середовищі. В точці \vec{r}' відбувається збурення теплового поля за рахунок того, що ця точка належить включенню або його границі (належність \vec{r}' до включення визначає усереднений оператор $\langle L_s(\vec{r}') \rangle$, в іншому випадку він дорівнює нулю). Далі збурене поле досягає точки \vec{r} , в якій відбувається спостереження (рис.2а).



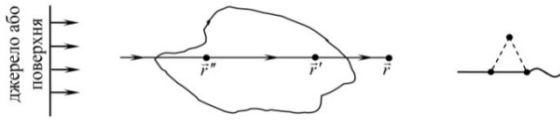


Рис. 2. Одно- та двократні збурення теплового поля

Діаграма 3 відповідає поширенню теплового поля від джерела до точки \vec{r}'' , яка знаходиться у включенні (оператор $\langle L_s(\vec{r}'') \rangle$), де отримує збурення, потім збурене поле поширюється до точки \vec{r}' , яка належить іншому включенню (оператор $\langle L_s(\vec{r}') \rangle$), і отримує друге збурення; потім двічі збурене поле поширюється до точки спостереження \vec{r} (рис. 2б). Діаграма 4 відрізняється від 3 наявністю кореляційної функції $\Psi_2(\vec{r}', \vec{r}'')$, що вказує на те, що дві точки збурення \vec{r}' і \vec{r}'' корельовані, тобто обидва збурення відбулися у тій самій неоднорідності (рис. 2в).

Всі діаграми третього порядку 5 - 9 містять функції $T_0(\vec{r}''')$, $G(\vec{r}'', \vec{r}''')$, $G(\vec{r}', \vec{r}''')$, $G(\vec{r}, \vec{r}')$. Це означає, що теплове поле поширилось до точки \vec{r} після збурення в точці \vec{r}' , до точки \vec{r}' - після збурення в точці \vec{r}'' і т. п. Отже, всі ці діаграми описують трикратне збурення теплового поля. Проте діаграми 5 - 9 є топологічно різними. Діаграма 5 не містить кореляційних функцій, тобто три збурення теплового поля відбулися в різних неоднорідностях. В діаграмах 6 - 8 наявні кореляційні функції $\Psi_2(\vec{r}'', \vec{r}''')$, $\Psi_2(\vec{r}', \vec{r}''')$ і $\Psi_2(\vec{r}', \vec{r}''')$ відповідно. Це означає, що поле збурюється тричі у двох неоднорідностях (рис. 3а-3в).

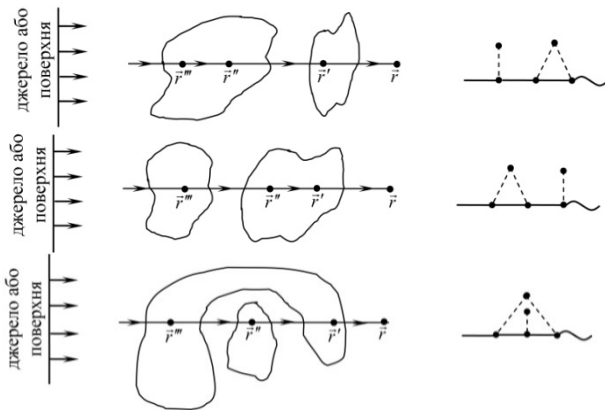


Рис. 3. Трикратні збурення теплового поля

Подання розв'язку задачі (1) у вигляді сукупності діаграм (6) дозволяє перетворювати ряд Неймана, використовуючи топологічні ознаки діаграм, які містить розв'язок.

Суму ряду (6) можна подати через суму деякої нескінченної підпослідовності цього ж ряду. Для цього вводимо класифікацію діаграм на сильно- і слабкозв'язані, що входять у (6) [7]. Після виділення сильнозв'язаних діаграм встановлено, що ряд (6) є розв'язком рівняння Дайсона

$$\text{---} = \text{---} + \text{---} \circ \text{---}, \quad (7)$$

$$\text{---} \circ \text{---} = \text{---} + \text{---} + \text{---} + \text{---} + \text{---} + \dots$$

де $\Sigma(\vec{r}) \sim$

ядро масового оператора [3]. Рівняння Дайсона (7) в аналітичній формі має вигляд

$$\langle T(\vec{r}) \rangle = T_0(\vec{r}) + \int_{(V)} G(\vec{r}, \vec{r}') \Sigma(\vec{r}') \langle T(\vec{r}') \rangle d\vec{r}'. \quad (7a)$$

Застосуємо до рівняння Дайсона (7) оператор $\bar{L}(\vec{r}) = \bar{\lambda} \Delta$. Тоді отримаємо

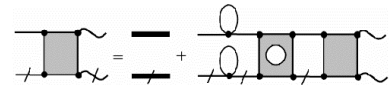
$$\bar{\lambda} \Delta \langle T(\vec{r}) \rangle = \lambda \Delta T_0(\vec{r}) + \int_{(V)} \bar{\lambda} \Delta_r G(\vec{r}, \vec{r}') \Sigma(\vec{r}') \langle T(\vec{r}') \rangle d\vec{r}'. \quad (8)$$

Згідно з формулою (3) перший доданок рівняння (8) $\bar{\lambda} \Delta T_0(\vec{r}) = f(\vec{r})$, а зі співвідношення (4) випливає, що $\bar{\lambda} \Delta_r G = \delta(\vec{r} - \vec{r}') - f(\vec{r})$. Тоді з використанням парності дельта-функції отримаємо

$$\bar{\lambda} \Delta \langle T(\vec{r}) \rangle - \Sigma(\vec{r}) \langle T(\vec{r}) \rangle + f(\vec{r}) \left[1 - \int_{(V)} \Sigma(\vec{r}') \langle T(\vec{r}') \rangle d\vec{r}' \right] = 0. \quad (9)$$

Із порівняння (3) і (9) випливає, що на відміну від $T_0(\vec{r})$, функція $\langle T(\vec{r}) \rangle$ задовольняє не диференціальне, а інтегро-диференціальне рівняння. З фізичної точки зору це означає, що усереднене поле в деякій точці \vec{r} залежить і від оточуючих цю точку неоднорідностей (за рахунок ядра масового оператора $\Sigma(\vec{r})$).

З використанням техніки діаграм Фейнмана одержано рівняння типу Бете-Солпітера для функції когерентності, яке описує функцію кореляції стаціонарних температурних полів у багатофазних тілах стохастичної структури



Отже, подання розв'язку задачі у вигляді сукупності діаграм дозволяє перетворювати ряд теорії збурень, використовуючи топологічні ознаки діаграм, які входять у розв'язок. Також застосування такої техніки дає можливість виразити суму ряду Неймана через суму деякої нескінченної підпослідовності цього ж ряду.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Fu W.S., Wang K.-N., Ke W.-W. "Heat transfer of porous medium with random porosity model in a laminar channel flow", in J. of the Chinese Institute of Engineers, 2001, 24, N 4, P. 431-438.
- [2] Л.П. Хорошун "Методы случайных функций в задачах о макроскопических свойствах микро неоднородных тел", в Прикл. механика, 1978, 14, № 2, С. 3-17.
- [3] С.М. Рытов, Ю.А.Кравцов, В.И.Татарский Введение в статистическую радиофизику. Ч.II Случайные поля, М.: Наука, 1978, 436 с.
- [4] О.Ю. Чернуха, П.Р. Пелех "Стационарні процеси теплопровідності в тілах випадково неоднорідної структури", Математичні методи і фізико-механічні поля, 2012, Т. 55, № 1, С. 179-187.
- [5] Р. Фейнман, А. Хиббс. Квантовая механика и интегралы по траекториям, М.: Мир, 1968, 454 с.
- [6] Y Chaplia., O. Chernukha "Physical-mathematical modelling dafusion processes in bodies of random structure using generalized functions and Feynman diagrams" in Int. J. Eng.Science, 2005, 43, № 17-18, P. 1337-1348.

До побудови градієнтного типу моделі термопружних тіл

О. Р. Грицина

відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
gryt@cmm.lviv.ua, gryt045@gmail.com

On the formulation of gradient-type theory of thermoelastic solids

О. R. Hrytsyna

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
gryt@cmm.lviv.ua, gryt045@gmail.com

Анотація—Отримано замкнену систему співвідношень градієнтної термопружності, що враховує вплив локального зміщення маси на механічні та теплові процеси. Для опису локального зміщення маси введено у розгляд нові параметри, для яких сформульовано відповідне балансове рівняння. Розв'язувальну систему рівнянь моделі одержано для лінійних термопружних тіл. На цій основі на прикладі ізотропних пружних шару та кулі визначено поверхневу енергію деформації та вивчено вплив характерної віддалі на механічні поля. Показано, що побудована теорія дозволяє описати нелокальні ефекти, зокрема, приповерхневі та масштабні ефекти.

Abstract—The fundamental set of equations for gradient thermoelasticity is obtained. Mentioned equations take into account the effect of a local mass displacement on mechanical and thermal processes. New quantities associated with local mass displacement were introduced and we obtained for it additional balance relation. The linear equations governing the motion of thermoelastic solids within the framework of this gradient theory are set out. We obtained formula for surface energy of deformation of solids. The boundary value problem is presented to study the effect of the characteristic length parameter on mechanical fields in isotropic elastic layer and sphere. It is shown that the developed theory is capable of predicting nonlocal effects, such as the near surface and size effects.

Ключові слова—градієнтна термопружність; локальне зміщення маси; поверхневі напруження; поверхнева енергія деформації; масштабний ефект

Keywords—Gradient thermoelasticity; local mass displacement; surface stresses; surface energy of deformation ; size effect.

I. ВСТУП

Аналіз закономірностей розвитку сучасної науки свідчить про неухильний зростаючий інтерес науковців до розроблення нових узагальнених теорій механіки з метою врахування впливу мікроструктури матеріалу на механічну поведінку твердих тіл. Побудову такого стибу теорій стимулювали потреби сучасної техніки (необхідність у розробленні нових нанопористих і нанокомпозитних матеріалів, впровадження нанотехнологій тощо) та внутрішня логіка розвитку континуальної механіки. У результаті таких досліджень було сформульовано низку нелокального типу моделей пружних і термопружних тіл, зокрема, нелокальну теорію Ерінгена, градієнтну теорію пружності Міндліна, моделі мікрополяричних, мультиполяричних, мікроморфних пружних й термопружних середовищ та ін. У пропонованому дослідженні розвинуто нелокальну теорію деформування твердих термопружних тіл шляхом врахування у модельному описі впливу локального зміщення маси на механічні та теплові поля. При цьому локальне зміщення маси пов'язано з потоком маси \mathbf{J}_{ms} недифузійної та неконвективної природи, зумовленим структурною перебудовою матеріалу. На прикладі вільних від зовнішнього навантаження ізотропних тіл канонічної форми проаналізовано можливість використання розробленої теорії для опису приповерхневих та масштабних ефектів.

II. СИСТЕМА РІВНЯНЬ МОДЕЛІ

Розглядаємо деформівне тверде тіло, в якому протікають механічні й теплові процеси. Характеризуватимемо їх відповідно тензорами напружень Коші $\hat{\sigma}$ й деформації $\hat{\epsilon}$, а також абсолютною температурою T , питомою ентропією s та вектором потоку тепла \mathbf{J}_q . Будемо також враховувати можливість зміни структури матеріалу у межах фізично малого елемента тіла. Пов'яжемо згадані структурні зміни з процесом локального зміщення маси. Для опису цього процесу введемо у розгляд вектори локального зміщення маси $\boldsymbol{\pi}_m$ й потоку маси \mathbf{J}_{ms} . Вважаємо, що згадані вектори пов'язані формулою

$$\boldsymbol{\pi}_m(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{\rho} \int_0^t \mathbf{J}_{ms}(\mathbf{r}, t') dt',$$

де \mathbf{r} – радіус вектор, ρ – густини маси, t – час. Введемо також потенціал μ_π , як енергетичну міру впливу локального зміщення маси на внутрішню енергію системи, а густину наведеної маси ρ_m означимо формулою: $\rho_m = -\rho^{-1} \nabla \cdot (\rho \boldsymbol{\pi}_m)$. Введені вище величини підпорядковані балансовому рівнянню:

$$\frac{\partial(\rho \rho_m)}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J}_{ms} = 0. \quad (1)$$

Систему співвідношень математичної моделі, що описує закономірності зв'язаних полів та процесів у твердому пружному тілі будемо формулювати, ґрунтуючись на рівнянні балансу повної енергії, в якому поряд із відомими з літератури складниками будемо також враховувати потік енергії, пов'язаний з роботою, затраченою на перенесення частинок фізично малого елемента тіла відносно його центра мас, та потік енергії $\mu_\pi \mathbf{J}_{ms}$, пов'язаний з роботою, виконаною внаслідок локального зміщення маси [1]. За врахування рівняння балансу ентропії з умови інваріантності рівняння балансу повної енергії системи щодо просторових трансляцій отримуємо рівняння балансу маси й механічного імпульсу:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0, \quad \nabla \cdot \hat{\sigma}_* + \rho \mathbf{F}_* = \rho \frac{d\mathbf{v}}{dt}, \quad (2)$$

а також рівняння балансу внутрішньої енергії, на основі якого формулюємо вираз для виробництва ентропії та узагальнене рівняння Гіббса. Останнє визначає такі нелокальні рівняння стану:

$$\hat{\sigma}_* = \rho \frac{\partial f}{\partial \hat{\epsilon}}, \quad s = -\frac{\partial f}{\partial T}, \quad \mu'_\pi = \frac{\partial f}{\partial \rho_m}, \quad \boldsymbol{\pi}_m = \frac{\partial f}{\partial (\nabla \mu'_\pi)}. \quad (3)$$

Тут \mathbf{v} – вектор швидкості, f – вільна енергія Гельмгольца, $\mu'_\pi = \mu_\pi - \mu$, μ – хімічний потенціал, $\hat{\sigma}_* = \hat{\sigma} - \rho(\rho_m \mu'_\pi - \boldsymbol{\pi}_m \cdot \nabla \mu'_\pi) \hat{\mathbf{I}}$, $\hat{\mathbf{F}}$ – одиничний тензор, $\mathbf{F}_* = \mathbf{F} + \rho_m \nabla \mu'_\pi - \boldsymbol{\pi}_m \cdot \nabla \otimes \nabla \mu'_\pi$, \mathbf{F} – вектор масових сил, $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla$. Замкнена система рівнянь градієнтної термомпружності, що враховує взаємозв'язок процесів деформування, теплопровідності та локального зміщення маси, охоплює: рівняння балансу ентропії, механічного імпульсу й маси (2), наведеної маси (1); відповідні геометричні й кінетичні співвідношення, а також рівняння стану (3). Загалом це нелінійна система рівнянь. Розв'язувальну систему рівнянь моделі сформульовано для випадку лінійного ізотропного тіла.

III. ПРИПОВЕРХНЕВІ ТА МАСШТАБНІ ЕФЕКТИ

За ізотермічного наближення співвідношення розробленої теорії застосовані для обчислення поверхневої енергії деформації, а також вивчення приповерхневої неоднорідності напружено-деформованого стану у вільних від зовнішнього навантаження тілах із плоскопаралельними та сферичними межами. Встановлено, що поверхнева енергія деформації визначається поверхневим значенням проекції на нормаль до поверхні тіла вектора локального зміщення маси [2]. Дослідження поверхневої енергії деформації у твердих тілах показали, що у тонкому тілі з плоскопаралельними межами абсолютне значення поверхневої енергії деформації зменшується у міру зменшення його товщини. Зі збільшенням кривини опуклої поверхні абсолютне значення поверхневої енергії деформації зменшується, порівняно з тілом із плоскою межею.

ВИСНОВКИ

Наслідком врахування у модельному описі впливу локального зміщення маси на процеси деформування та теплоперенесення є нелокальні визначальні співвідношення. З огляду на це розроблена за такого підходу градієнтного типу теорія термомпружних твердих тіл дозволяє описати приповерхневі та масштабні ефекти, у тому числі, кількісно досліджувати поверхневі напруження й натяг, поверхневу енергію деформації, вивчати на континуальному рівні вплив вільної поверхні та її кривини на напружено-деформований стан малорозмірних об'єктів (тонких плівок, малих частинок тощо).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] О. Грицина, Крайові задачі нелокальної термомпружності з урахуванням локального зміщення маси // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. – 2015. – Вип. 21. — С. 79-88.
- [2] О. Грицина, Визначення поверхневої енергії твердих тіл // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. – 2013. – Вип. 17. – С. 43-54.

Використання різних способів аналізу вхідних даних для обчислення цільової функції в задачах комбінаторної оптимізації

Н.К. Тимофієва
відділ комплексних досліджень інформаційних технологій
МННЦІТІС НАН та МОН України
Київ, Україна
TymNad@gmail.com

Using different methods of analysis of input data to calculate of the objective function in combinatorial optimization problems

N. K. Tymofijeva
Integrated Research Department Of Information Technology
ISTCITS
Kiev, Ukraine
TymNad@gmail.com

Анотація—Описано способи аналізу вхідної інформації в задачах комбінаторної оптимізації при визначенні за їхньою структурою оптимального результату. Показано, що методами, які ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації в порівнянні з кореляційними, знаходиться глобальний розв'язок поліноміально.

Abstract—The methods for the analysis of the input data in combinatorial optimization to determine the optimal results for their structure are described. It is shown that methods based on the recognition of patterns of input data, compared with correlation, find a global solution polynomial.

Ключові слова—комбінаторна оптимізація, кореляційні методи, аналіз вхідної інформації

Keywords—combinatorial optimization, correlation methods, analysis of input data

I. ВСТУП

В задачах комбінаторної оптимізації вхідні дані – випадкові величини, які мають безладну структуру. Тому для оцінки результату досить часто використовують різні методи аналізу даних, які мають місце в математичній статистиці [1]. Це – розвідувальний, дисперсійний, регресійний, кластерний, коваріаційний, дискримінантний, кореляційний, факторний аналізи. В ітераційних методах

часто використовують кореляційний аналіз. Але цей аналіз даних відображає лише лінійну залежність між випадковими величинами та не відображає їхньої функціональної зв'язаності. При розв'язанні задач класифікації або кластеризації для визначення функціональної зв'язаності між елементами заданих множин використовують підходи, що ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації (кластерний та факторний аналізи, метод опорних векторів тощо). Нижче розглянемо деякі підходи до розв'язання задач комбінаторної оптимізації та способи обчислення для них цільової функції.

II. ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ІСНУЮЧІ ПІДХОДИ ДО ЇХНЬОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

Задачі комбінаторної оптимізації задаються однією або кількома множинами, елементи яких мають будь-яку природу. Між елементами цих множин існують зв'язки, числове значення яких назвемо вагами та задамо їх матрицями (вхідні дані). Із елементів однієї із заданих множин утворимо комбінаторну множину W – сукупність комбінаторних конфігурацій певного типу (перестановки, вибірки різних типів, розбиття тощо). На елементах W комбінаторної множини W уведемо цільову функцію

$F(w)$. Необхідно знайти елемент w^* множини W , для якого $F(w)$ набуває оптимального значення при виконанні заданих обмежень.

Для розв'язання задач із класів задач комбінаторної оптимізації виділимо такі основні підходи [2]: а) ітераційні методи та алгоритми, що ґрунтуються на частковому переборі варіантів; б) методи та алгоритми, що ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації. Їх ще називають евристичними, такими, в яких моделюються правила вибору оптимального рішення людини в ручному режимі.

До ітераційних методів та алгоритмів відносяться як універсальні методи математичного програмування, так і спеціальні, які ураховують специфіку даної проблеми (точні та наближені). Відомі методи та алгоритми, що ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації, ефективні за швидкодією, але результат розв'язання при цьому може бути далеким від оптимального. З цієї причини другому підходу, незважаючи на те, що саме їхнє використання ефективне при розв'язанні задач обчислювального інтелекту, в літературі достатньої уваги не приділяється.

III. СПОСОБИ АНАЛІЗУ ВХІДНИХ ДАНИХ ПРИ ОБЧИСЛЕННІ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ

Для оцінки отриманого результату проводиться аналіз вхідної інформації способами математичної статистики, а також розпізнається структура вхідної інформації. Ітераційні методи відносяться до перебірних, в яких розроблено правила звуження кількості варіантів, які досліджуються на оптимальність. Комбінаторна конфігурація (аргумент цільової функції) знаходиться не з урахуванням структури вхідної інформації, а визначається на певній ітерації випадково або за певними правилами. Оцінка результату проводиться з використанням лінійної цільової функції, яка не дозволяє встановлювати функціональну зв'язаність між елементами вхідних даних. Розроблені на основі цих методів алгоритми поліноміально визначають лише локальний розв'язок. Глобальний оптимум цими підходами знаходиться для невеликої розмірності задачі, а для великої в переважній більшості знаходиться експоненціально. З використанням лінійної цільової функції інколи знайти його неможливо навіть повним перебором із-за ситуації невизначеності.

В методах, які ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідних даних, в процесі розв'язання задачі визначенням зв'язків між елементами множини вхідної інформації послідовно будується комбінаторна конфігурація (аргумент), для якої цільова функція набуває оптимального значення. Цей результат може бути і глобальним розв'язком.

Розглянемо метод структурно-алфавітного пошуку, що ґрунтується на розпізнаванні структури вхідної інформації та заданому впорядкуванні комбінаторних конфігурацій [2]. Він характеризується величезною швидкодією та на множині перестановок (підмножині ізоморфних

комбінаторних конфігурацій) дозволяє поліноміально знаходити глобальний або наближений до нього розв'язок. В ньому використано найпростіший розв'язний випадок, який задано двома системами перестановок. Під розв'язними мається на увазі певний підклас задач, для яких відомий аналітичний спосіб знаходження глобального розв'язку. Це дає можливість визначити множину значень цільової функції для базової задачі.

Комбінаторна конфігурація (аргумент цільової функції) в оговореному підході будується в процесі розв'язання задачі на основі аналізу елементів множини вхідної інформації. Збіжність послідовності розв'язків, побудованих цим методом наближається до нуля, а для підкласів розв'язних задач оптимальний розв'язок збігається з глобальним. Його швидкість – поліноміальна за обчислювальною складністю.

Методи, що ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідних даних використовуються для розв'язання задач штучного інтелекту. Для сегментації мовленнєвого сигналу на майже періодичні та неперіодичні ділянки, використовують метод динамічного програмування з кореляційним способом обчислення цільової функції. Оскільки в цьому алгоритмі не розпізнається конфігурація сигналу, то для двох сусідніх ділянок для певного відліку вибирається оптимальне значення із обчислених в цій точці значень часткової цільової функції незалежно від подібності ділянок, тобто будь-який сигнал він розпізнає як майже періодичний. Тобто неперіодичні відрізки сигналу такий алгоритм може розпізнавати як майже періодичні. Методи, в яких розпізнається конфігурація сигналу коректно розв'язують поставлену задачу та за їх допомогою поставлена проблема для великих розмірностей вирішується в реальному часі.

ВИСНОВКИ

Використання різних підходів до аналізу вхідних даних впливає на швидкість та точність алгоритмів, що розробляються для розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Методами, які ґрунтуються на розпізнаванні структури вхідної інформації, в порівнянні з кореляційними, часто для великих розмірностей задачі глобальний розв'язок знаходиться поліноміально. Це пов'язано з тим, що комбінаторна конфігурація (аргумент цільової функції) будується в процесі розпізнавання елементів множини вхідних даних, завдяки чому між ними встановлюється функціональна зв'язаність. До того ж для деяких задач із штучного інтелекту, в яких виникає ситуація невизначеності, такі підходи можуть бути єдино можливими для їхнього розв'язання.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Гайдьшев И.П. Анализ и обработка данных. Специальный справочник /И.П. Гайдьшев. – Санкт-Петербург, ПИТЕР, 2001. – 752 с.
- [2] Тимофієва Н.К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Автореф. дис... докт. техн. наук / – Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ. – 2007. – 32 с.

Про один метод обчислення мультиплікатора Леонт'єва

Мірзоахмедов Ф.

кафедра математичного та інформаційного моделювання
Фінансово-економічний інститут Таджикистану, Таджикистан
mirfakh@mail.ru

A Method for Calculating the Leontief Multiplier

Mirzoahmedov F.

Department of Mathematical and Information Modeling
Finance and Economics Institute of Tajikistan, Tajikistan
mirfakh@mail.ru

Анотація—У статті проаналізовано методичні підходи до отримання кількісних оцінок мультиплікативних ефектів в сучасній економіці. В якості основного інструменту обчислень автором використана міжгалузевий баланс виробництва і розподілу продукції. Проаналізовано ключові фактори, що впливають на оцінку мультиплікаторів в галузях економіки Республіки Таджикистан (РТ). Описано метод обчислення мультиплікативного ефекту.

Abstract—The article deals with the model of interbranch balance Leontief underlying contemporary approaches to economic and mathematical modeling of the interbranch relations in the national economy. The focus is on the general principles of construction and maintenance of the basic model of interbranch balance in the context of the theoretical and practical application of a multiplier for Leontiev sectors of the economy of Tajikistan.

Ключові слова—міжгалузевий баланс, мультиплікатор Леонт'єва, мультиплікативний ефект, вид економічної діяльності, прямі і повні витрати, метод обчислень

Keywords—Input-output analysis (IO analysis), Leontief multiplier, multiplier effect of economic activity, direct and full costs method of calculation

I. ВСТУП

В даний час міжгалузевий баланс (МБ) на рівні національної економіки складають в більше 80-и країнах світу. Для цього будуються моделі на рівні регіонів і великих міст, які становлять основу для формування МБ.

У балансі зводяться:

- співвідношення накопичення і споживання в національній економіці;

- базове виробництво по країні;
- кінцеве і проміжне споживання кожного виду продукту;
- витрати факторів виробництва (праці і капіталу) в галузі;
- прямі і зворотні зв'язки між галузями.

Серед усіх балансів одним з важливих є МБ, на базі якого будують системи національних рахунків (СНР) - сучасні системи інформації, які використовуються практично у всіх країнах світу для аналізу і розвитку ринкової економіки на макrorівні.

Автор на базі таблиці СНС - «Ресурси-використання», пропонує методологію обчислення матричного мультиплікатора Леонт'єва для макроекономічного аналізу.

II. Вихідні Дані для Побудови Моделей

У статті вихідною інформацією послужила матриця міжгалузевих потоків, наведеної в таблиці СНР - «Ресурси-використання» для 51 галузей РТ за 2011 рік підготовленої Агентством по статистиці при Президентіві РТ [1]. Для візуального сприйняття результатів аналізу МБ СНР, агрегуючи дані 51 активної галузі з 91 підгрупам, представимо матрицю міжгалузевого обміну галузей у вигляді 9-и основних галузей національної економіки у вигляді звітної таблиці МБ з реальними даними в базисних цінах (таблиця 1).

ТАБЛИЦЯ І. МАТРИЦЯ МІЖГАЛУЗЕВОГО ОБМІНУ (Тис. Сомоні)

Галузь	Сільське господарство	Промисловість	Торгівля	Транспорт	Послуги	Сервіс	Переробка	Будівництво	Фінанси
1	41 078 39	653 191	40 149	42 129	9 289	3 133	77 465	5 278	32
2	208 723	755 521	129 369	181 504	114 319	16 085	68 124	341 146	65 589
3	806 533	275 228	202 890	81 226	82 082	15 945	80 021	222 599	42 388
4	972 037	338 048	163 556	2 253 267	141 522	118 876	103 602	487 455	140 904
5	298 862	26 079	27 698	208 245	422 140	35 507	4 636	28 419	33 057
6	5 809	1 765	2 573	13 215	2 043	4 233	455	1 742	8 150
7	2 445	3 494	14 676	22 755	5 663	542	244 928	22 778	178
8	8 780	7 311	22 605	20 457	4 418	16 482	972	67 016	8 785
9	214 420	110 028	32 260	350 013	73 360	195 720	17 935	119 441	887 166

Агрегацію окремих галузей здійснено наступним чином, зокрема, деякі із них.

Друга галузь включає підприємства промисловості, в тому числі, переробної.

П'ята галузь включає підприємства галузі послуг - торгівля автотранспортними засобами та мотоциклами; роздрібна торгівля, зокрема, паливом; ремонт предметів особистого користування, послуги готелів і ресторанів, сухопутний, авіаційний і трубопровідний транспорт, діяльність туристичних агентств, пошта та послуги зв'язку, пенсійні послуги, освітні послуги, здоров'я та соціальні послуги, культурні та спортивні заходи.

Шоста галузь включає підприємства галузі сервісу, зокрема послуги в сфері нерухомості, оренди, бізнес-послуги, державне управління та оборона.

Дев'ята галузь включає фінансовий сектор, зокрема банки, страхові, фондові, трастові компанії та компанії з продажу нерухомості.

III. МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ЛЕОНТЬЄВА

Розглянемо класичну модель МБ Леонт'єва [2]:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

де $a_{ij} = x_{ij}/x_i$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$) - коефіцієнти прямих матеріальних витрат валового продукту i -ї галузі, спрямованого для випуску одиниці валової продукції j -ї галузі, x_{ij} - міжгалузеве споживання (кількість продукції, яку споживає галузь i з галузі j).

Модель Леонт'єва в матричному вигляді записується в такий спосіб:

$$X = AX + Y,$$

або

$$(E - A)X = Y, \quad (2)$$

де (1) і (2) представляють собою систему n рівнянь з $2n$ змінними; n - кількість галузей; E - одинична матриця розмірності n ; $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ - вектор, елементи якого є кінцевою продукцією (КП) i -ї галузі; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - вектор, елементи якого є валовим випуском (ВВ) j -ї галузі; $A = (a_{ij})$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, n}$ - матриця коефіцієнтів прямих матеріальних витрат (таблиця 2).

Матриця $A \geq 0$ визначається продуктивною (productive), якщо для будь-якого $Y \geq 0$ існує рішення $X \geq 0$ рівняння (2). Тобто A продуктивна, якщо $a_{ij} \geq 0$, $0 \leq a_{ij} < 1$, $\sum_{i=1}^n a_{ij} < 1$, та $\max_j \sum_{i=1}^n a_{ij} \leq 1$, і існує стовпець j такий, що економічний сенс цього визначення полягає у відстеженні невідомого стану продуктивної матриці $A \geq 0$. Якщо існує такий позитивний вектор обсягів виробництва галузей $X \geq 0$, то для кожної галузі може призвести до кількох $Y \geq 0$ кінцевої продукції.

Сукупність співвідношень (1) і (2) називають моделлю МБ Леонт'єва

Як правило, модель МБ (2) використовується для знаходження по заданому вектору КП Y відповідного вектора ВВ:

$$X = (E - A)^{-1} Y, \quad (3)$$

Тут $B = (E - A)^{-1}$ - називається матрицею повних витрат (знак (-1) означає звернення матриці), а її елементи b_{ij} - коефіцієнтами повних витрат у валовій продукції, що означають продукцію галузі i для виробництва одиниці кінцевої продукції галузі j .

ТАБЛИЦЯ II. ТЕХНОЛОГІЧНА МАТРИЦЯ ПРЯМИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ВИТРАТ А

0,221621	0,07435775	0,006087	0,0044251	0,001515	0,000961	0,040145	0,00062351	1,5122E-05
0,0112608	0,086007	0,019614	0,0190649	0,018651	0,004935	0,035304	0,04030212	0,030810785
0,04351313	0,03133128	0,03076	0,0085319	0,013392	0,004892	0,041469	0,02629734	0,019912092
0,05244219	0,03848259	0,024797	0,236681	0,023089	0,03647	0,05369	0,0575867	0,066190084
0,01612385	0,00296873	0,004199	0,0218738	0,06887	0,010893	0,002402	0,00335739	0,015528773
0,00031342	0,000201	0,00039	0,0013881	0,00033	0,001299	0,000236	0,0002058	0,003828416
0,000132	0,00039779	0,002225	0,0023902	0,000924	0,00017	0,12693	0,0026909	8,35912E-05
0,00047371	0,0008323	0,003427	0,002149	0,000721	0,005057	0,0005	0,00791715	0,004126789
0,01156816	0,0125253	0,004891	0,0367649	0,011968	0,060045	0,009295	0,01411051	0,41674952

Матрицю B іноді називають матрицею Леонтьєва або, за аналогією з кейнсіанською концепцією мультиплікатора, матричним мультиплікатором або мультиплікатором Леонтьєва. Матриця елементів b_{ij} по

суті є мультиплікатором, який вказує ефект поширення попиту, первісним джерелом якого є попит на кінцеву продукцію (таблиця 3).

ТАБЛИЦЯ III. МАТРИЦЯ ПОВНИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ВИТРАТ ОБЧИСЛЕНИХ ЗГІДНО $B=(E-A)^{-1}$

	Сільське господарство	Промисловість	Торгівля	Транспорт	Послуги	Сервіс	Переробка	Будівництво	Фінанси
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,287815	0,105751	0,010739	0,010948	0,004806	0,002756	0,064772	0,006324	0,007429
2	0,020870	1,098977	0,023900	0,031898	0,024089	0,011068	0,049269	0,048264	0,063554
3	0,060426	0,041671	1,033873	0,015630	0,016786	0,008652	0,055024	0,030820	0,040003
4	0,095305	0,067088	0,037258	1,321955	0,037007	0,059148	0,091994	0,083125	0,156815
5	0,025445	0,007621	0,006028	0,032888	1,075505	0,015049	0,007107	0,006528	0,033122
6	0,000700	0,000484	0,000513	0,002193	0,000521	1,001808	0,000556	0,000470	0,006885
7	0,000653	0,000822	0,002769	0,003729	0,001300	0,000424	1,145822	0,003447	0,000787
8	0,001208	0,001397	0,003736	0,003341	0,001050	0,005734	0,001164	1,008449	0,007782
9	0,033139	0,030529	0,012056	0,085403	0,025255	0,107682	0,027094	0,031295	1,727851

Також, можна довести, що матрицю коефіцієнтів повних витрат B можна обчислити наступним чином [3]:

$$E + A + A^2 + A^3 + \dots + A^k + \dots = (E - A)^{-1},$$

де матриці A^2, A^3, A^k обчислюються послідовно, враховуючи що $A^k = A^{k-1}A$, k - визначає розмірність матриці A (таблиця 4).

У рівняння (3) доданок $A Y$ є результатом первинного ефекту мультиплікації (розкладання), $A^2 Y$ - вторинним і т.д. (Таблиця 4).

З елементів таблиці 5 видно, що елементи додатні, що означає:

- елементи таблиць 3 і 4 мало відрізняються один від одного;

- елементи матриці повних витрат B за другим методом менші ніж за першим, отже з меншими затратами можна отримати той же результат.

Таким чином (3) можна представити у вигляді:

$$X = (E - A)^{-1} Y = (E + A + A^2 + A^3 + \dots + A^k) Y. \quad (3-a)$$

Виходячи з (3-а), рішення рівняння (2), крім способу (3), можна отримати ітераційним методом Якобі [3]:

$$X^{(k+1)} = AX^{(k)} + Y, \quad (4)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$ номер ітерації.

ТАБЛИЦЯ IV. МАТРИЦЯ ПОВНИХ МАТЕРІАЛЬНИХ ВИТРАТ ОБЧИСЛЕНИХ ЗГІДНО $B = E + A + A^2 + A^3 + \dots + A^k + \dots$

	Сільське господарство	Промисловість	Торгівля	Транспорт	Послуги	Сервіс	Переробка	Будівництво	Фінанси
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,287812	0,105749	0,010738	0,010944	0,004805	0,002753	0,064769	0,006322	0,007408
2	0,020864	1,098973	0,023898	0,031888	0,024086	0,011061	0,049264	0,048261	0,063506
3	0,060422	0,041669	1,033872	0,015623	0,016784	0,008648	0,055021	0,030818	0,039973
4	0,095286	0,067074	0,037253	1,321922	0,036999	0,059123	0,091978	0,083113	0,156661
5	0,025442	0,007618	0,006027	0,032883	1,075503	0,015045	0,007104	0,006526	0,033095
6	0,000700	0,000483	0,000513	0,002192	0,000520	1,001807	0,000556	0,000470	0,006881
7	0,000653	0,000822	0,002768	0,003728	0,001299	0,000424	1,145822	0,003447	0,000785
8	0,001207	0,001397	0,003736	0,003340	0,001050	0,005733	0,001163	1,008449	0,007777
9	0,033092	0,030495	0,012043	0,085322	0,025235	0,107620	0,027057	0,031266	1,727458

В таблиці 5 наведено різницю матриць повних витрат розрахованих першим і другим методами.

ТАБЛИЦЯ V. РІЗНИЦЯ МАТРИЦЬ ПОВНИХ ВИТРАТ

	Сільське господарство	Промисловість	Торгівля	Транспорт	Послуги	Сервіс	Переробка	Будівництво	Фінанси
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,000003	0,000002	0,000001	0,000005	0,000001	0,000003	0,000003	0,000002	0,000021
2	0,000006	0,000004	0,000002	0,000010	0,000003	0,000008	0,000005	0,000003	0,000048
3	0,000004	0,000003	0,000001	0,000006	0,000002	0,000005	0,000003	0,000002	0,000030
4	0,000020	0,000014	0,000005	0,000033	0,000008	0,000025	0,000016	0,000012	0,000155
5	0,000004	0,000003	0,000001	0,000006	0,000001	0,000004	0,000003	0,000002	0,000028
6	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000	0,000001	0,000000	0,000000	0,000004
7	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002
8	0,000001	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000	0,000001	0,000000	0,000000	0,000005
9	0,000047	0,000034	0,000013	0,000081	0,000020	0,000063	0,000038	0,000028	0,000392

Підставляючи в ітеративну процедуру (4) в якості початкового наближення $X^0 = Y$, обчислимо ефект мультиплікації, що породжується кінцевим попитом: задаючи інші позитивні початкові наближення, зможемо оцінити отримані результати з економічної точки зору.

IV. ПЕТРЕВАГИ МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ ЛЕОНТЬСВА

Використання в міжгалузевому аналізі ітеративних методів має наступні переваги:

- зручність для обчислення ефекту мультиплікації;
- передбачення алгебраїчних знань, необхідних для обчислення зворотних матриць;
- можна розглядати як модель механізму «налаштування» неварієтних параметрів економіки навіть безвідносно до міжгалузевого аналізу.

Формула [3] визначає, якщо сума елементів матриці A з будь-якого одного стовпця (рядка) строго менше одиниці, то процес ітерацій сходиться до точного розв'язання системи при будь-якому початковому векторі. Якщо ж сума елементів матриці A в будь-якому її стовпці (рядку) не перевищує одиниці, то процес ітерацій сходиться до точного розв'язку системи при початковому векторі, що знаходиться досить близько до нього.

Таким чином, перевірка матриці прямих витрат A на продуктивність одночасно є і перевіркою ітеративного процесу на збіжність. У цьому полягає друга перевага методу ітерацій при вирішенні завдань МБ.

Слід зазначити, що точне рішення системи отримуємо тільки в результаті нескінченного процесу і довільний вектор з отриманої послідовності є наближеним рішенням.

Оцінка похибки цього наближеного рішення визначається формулою [3]:

$$|X^{(k+1)} - X^{(k)}| \leq \varepsilon, \varepsilon = const,$$

де ε - необхідна точність рішення, яка в будь-якому випадку не перевищує точності задання елементів матриці прямих витрат A і компонентів вектора кінцевого продукту Y . Оскільки точність рішення, отриманого традиційним методом (3), також не перевищує точності задання A і Y , то програшу в точності тут не спостерігається.

При аналізі МБ з кількістю галузей понад п'ять для вирішення системи (2) застосування методу зі зворотним матриці (3) призводить до втрат в точності.

Застосування методу (4) видається більш зручним, але і тут можуть бути проблеми точності. Елементи матриці A величини дробові і менші одиниці. Якщо при вирішенні системи (2) методом (3) доводиться множити, ділити і віднімати подібні величини, то виникнення проблеми точності отриманого рішення неминуче.

За результатами сумування елементів матриці повних витрат (таблиця 4) по стовпцях отримуємо матричний мультиплікатор Леонт'єва (таблиця 6), який, по суті, є мультиплікатором, що показує ефект поширення попиту, первісним джерелом якого є попит на КП.

ТАБЛИЦЯ VI. Матричний Мультиплікатор Леонт'єва

Сільське господарство	Промисловість	Торгівля	Транспорт	Послуги	Сервіс	Переробка	Будівництво	Фінанси
1,52547674	1,35427950	1,13084911	1,50784387	1,18628197	1,21221332	1,44273472	1,21867162	2,04354312

З Таблиці 6 - галузевих мультиплікаторів Леонт'єва, можна зробити висновки, що коефіцієнт ефективності додаткового інвестування на 1 тис. сомоні дає збільшення ВВ у відповідні галузі становить: у сільське господарство 1,525; в промисловість - 1,354; в торгівлю - 1,131; транспорт - в 1,508; послуги - 1,18628197; сервіс в 2,774; переробку - в 2,774; будівництво - 1,219; фінанси - 2,044 .

Серед проаналізованих галузей, збільшення ВВ галузі послуг є найбільшим, хоча ця галузь є невиробничою частиною економіки, і свій максимальний розвиток отримує тільки при наявності розвинених виробничих галузей: сільського господарства і промисловості (в тому числі, переробної і видобувної).

Висновки

Таким чином, вироблені за МБ обчислення з урахуванням мультиплікаторів Леонт'єва дозволяють оцінювати прямі і непрямі наслідки змін, в тому числі

технології і структур виробництва, в споживчому попиті, імпортозаміщення, зовнішній торгівлі, інвестуванні, у співвідношенні цін і доходів і в масштабах економіки країни.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Формирование таблицы «Ресурсы-использование» (По итогам 2011года по Республике Таджикистан), Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, Душанбе, 2015г. , 84 стр.
- [2] Леонт'єв В.В. Исследования структуры американской экономики. Теоретический и эмпирический анализ по схеме затраты, М., Госстатиздат, 1958г., - 640с.
- [3] Мирзоахмедов Ф. Макроэкономический анализ национальной экономики на базе межотраслевого баланса Леонт'єва. Журнал «Таджикистан и современный мир» Центр стратегических исследований при Президенте Республики Таджикистан, № 5 (48), Душанбе, 2015г.
- [4] Burden R.L., Faires J.D., Burden A.M., Numerical Analysis. Cengage Learning, 2015. -P. 912.

Аналіз динаміки зміни середньої затримки пакетів на інтерфейсі маршрутизатора телекомунікаційної мережі

О. Лемешко, О. Єременко
кафедра телекомунікаційних систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandr.lemeshko@nure.ua, oleksandra.yeremenko@nure.ua

Analysis Dynamics Change of Average Packet Delay on Telecommunication Network Router Interface

O. Lemeshko, O. Yeremenko
Telecommunication Systems Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.lemeshko@nure.ua, oleksandra.yeremenko@nure.ua

Анотація—Представлені результати дослідження та аналіз динаміки зміни середньої затримки пакетів на інтерфейсі маршрутизатора телекомунікаційної мережі. Визначено, що використання стаціонарних оцінок при обчисленні таких параметрів, як середнє значення довжини черги та середньої затримки пакетів допустимо тільки після закінчення перехідного процесу. В іншому випадку, бажано використовувати більш точні диференціальні моделі. В рамках дослідження було вивчено вплив середньої швидкості потоку та пропускної здатності інтерфейсу разом з початковим станом перехідного процесу на середню довжину черги та середню затримку пакета.

Abstract—Research results and analysis dynamics change of average packet delay on telecommunication network router interface presented. Determined that the use of steady state estimations when calculating such parameters as average queue length and average packet delay allowable only after the end of the transient process. Otherwise, it is advisable to use more accurate differential models. Within the research was investigated the influence of the average flow rate and interface throughput together with initial state at the beginning of the transient process to the average queue size and average packet delay.

Ключові слова—інтерфейс маршрутизатора; інтенсивність потоку; пропускна здатність; завантаженість черги; середня довжина черги; середня затримка пакетів

Keywords—router interface; flow rate; throughput; queue utilization; average queue length; average packet delay

I. INTRODUCTION

Technological mechanisms of queue management on interfaces of telecommunication network (TCN) routers should have effective procedures to analyze its state that enable management decisions in comply with the requirements for ensuring the specified level of quality of service (QoS). Moreover, it is essential to have models describing the dynamics of the network router interface state changes in time in order to obtain more accurate estimates of the queue length and associated QoS parameters (average packet delay and others). Tools of queuing theory allow to obtain an adequate estimation of the required parameters just for steady-state interface operation, i.e., at the end of transient processes associated with a change in state. The processes of estimating the interface state and queue management are real time in the range of tens milliseconds. Thus, in current research presented actual analysis dynamics change of average packet delay on TCN router interface, because estimations of limit values may differ from the values corresponding to dynamics of transient process.

II. QUEUE UTILIZATION DYNAMICS MODEL

There are currently known a lot of types of mathematical models, based on different approximations of dynamics changes in state of TCN router interface [1]. The most efficient in relation to adequacy and clarity, in our opinion, is a model based on use the nonlinear differential equation system of network state obtained by the Pointwise Stationary Fluid Flow

Approximation (PSFFA), where under the network state was understood the average queue length on the router interface [2]. There are known the following model parameters: λ is the average flow rate (packets per second, 1/s) entering the analyzed queue; μ is the interface throughput (packets per second, 1/s) allocated to this queue; $\rho = \lambda/\mu$ is the queue utilization. Several special cases of model PSFFA M/G/1 can be determined [1, 3]. Using M/M/1 queuing system in approximation the following differential equation of average queue length as function of time can be obtained:

$$\dot{q}_{ave}(t) = -\mu \left(\frac{q_{ave}(t)}{q_{ave}(t)+1} \right) + \lambda. \quad (1)$$

In turn, according to (1) and using Little's law can be derived the equation for average packet delay on the network router interface. Then we have

$$\dot{\tau}(t) = 1 - \mu \left(\frac{\tau(t)}{\lambda\tau(t)+1} \right). \quad (2)$$

The novelty of presented equations is that average queue length and average packet delay are functions of time that can be used in dynamic modeling of telecommunication system behavior.

III. CONVERGENCE ANALYSIS OF AVERAGE PACKET DELAY TO THE LIMIT VALUE

Within the research was investigated the influence of the average flow rate and interface throughput together with initial state at the beginning of the transient process to the average queue size and average packet delay. There are shown convergence (see Fig. 1 and Fig. 2) of average packet delay to its limit value in steady state ($d\tau/dt = 0$), i.e. $\tau = 1/(\mu - \lambda)$. In this example the following two cases of router interface state considered. For the first case queue is empty and consequent initial delay is $\tau_0 = 0$ s. For second case transient process begins with the initial value $\tau_0 = 0.4$ s. Values of the flow rate and interface throughput are indicated on figures.

Results of modeling revealed that with high utilization of queue on network router interface (in the range of 0.96...0.97) average packet delay doesn't reach its limit value within observation time interval. That's why it is impossible to use steady state estimations in network management process when correct decisions can't be performed because values of queue lengths and packet delays can't be estimated adequately. In the case of zero initial delay using steady state values an overestimation of these parameters observed (Fig. 1). While when the queue on the interface is not empty ($\tau_0 \neq 0$), parameters are underestimated, which is much more critical.

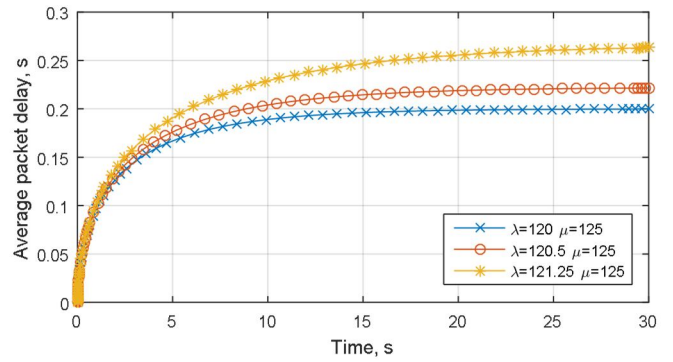


FIG. 1. Convergence of average packet delay to limit value ($\tau_0=0$ s).

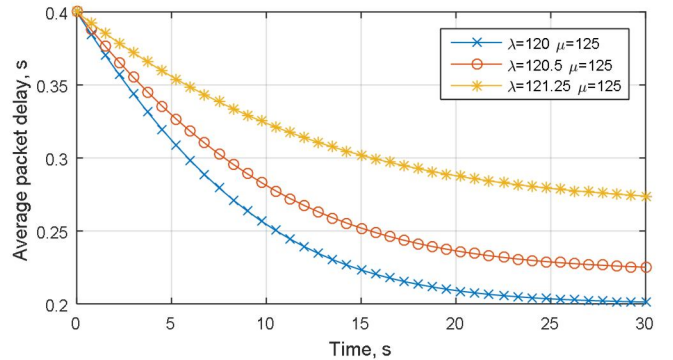


FIG. 2. Convergence of average packet delay to limit value ($\tau_0=0.4$ s).

CONCLUSION

Presented model (1), (2) can be used in queue management and in solving the problems of congestion management, congestion avoidance and packet routing. Based on obtained results, it is determined that the use of steady state estimations when calculating such parameters as average queue length and average packet delay allowable only after the end of the transient process. Otherwise, it is advisable to use more accurate differential models.

REFERENCES

- [1] K.A. Alnowibet, Nonstationary Erlang Loss Queues and Networks. PhD Thesis, North Carolina State University, 2004.
- [2] W.-P. Wang, D. Tipper, and S. Banerjee, "A Simple Approximation for modeling Nonstationary Queues," Proceedings of the Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies (INFOCOM '96), vol. 1, pp. 255–262, 1996.
- [3] O.S. Yeremenko, T.M. Lebedenko, T.V. Vavenko, and M.V. Semenyaka, "Investigation of Queue Utilization on Network Routers by the Use of Dynamic Models," Second International IEEE Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology, pp. 46-49, October 2015 [Proceedings of PICS&T-2015, Ukraine, p. 272, 2015].

Математичне та комп'ютерне моделювання поширення домішки двома шляхами у середовищі з випадковим прошарком

О. О. Власій
кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
olesia.vlasii@pu.if.ua

Mathematical and Computer Modeling Admixture Spread by Two Ways in a Medium with a Random Sublayer

O. Vlasii
Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olesia.vlasii@pu.if.ua

Анотація—Запропоновано та досліджено математичну модель гетеродифузії домішкової речовини з врахуванням процесів сорбції-десорбції у двофазному тілі з випадково розташованим прошарком однієї з фаз. Отримано розрахункові формули для моделювання процесу поширення домішки, на основі яких здійснено комп'ютерне моделювання для встановлення впливу характеристик середовища на розподіли полів концентрації домішкової речовини.

Abstract—The mathematical model of heterodiffusion of the admixture in a two-phases body with randomly located layer taking into account sorption-desorption processes are proposed. Calculating formulas for the modeling the admixture spread are obtained. Based on the formulas computer modeling heterodiffusion process is used for the estimating an influence of physical characteristics of the body on the distributing concentration fields of the admixture.

Ключові слова—гетеродифузія; двофазне тіло з випадковим прошарком; поширення домішки; комп'ютерне моделювання

Keywords—heterodiffusion; two-phases body with randomly located sublayer; admixture spread; computer modeling.

I. ВСТУП

В структурі реальних середовищ частинки домішки, як правило, локально знаходяться в різних фізичних станах, що зумовлює їх дифузію декількома шляхами, яка супроводжується переходами з одного шляху на інший. Такий процес масопереносу домішкових речовин називають гетеродифузією. Короткий огляд бібліографії, присвяченої питанням дослідження гетеродифузійних процесів, наведено у роботі [1]. Зазначені особливості дифузії характерні для полікристалічних тіл, дрібнозернистих систем різної фізичної природи, пористих насичених рідиною середовищ тощо. Окремий інтерес становить дослідження дифузійних процесів у пористих середовищах, якими, зокрема, є ґрунти, адже дифузією домішкових речовин значною мірою визначається поширення забруднень у навколишньому середовищі. Зауважимо, що у приповерхневих ґрунтових шарах процес просторового перенесення домішок відбувається декількома шляхами. Дослідження дифузійних процесів ускладнюється також у випадку стохастично неоднорідних багатофазних середовищ з суттєво різними фізико-хімічними характеристиками різних фаз [2].

В даній роботі на основі математичного та комп'ютерного моделювання досліджено процеси гетеродифузії домішкової речовини, яка дифундує двома

шляхами у двофазному багатокомпонентному дисперсному середовищі з випадково розташованим прошарком, фізико-хімічні характеристики якого відмінні від відповідних параметрів матриці. Математичну модель побудовано із урахуванням локальних переходів між різними станами домішкових частинок (процеси типу сорбції–десорбції) та за умови локальної термодинамічної рівноваги між двома станами домішки [3].

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Розглянемо дисперсну двофазну шарувату смугу товщиною z_0 , в якій шар однієї фази Ω_1 містить випадково розташований прошарок іншої фази Ω_2 товщиною h (рис. 1). Приймаємо, що фази в тілі розташовані за рівномірним розподілом і об'ємна частка області Ω_1 є набагато більшою за об'ємну частку Ω_2 , тобто $h \ll z_0 - h$, де $h = z_2 - z_1$ – товщина області Ω_2 . Надалі будемо вважати випадковою величиною координату верхньої межі прошарку $z = z_1$.

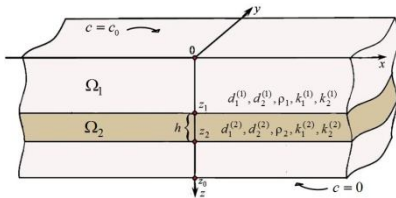


Рис. 1. Тіло з випадковим прошарком

Нехай в цьому тілі домішкова речовина дифундує двома шляхами, переходячи з одного шляху міграції на інший. Вважаємо, що дифузійні властивості частинок домішки у різних фазах можуть суттєво відрізнятися.

Концентрація домішок при вертикальній гетеродифузії визначається з системи взаємозв'язаних диференціальних рівнянь, коефіцієнти яких є випадковими функціями просторової координати z :

$$\rho(z) \frac{\partial c_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[d_1(z) \frac{\partial c_1}{\partial z} + d_3(z) \frac{\partial c_2}{\partial z} \right] - k_1(z) c_1 + k_2(z) c_2,$$

$$\rho(z) \frac{\partial c_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[d_2(z) \frac{\partial c_2}{\partial z} + d_4(z) \frac{\partial c_1}{\partial z} \right] - k_2(z) c_2 + k_1(z) c_1, \quad (1)$$

де $c_i = c_i(z, t)$ – випадкові концентрації домішки в станах, що відповідають швидкому (при $i=1$) та повільному ($i=2$) шляхам перенесення частинок; $\rho(z)$ – випадкова густина середовища; $d_i(z)$, $i=1, 2$ – випадкові кінетичні коефіцієнти дифузії в i -ому стані; $d_i(z)$, $i=3, 4$ – випадкові коефіцієнти, що відповідають за перехресну дифузію частинок домішки на різних шляхах міграції; $k_i(z)$ – випадкові коефіцієнти інтенсивності переходу домішкових частинок зі швидкого шляху міграції на повільний (при $i=1$) і зворотного переходу (при $i=2$).

Нехай в початковий момент часу в тілі відсутня домішкова речовина, тобто

$$c_1(z, t)|_{t=0} = 0, \quad c_2(z, t)|_{t=0} = 0. \quad (2)$$

На верхній границі тіла $z=0$ підтримується постійне значення c_0 сумарної концентрації домішкової речовини. Введемо у розгляд параметр α ($0 \leq \alpha \leq 1$), який визначає частину домішкової речовини, що з поверхні тіла потрапила на швидкий шлях міграції, тоді виконуються умови

$$c_1(z, t)|_{z=0} = \alpha c_0, \quad c_2(z, t)|_{z=0} = (1 - \alpha) c_0. \quad (3)$$

На нижній границі тіла концентрація рівна нулю, тоді

$$c_1(z, t)|_{z=z_0} = 0, \quad c_2(z, t)|_{z=z_0} = 0. \quad (4)$$

Густина середовища, кінетичний коефіцієнт дифузії та коефіцієнти інтенсивності переходу вважаємо сталими в об'ємі кожної з фаз:

$$\rho(z) = \begin{cases} \rho^{(1)}, & z \in \Omega_{11} \cup \Omega_{21}, \quad i = \overline{1, 4}, \quad \rho^{(j)} = const, \quad j = 1, 2 \\ \rho^{(2)}, & z \in \Omega_{12} \end{cases}$$

$$d_i(z) = \begin{cases} d_i^{(1)}, & z \in \Omega_{11} \cup \Omega_{21}, \quad i = \overline{1, 4}, \quad d_i^{(j)} = const, \quad j = 1, 2 \\ d_i^{(2)}, & z \in \Omega_{12} \end{cases}$$

$$k_i(z) = \begin{cases} k_i^{(1)}, & z \in \Omega_{11} \cup \Omega_{21}, \quad i = 1, 2, \quad k_i^{(j)} = const, \quad j = 1, 2 \\ k_i^{(2)}, & z \in \Omega_{12} \end{cases}$$

III. ПОБУДОВА РОЗВ'ЯЗКУ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ

Шляхом введення матриць $D^{(j)} = \begin{pmatrix} d_1^{(j)} & d_3^{(j)} \\ d_4^{(j)} & d_2^{(j)} \end{pmatrix}$,

$K^{(j)} = \begin{pmatrix} -k_1^{(j)} & k_2^{(j)} \\ k_1^{(j)} & -k_2^{(j)} \end{pmatrix}$, вектора $c(z, t) = \begin{pmatrix} c_1(z, t) \\ c_2(z, t) \end{pmatrix}$ та функції

структури $\eta_{ij}(z) = \begin{cases} 1, & z \in \Omega_{ij}; \\ 0, & z \notin \Omega_{ij}, \end{cases}$ де Ω_{ij} – i -тий шар j -тої фази вихідну задачу (1)-(4) зведено до матричної задачі.

Трактуючи неоднорідність структури середовища як внутрішні джерела, отримано систему інтегродиференціальних рівнянь, еквівалентну вихідній крайовій задачі (1)-(4). Розв'язок отриманої системи, який описує концентрації домішкової речовини на швидкому та повільному шляхах міграції, побудовано у вигляді інтегральних рядів Неймана з використанням методу послідовних наближень. Усреднення виразів для випадкових полів концентрацій домішки проведено за ансамблем конфігурацій фаз з рівномірною функцією

розподілу у припущенні превалюючої об'ємної частки матриці.

Для усередненої концентрації домішки отримано наступні аналітичні формули:

$$\begin{aligned} \langle c(z,t) \rangle_{conf} = & c^{(0)}(z,t) + \frac{v_2}{h} \int_0^t \int_0^h \mathbf{G}(\rho^{(1)} - \rho^{(2)}) \frac{\partial c^{(0)}}{\partial t'} z' dz' dt' - \\ & - \frac{v_2}{h} \int_0^t \int_0^h \mathbf{G} \left((D^{(1)} - D^{(2)}) \frac{\partial^2 c^{(0)}}{\partial z'^2} + (K^{(1)} - K^{(2)}) c^{(0)} \right) z' dz' dt' + \\ & + v_2 \int_0^t \int_h^{z_0-h} \mathbf{G} \left((\rho^{(1)} - \rho^{(2)}) \frac{\partial c^{(0)}}{\partial t'} - (D^{(1)} - D^{(2)}) \frac{\partial^2 c^{(0)}}{\partial z'^2} \right) dz' dt' + \\ & + v_2 \int_0^t \int_h^{z_0-h} \mathbf{G} (K^{(1)} - K^{(2)}) c^{(0)} dz' dt' - \\ & - \frac{v_2}{2h} [\mathbf{D}(z)]_{z=z_1} \int_0^t \lim_{\substack{X_1 \rightarrow 0+ \\ X_2 \rightarrow h+ X_1}} \int_{X_1}^{X_2} \mathbf{G} \frac{\partial c^{(0)}}{\partial z'} dz' - \frac{1}{2} \left[\mathbf{G} \frac{\partial c^{(0)}}{\partial z'} \right]_{z'=h} dt', \end{aligned}$$

де $c^{(0)}(z,t)$ – вектор концентрацій домішки в однорідному середовищі, v_2 – об'ємна частка другої фази Ω_2 , G – детермінована матрична функція Гріна відповідної матричної крайової задачі.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Для комп'ютерного моделювання концентраційних полів домішкової речовини на різних шляхах міграції, а також сумарної концентрації домішки розроблено програмний комплекс з використанням Visual C++ 2010 Express, який є безкоштовним для некомерційного використання. Усі розрахунки проведено у природних безрозмірних змінних $\xi = (k_2^{(1)}/d_1^{(1)})^{1/2} x$, $\tau = k_2^{(1)}t/\rho_1$. Розроблений комплекс дає можливість вивчати вплив фізико-хімічних характеристик кожної з фаз на перерозподіл домішки в середовищі шляхом варіювання вхідних даних. На рисунку 2 схематично зображено зміну сумарного концентраційного поля домішки $c(\xi, \tau)$ в певний момент часу $\tau = \tau_0 = 10$ за умови відсутності перехресної дифузії частинок домішки у випадку $d_1^{(1)}(z) < d_1^{(2)}(z)$ при зростанні коефіцієнта $d_1^{(2)}(\xi)$. Інші параметри задачі прийнято наступними: $\rho^{(2)}/\rho^{(1)} = 1.3$, $k_1^{(1)} = k_1^{(2)} = 10$, $k_2^{(1)} = k_2^{(2)} = 1$, $\xi_0 = 10$, $h = 0.5$, $c_0 = 1$.

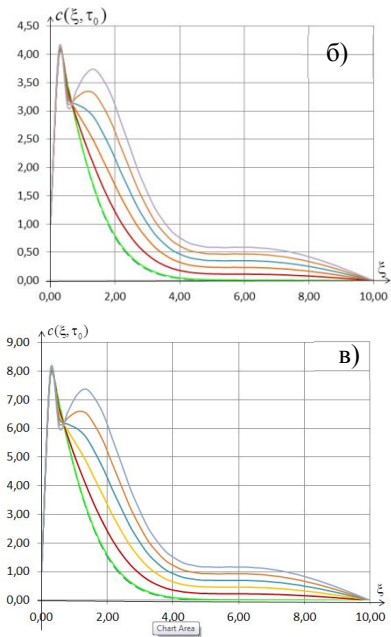
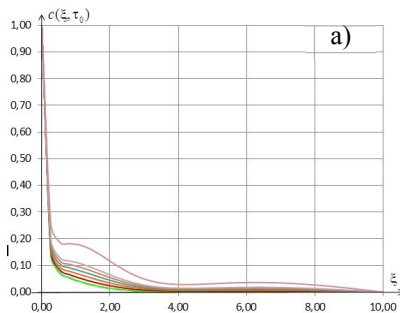


Рис. 2. Сумарне поле концентрації домішки при зростанні коефіцієнта $d_1^{(2)}(z)$ у випадку $d_1^{(2)}(z) < d_1^{(1)}(z)$ (а) $\alpha = 0$, б) $\alpha = 0.5$, в) $\alpha = 1$)

Отже, комп'ютерне моделювання показало, що: 1) наявність випадкового прошарку призвело до появи локального максимуму концентрації домішки при верхній границі другого шару першої фази, в той час як в однорідному середовищі наявний глобальний максимум при верхній границі шару; 2) зростання кінетичного коефіцієнта дифузії у прошарку призводить до затримання домішки у прошарку у випадку, коли вся домішка попала на повільний шлях міграції, та до накопичення домішки при верхніх границях фаз у випадку, коли домішка попала на швидкий шлях чи порівну розподілилася на обох шляхах.

ВИСНОВКИ

Дослідження процесів масопереносу домішки двома шляхами у пористому середовищі випадково неоднорідної структури має практичне значення при прогнозуванні поширення забруднень у ґрунтах. В роботі запропоновано та досліджено математичну модель гетеродифузії двома шляхами у середовищі з випадковим прошарком та отримано аналітичні вирази для концентраційних полів домішки на швидкому та повільному шляхах, а також сумарної концентрації, на основі якого здійснено комп'ютерне моделювання та проаналізовано вплив фізичних характеристик середовища на перерозподіл домішки.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В. Гончарук, Є. Чапля, О. Чернуха, Я. Оведик "Процеси гетеродифузії розпадної речовини двома шляхами у середовищі з пастками", *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, 2013, Вип. 18, С. 73-84.
- [2] Є. Чапля, О. Чернуха Математичне моделювання дифузійних процесів у випадкових і ре гулярних структурах, Київ: Наукова думка, 2009, 304 с.
- [3] Є. Чапля, О. Чернуха Фізико-математичне моделювання гетеродифузного масопереносу, Львів: Сполом, 2003, 125 с.

Моделювання процесів гетеродифузії двома шляхами за каскадного розпаду речовин

В.С. Гончарук
кафедра цивільної безпеки
Національний університет “Львівська політехніка”;
відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
vegongcharuk@ukr.net

Modeling the processes of heterodiffusion by two ways under cascade decay of substances

V. Goncharuk
Department of Civil Security
Lviv Polytechnic National University;
Department mathematical modeling of nonequilibrium processes
Center of Mathematical Modeling, Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics,
Ukrainian Academy of Sciences
Lviv, Ukraine
vegongcharuk@ukr.net

Анотація—Робота присвячена математичному моделюванню процесів гетеродифузії домішок за їх каскадного розпаду в тілі з двома шляхами міграції. Для конкретної схеми розпаду сформульовані зв'язані крайові задачі гетеродифузії каскадного типу. Розв'язки крайових задач отримані за ітераційною процедурою з використанням функцій Гріна.

Abstract—The work is devoted to mathematical modeling the processes of heterodiffusion of admixture under its cascade decay in a body with two migration ways. For the specific scheme of decay, associated initial-boundary value problems of heterodiffusion of the cascade kind are formulated. Solutions of the associated problems are obtained by iterative procedure with using Green functions.

Ключові слова—математична модель; гетеродифузія; каскадний розпад; сорбція-десорбція; крайова задача; функція Гріна.

Keywords— mathematical model; heterodiffusion; cascade decay; sorption-desorption; initial-boundary value problem; Green function.

I. ВСТУП

Прогнозування поширення розпадних домішкових субстанцій у ґрунтах та оцінка захищеності ґрунтових

вод від поверхневих техногенних забруднень базується на певних модельних уявленнях про їх локальний і просторовий перерозподіл у приповерхневих шарах Землі [1]. Процес переносу частинок домішкових субстанцій є особливо інтенсивним у випадку зволжених приповерхневих шарів, коли пори середовища практично повністю насичені водою [2]. Тоді домішкові частинки знаходяться в різних фізичних станах, перебуваючи в області гравітаційно рухомого водного порового розчину, адсорбції і зв'язних зі скелетом шарів води та області самого скелету [3]. У цих станах частинки мають різну рухливість, характеризуються різними коефіцієнтами концентраційного розширення, тощо. У результаті процес просторового перенесення техногенних речовин відбувається декількома шляхами і супроводжується локальними переходами з одного шляху дифузії на інший (процеси типу сорбції-десорбції). Важливою особливістю процесів гетеродифузії техногенних субстанцій є їх натуральний розпад (деградація), який відбувається з однаковою інтенсивністю у кожному зі згаданих станів [4].

У роботі в рамках моделі гетеродифузійного масопереносу, побудованої на основі підходів і методів термодинаміки нерівноважних процесів з використанням, уявлень фізики твердого тіла та механіки суцільного се-

редовища, [5] сформульовано крайові задачі дифузії двома шляхами з урахуванням процесів сорбції-десорбції частинок за їх каскадного розпаду [6], коли розв'язок задачі на одному етапі є джерелом на наступному.

II. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕТЕРОДИFUZІЇ ДОМІШКОК ЗА КАСКАДНОГО РОЗПАДУ РЕЧОВИН

Нехай частинки одного хімічного сорту, які розпадаються, мігрують у тілі з двома шляхами міграції (дрібнодисперсне середовище, монокристали тощо) [7-10]. Причому речовини, які утворилися в наслідок розпаду, також можуть розпадатися. Як приклад такого

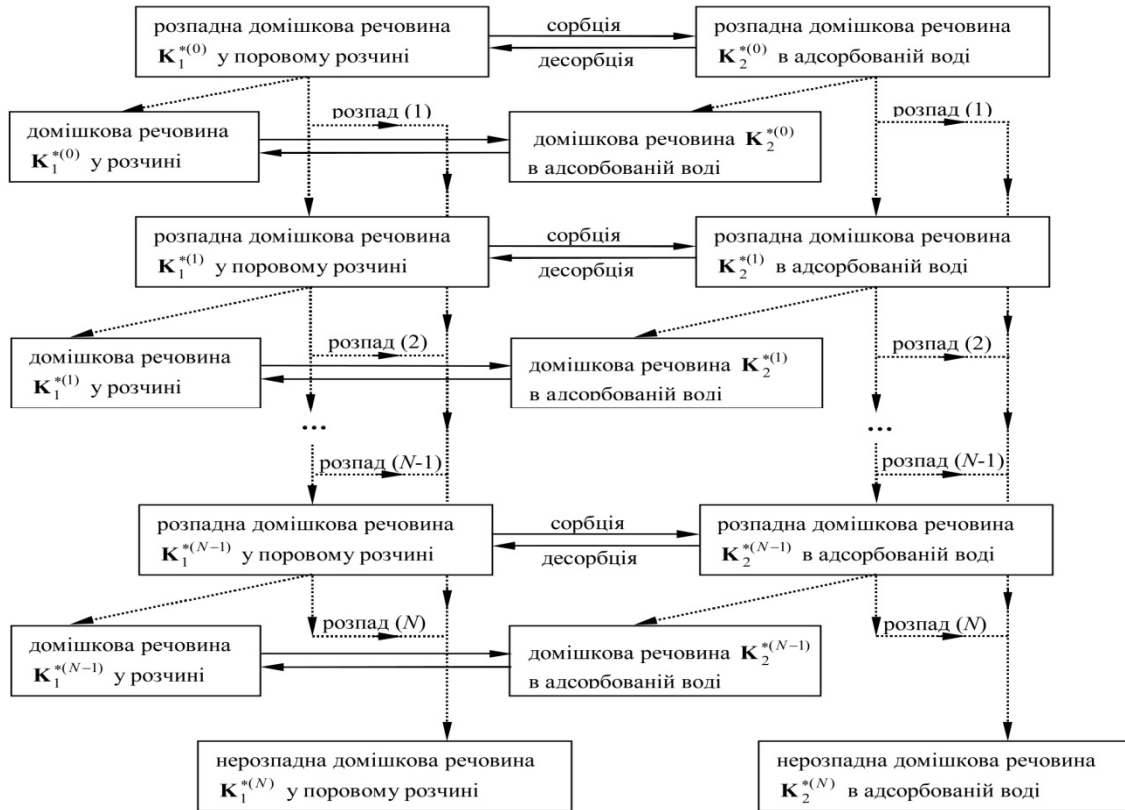
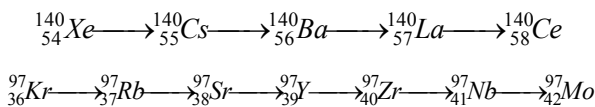


Рис. 1. Схема розпаду домішкової речовини та процесів переходу частинок між станами для моделі гетеродифузії двома шляхами

каскадного розпаду можна навести радіонукліди [11] з їх радіоактивним розпадом



або різного роду хімічні сполуки (пестициди, нітрати, нітрити тощо), які розпадаються внаслідок хімічних реакцій [11, 12].

Для випадку гетеродифузії двома шляхами схема каскадного розпаду мігруючих речовин $K_j^{(i)}$ подана на рис. 1, де частинки речовини $K_j^{(N)}$ є нерозпадною (тут i - номер етапу розпаду, j - шлях міграції).

Математична модель складається із взаємозв'язаних систем рівнянь гетеродифузії домішкової речовини двома шляхами з урахуванням процесів сорбції-десорбції [13]. За каскадного розпаду мігруючих частинок у безрозмірних змінних $\tau = \bar{k}_2^{(0)} t$; $\xi^{(\alpha)} = \left(\bar{k}_2^{(0)} / \bar{D}_{11}^{(0)} \right)^{1/2} x^{(\alpha)}$, $\alpha = \bar{1}, \bar{3}$, де

t - час, $x^{(\alpha)}$ - просторові декартові координати, маємо такі системи рівнянь для $i = 0$

$$\frac{\partial c_1^{(0)}}{\partial \tau} = \Delta_{\xi} c_1^{(0)} + d_1^{(0)} \Delta_{\xi} c_2^{(0)} - a_{11}^{(0)} c_1^{(0)} + a_{12}^{(0)} c_2^{(0)},$$

$$\frac{\partial c_2^{(0)}}{\partial \tau} = d_2^{(0)} \Delta_{\xi} c_1^{(0)} + d \Delta_{\xi} c_2^{(0)} + a_{21}^{(0)} c_1^{(0)} - a_{22}^{(0)} c_2^{(0)}, \quad (1)$$

для $i = \overline{1, N-1}$

$$\frac{\partial c_1^{(i)}}{\partial \tau} = d_0^{(i)} \Delta_{\xi} c_1^{(i)} + d_1^{(i)} \Delta_{\xi} c_2^{(i)} - a_{11}^{(i)} c_1^{(i)} + a_{12}^{(i)} c_2^{(i)} + a_{\lambda 1}^{(i-1)} c_1^{(i-1)},$$

$$\frac{\partial c_2^{(i)}}{\partial \tau} = d_2^{(i)} \Delta_{\xi} c_1^{(i)} + d^{e(i)} \Delta_{\xi} c_2^{(i)} + a_{21}^{(i)} c_1^{(i)} - a_{22}^{(i)} c_2^{(i)} + a_{\lambda 2}^{e(i-1)} c_2^{(i-1)}, \quad (2)$$

для $i = N$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_1^{(N)}}{\partial \tau} &= d_0^{(N)} \Delta_{\xi} c_1^{(N)} + d_1^{e(N)} \Delta_{\xi} c_2^{e(N)} - a_{11}^{(N)} c_1^{(N)} + \\ &+ a_{12}^{e(N)} c_2^{e(N)} + \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 1}^{(iN)} c_1^{(i)}, \\ \frac{\partial c_2^{e(N)}}{\partial \tau} &= d_2^{(N)} \Delta_{\xi} c_1^{(N)} + d^{(N)} \Delta_{\xi} c_2^{(N)} + a_{21}^{(N)} c_1^{(N)} - , \\ &a_{22}^{(N)} c_2^{(N)} + \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda 2}^{(iN)} c_2^{(i)}. \end{aligned} \quad (3)$$

де $c_j^{(i)}$ - концентрація частинок $\mathbf{K}_j^{(i)}$, $d_j^{(i)}$ - коефіцієнт дифузії речовини $\mathbf{K}_j^{(i)}$ ($i = \overline{0, N}$) на i -му кроці розпаду та j -му шляху дифузії, $j = \overline{1, 2}$, $a_{kl}^{(i)}$ ($k, l = 1, 2$) - коефіцієнти інтенсивності сорбованих процесів; $a_{\lambda j}^{(i-1)}$ - коефіцієнт інтенсивності розпаду речовини $\mathbf{K}_j^{(i-1)}$ ($i = \overline{1, N}$), $a_{\lambda 1}^{(iN)}$ - коефіцієнт, який визначає частку нерозпадної речовини, що утворилася внаслідок розпаду на i -му кроці $\mathbf{K}_j^{(i)}$ ($i = \overline{0, N-1}$).

Для одновимірною за просторовою координатою випадку (шару товщини ξ_0) накладено такі крайові умови

$$c_1^{(i)}(\xi, \tau) \Big|_{\tau=0} = 0, \quad c_2^{(i)}(\xi, \tau) \Big|_{\tau=0} = 0, \quad i = \overline{0, N} \quad (4)$$

$$c_1^{(0)}(\xi, \tau) \Big|_{\xi=0} = \alpha c_0, \quad c_2^{(0)}(\xi, \tau) \Big|_{\xi=0} = (1 - \alpha) c_0; \quad (5)$$

$$c_j^{(i)}(\xi, \tau) \Big|_{\xi=0} = 0, \quad i = \overline{1, N}, \quad c_j^{(i)}(\xi, \tau) \Big|_{\xi=\xi_0} = 0, \quad i = \overline{0, N}, \quad j = 1, 2. \quad (6)$$

Тут α ($0 \leq \alpha \leq 1$) - параметр, який визначає частину домішки, що з поверхні тіла потрапила на швидкий шлях дифузії (стан 1), тобто $d_1^{(0)} > d_2^{(0)}$.

Розв'язок крайової задачі (1), (4), (5) для $i = 0$, знайдений з допомогою інтегральних перетворень Лапласа за часом і sin-перетворення Фур'є за просторовою координатою [14].

У загальному випадку для $i = 1, \dots, N-1$ [15] розв'язки крайових задач (2), (4), (6) подано через функції Гріна [16]

$$c_j^{(i)}(\xi, \tau) = a_{\lambda j}^{(i-1)} \int_0^{\tau} \int_0^{\xi_0} G_j^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau') c_j^{(i-1)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau', \quad j = \overline{1, 2}. \quad (7)$$

де $G_j^{(i)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')$ - функції Гріна задачі (2), (4), (6) для $i = 1, \dots, N-1$, тобто є розв'язком відповідної задачі гетеродифузії з точкового джерела на i -му кроці розпаду за нульових крайових умов.

Для випадку $i = N$ (нерозпадної або нешкідливої домішки) [17] процес масоперенесення описується крайовою задачею (3), (4), (6). Її розв'язок також подано через відповідну функцію Гріна аналогічно до (7)

$$c_j^{(N)}(\xi, \tau) = \int_0^{\tau} \int_0^{\xi_0} G^{(N)}(\xi, \xi'; \tau, \tau') \sum_{i=0}^{N-1} a_{\lambda j}^{(iN)} c_j^{(i)}(\xi', \tau') d\xi' d\tau', \quad (8)$$

де $G_j^{(N)}(\xi, \xi'; \tau, \tau')$ - функції Гріна задачі (3), (4), (6) і задовольняють відповідні крайові задачі з точковим джерелом

ВИСНОВКИ

Отримання аналітичних розв'язків крайових задач гетеродифузії каскадного типу дозволяє не тільки проводити кількісний та якісний аналіз концентрацій розпадних домішок на швидкому і повільному шляхах міграції та їхньої суми, а й знайти їхні потоки маси, як і визначити кількість відповідних речовин, що за певний проміжок часу пройшли через одиницю площі деякої поверхні, наприклад, через нижню границю шару.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Бурак Я.Й., Чапля Є.Я. Вихідні положення математичної моделі гетеродифузійного переносу радіонуклідів у приповерхневих шарах Землі // Доповіді НАН України. - 1993. - №10. - С. 59-63.
- [2] Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 106 с.
- [3] Гончарук В. Моделирование миграции распавной речовин в тілах з каналами швидкого переміщення // Моделирование та інформаційні технології. - 2013. - Вып. 68. - С. 114-124.
- [4] Ступин Д.Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления. - М.; Краснодар: Лань, 2009. - 428 с.
- [5] Чапля Є.Я., Чернуха О.Ю. Кінетика переносу домішок при локальній зміні стану частинок (1. Модельні представлення, гетеродифузія двома шляхами). - Львів: 1993. - 44 с. - (Препр./ НАН України. Центр матем. Моделирования ИППММ; 3-93).
- [6] Гончарук В., Чапля Є., Чернуха О., Оведик Я. Процеси гетеродифузії распавной речовини двома шляхами у середовищі з пастками // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. - 2013. - Вып. 18. - С. 73-84.
- [7] Бурак Я.И., Галапац Б.П., Чапля Е.Я. Деформация электропроводных тел с учетом гетеродиффузии заряженных примесных частиц // Физ.-хим. мех. материалов. - 1980. - №5. - С. 8-14.
- [8] Буряк Я.Й., Чапля Є.Я., Чернуха О.Ю. Континуально-термодинамічні моделі механіки твердих розчинів. - К.: Наукова думка, 2006. - 272 с.
- [9] Aifantis E.C. Continuum basis for diffusion in regions with multiple diffusivity // J. Appl. Phys. - 1979. - V.50. - №3. - P. 1334-1338.
- [10] Aifantis E.C., Hill J.M. On the theory of diffusion in media with double diffusivity. I. Basic mathematical results // [Q.J.] Mech. appl. Math. - 1980. - V.33. - Pt.1. - P. 1-21.
- [11] Колобашкин В.М., Рубцов П.М., Ружанский П.А., Сидоренко В.Д. "Радиационные характеристики облученного ядерного топлива", справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1983. -384 с.
- [12] Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. - 712 с.
- [13] Чапля Є.Я., Чернуха О.Ю. Фізико-математичне моделювання гетеродифузійного масопереносу. - Львів: СПОЛЮМ, 2003. - 128 с.
- [14] Снеддон И. Преобразования Фурье. - М: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. - 667 с.
- [15] Білушак Ю., Гончарук В., Чапля Є., Чернуха О. Математичне моделювання дифузії домішкових компонент за їх каскадного розпаду // Математичні машини і системи. - 2015. - № 1. - С. 146-155.
- [16] Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1972. - 735 с.
- [17] Білушак Ю., Гончарук В., Чернуха О. Математична модель незасмодіючих потоків для опису процесів масопереносу двома шляхами за каскадного розпаду частинок // Прикладні проблеми механіки і математики. - 2014. - Вып. 12. - С. 137-145.

Чисельне інтегрування табличних функцій з використанням многочлена Тейлора

Ю.І. Грицюк
кафедра програмного забезпечення,
Національний університет "Львівська політехніка"
Львів, Україна
yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua

М.Ю. Грицюк
кафедра інформаційних технологій та
телекомунікацій, Львівський ДУ БЖД
Львів, Україна
mariana.grytsiuk@gmail.com

Numerical integration of table functions using Taylor polynomial

Yu.I. Grytsyuk
Software Department,
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua

M.Yu. Grytsiuk
Department of Information Technology and
Telecommunications, Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
mariana.grytsiuk@gmail.com

Анотація—Обґрунтовано потребу чисельного інтегрування табличних функцій з використанням многочлена Тейлора. Встановлено, що у багатьох практичних задачах первісну від підінтегральної функції не завжди вдається виразити через елементарні функції. Розроблено метод чисельного інтегрування табличної функції для однієї змінної з використанням многочлена Тейлора. Наведено конкретні приклади обчислення інтегралів – неозначеного і означеного.

Abstract – Has been substantiated the need for numerical integration of table functions using polynomial Taylor. Found that many practical problems of the original integrand cannot always be expressed in terms of elementary functions. Has been designed the method of numerical integration of table functions to one variable using Taylor polynomial. Showed the specific examples of computing integrals – definite and indefinite.

Ключові слова – чисельне інтегрування функцій; таблична функція; многочлен Тейлора; інтерполяційний многочлен.

Keywords – numerical integration of functions; table function; Taylor polynomial; polynomial interpolation.

I. Вступ

При вирішенні проблем програмної інженерії існує багато прикладних задач, у математичному формулюванні яких виникає потреба обчислення інтегралів – неозначених і означених, одинарних, подвійних і потрійних, криволінійних і за поверхнею та ін. Найважливіші з таких задач полягають в обчисленні: площі та довжини дуги плоскої фігури; об'єму тіла за відомими площами поперечних перерізів чи тіла обертання; площі поверхні будь-якого тіла чи тіла обертання; статичних моментів і моментів інерції плоских дуг і фігур; координат центра

ваги; роботи і тиску [1]. В таких задачах деяка підінтегральна функція у процесі виконання інженерних розрахунків часто подається у вигляді таблиці. При цьому незалежні змінні, що відповідають за її площу, об'єм чи ін., визначаються з системи рівнянь, яка отримується шляхом прирівнювання до нуля частинних похідних функції мети за цими змінними.

Дуже часто потреба обчислення інтегралу табличної функції є проміжним етапом у процесі розв'язання тої чи іншої інженерної задачі. Так, нелінійна модель стану об'єкта (який описується системою нелінійних алгебричних рівнянь) може містити одну або декілька функцій, які задано в табличному вигляді. Наприклад, якщо елементом об'єкта є спресована деревина з характеристикою $P = \varphi[x]$ (x – величина деформації деревини; P – сила, що викликає цю деформацію), яку задано у вигляді таблиці від однієї змінної, то рівняння $P = \varphi[x] = 0$ буде одним з рівнянь нелінійної системи стану цього об'єкта. Застосування методу Ньютона для розв'язання цієї системи рівнянь вимагатиме обчислення такого інтегралу $\int f[x]dx$.

II. Постановки задач чисельного інтегрування табличних функцій

Нехай необхідно обчислити інтеграл

$$I = \int_a^b f[x]dx \quad (1)$$

З курсу вищої математики [1, ст. 261] відомо, що для функції $f[x]$, неперервної на відрізьку $[a, b]$, інтеграл (1) існує та визначається за формулою Ньютона-Лейбніца

$$I = \int_a^b f[x]dx = F[x] \Big|_a^b = F[b] - F[a], \quad (2)$$

де $F[x]$ – первісна для функції $f[x]$. Однак для більшості практичних задач первісну $F[x]$ не завжди вдається виразити через елементарні функції. В інженерних розрахунках функція $f[x]$ часто задається як аналітично, так і у вигляді таблиці її значень для певних значень аргументу. Все це породжує потребу в наближених методах обчислення інтеграла (1), які умовно поділяються на аналітичні та числові. Аналітичні методи, за своєю сутністю, полягають у точній чи наближеній побудові первісної $F[x]$ та подальшому використанні формули (2). Числові методи ж дають змогу безпосередньо знайти числове значення інтегралу, базуючись на відомих значеннях підінтегральної функції (а інколи і на її похідних) у заданих точках, які називають *вузлами*. Тут розглядатимемо тільки числові методи інтегрування табличних функцій. Сам процес числового визначення інтегралу називається *квadrатурою*, а відповідні формули – *квadrатурними формулами*.

Постановки задач чисельного інтегрування табличних функцій з однією, двома чи трьома незалежними змінними загалом формулюються в одному з таких двох варіантів.

Задача 1. Для табличної функції $Y = Y[\bar{X}]$ з однією, двома чи трьома змінними $\bar{X} = [x_i, i = \overline{1,3}]$ потрібно у довільній точці простору незалежних змінних, заданої координатами $\bar{X} = \bar{X}' \Rightarrow [x_i = x'_i, i = \overline{1,3}]$, обчислити неозначені інтеграли $\int f[x_1]dx_1$, $\int f[x_1, x_2]dx_1 dx_2$ чи $\int f[x_1, x_2, x_3]dx_1 dx_2 dx_3$.

У загальному випадку функцію $Y = Y[\bar{X}]$ можна подати у вигляді табл. 1, під інтегралом якої потрібно розуміти аналітичний вираз її інтерполянти [3].

ТАБЛИЦЯ 1. Загальний вигляд табличної функції для багатьох незалежних змінних

№ вузла	0	1	...	i	...	p
\bar{X}_1	$x_{1,0}$	$x_{1,1}$	...	$x_{1,i}$	...	$x_{1,p}$
\bar{X}_2	$x_{2,0}$	$x_{2,1}$	...	$x_{2,i}$	...	$x_{2,p}$
\bar{X}_3	$x_{3,0}$	$x_{3,1}$	...	$x_{3,i}$	...	$x_{3,p}$
\bar{Y}	y_0	y_1	...	y_i	...	y_p

де: $\bar{X} = [x_{k,i}, i = \overline{1,p}; k = \overline{1,m}]$, $\bar{Y} = [y_i, i = \overline{1,p}]$ – відомі числа; p – кількість вузлів інтерполянти; $m=3$ – кількість змінних.

Задача 2. Функція $Y = Y[\bar{X}]$ з незалежними змінними $\bar{X} = [x_i, i = \overline{1,3}]$ задана у вигляді табл. 1. Потрібно обчислити значення означених інтегралів $\int f[x_1]dx_1$, $\int_D f[x_1, x_2]dx_1 dx_2$ чи $\int_T f[x_1, x_2, x_3]dx_1 dx_2 dx_3$ для заданих меж інтегрування.

Очевидно, постановка задачі 2 є окремим випадком задачі 1, однак її переважно розглядають як окрему задачу, оскільки в ній обчислення відповідних інтегралів вимагає

застосування дещо складніших формул. Їх називають *формулами чисельного інтегрування*, а процедуру обчислення інтегралу за цими формулами називають *числовим інтегруванням табличної функції*.

Один з можливих способів розв'язання сформульованих задач базується на використанні різних квадратурних формул приблизно такого вигляду:

$$I \cong \int_a^b f[x]dx \approx (b-a) \sum_{i=1}^n A_i f[x_i] \equiv I_n \quad (3)$$

з відомим залишковим членом $R_n(f[x]) = I - I_n$ або його оцінкою. Загалом як вузлові точки x_i , так і вагові множники A_i завчасно є невідомими і підлягають визначенню при виведенні кожної конкретної квадратурної формули (3) на підставі вимог, пред'явлених до неї.

Практично, задача чисельного інтегрування табличних функцій є еквівалентною оцінюванню середнього значення функції, яке на відрізку $[a, b]$ визначається таким виразом:

$$f[x]_{cp} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f[x]dx. \quad (4)$$

$$I = \int_a^b f[x]dx = (b-a) \cdot f[x]_{cp}. \quad (5)$$

Водночас, визначення середнього значення функції – це статистична задача, яка містить у собі проблеми послідовної вибірки і планування експерименту. Через складність такої постановки задачі тут обмежимося тільки класичними методами чисельного інтегрування, що базуються на попередньому визначенні як вузлових точок, у яких має задаватися інформація про інтегровану функцію, так і самою цією інформацією.

Використовувані нижче в алгоритмах чисельного інтегрування табличних функцій квадратурні формули будуються, як вже було зазначено вище, на основі тих чи інших критеріїв, що визначають положення вузлових точок і величини вагових множників. Такими критеріями можуть бути: 1) подання інтегралу у вигляді інтегральної суми; 2) інтерполяція підінтегральної функції (наприклад, многочленом Тейлора [2]) і подальше інтегрування інтерполяційної функції; 3) вимога, щоби формула (3) була абсолютно точною для визначеного класу функцій, і т.д.

III. ЧИСЕЛЬНЕ ІНТЕГРУВАННЯ ТАБЛИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ ОДНІЄЇ НЕЗАЛЕЖНОЇ ЗМІННОЇ

Розглянемо послідовність розв'язування задач 1 і 2 спочатку стосовно неперіодичної табличної функції для однієї незалежної змінної з використанням многочлена Тейлора, а потім, у інших публікаціях, з двома і трьома змінними.

ТАБЛИЦЯ II. ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ТАБЛИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ ОДНІСІ НЕЗАЛЕЖНОЇ ЗМІННОЇ

№ вузла	0	1	...	i	...	p
\bar{X}	x_0	x_1	...	x_i	...	x_p
\bar{Y}	y_0	y_1	...	y_i	...	y_p

Загалом функцію $Y = Y[\bar{X}]$, яку задано табл. 2, можна подати аналітично її інтерполянтю у вигляді многочлена Тейлора n -го степеня [3]:

$$Y = c_0 + c_1 \frac{x}{1!} + c_2 \frac{x^2}{2!} + \dots + c_p \frac{x^n}{n!} = \bar{T}[x] \times \bar{C}^T, \quad (6)$$

де: $\bar{T}[x]$ – рядок Тейлора; \bar{C}^T – транспонований рядок (стовпець) коефіцієнтів інтерполянти. Стовпець \bar{C}^T є коренем такої лінійної системи рівнянь:

$$\begin{cases} c_0 + c_1 \frac{x_0}{1!} + \dots + c_p \frac{x_0^n}{n!} = y_0; \\ c_0 + c_1 \frac{x_1}{1!} + \dots + c_p \frac{x_1^n}{n!} = y_1; \\ \dots \\ c_0 + c_1 \frac{x_p}{1!} + \dots + c_p \frac{x_p^n}{n!} = y_p; \end{cases} \Rightarrow \bar{T}[\bar{X}] \times \bar{C}^T = \bar{Y}^T, \quad (7)$$

де: $\bar{T}[\bar{X}]$ – матриця Тейлора, яка обчислюється за координатами вузлів \bar{X} інтерполяції; \bar{Y}^T – транспонований рядок (стовпець) вузлів інтерполяції.

Неозначений одинарний інтеграл від многочлена (6), з урахуванням (7), визначається за такою формулою:

$$\int f[x] dx = c_0 \frac{x}{1!} + c_1 \frac{x^2}{2!} + \dots + c_p \frac{x^{n+1}}{(n+1)!} = \bar{T}^1[x] \Big|_{x=x'} \times \bar{Lx} \times \bar{C}^T, \quad (8)$$

а **означений одинарний інтеграл** від многочлена (6) – за такою формулою:

$$\begin{aligned} \int_a^b f[x] dx &= c_0 \frac{x}{1!} + c_1 \frac{x^2}{2!} + \dots + c_p \frac{x^{n+1}}{(n+1)!} \Big|_{x=a}^{x=b} = \\ &= \bar{T}^1[x] \Big|_{x=x'} \times \bar{Lx} \times \bar{C}^T \Big|_{x=a}^{x=b} = \bar{T}^1[x] \Big|_{x=a}^{x=b} \times \bar{Lx} \times \bar{C}^T = \\ &= \left(\bar{T}^1[x] \Big|_{x=b} - \bar{T}^1[x] \Big|_{x=a} \right) \times \bar{Lx} \times \bar{C}^T, \end{aligned} \quad (9)$$

де: $\bar{T}^1[x]$ – інтегрований рядок Тейлора; \bar{Lx} – матриця інтегрування рядка Тейлора.

Отже, під час обчислення одинарних інтегралів від функції, заданої табл. 2, потрібно виконати такі дії:

- за даними таблиці сформувати матричне рівняння (7) та розв'язати його;
- сформувати інтегрований рядок Тейлора $\bar{T}^1[x]$ і матрицю його інтегрування \bar{Lx} ;

- для неозначеного інтегралу – підставити у формулу (8) отриманий корінь \bar{C}^T рівняння (7) та числове значення $x = x'$ і виконати операції множення матриць, вказані у виразі (8);
- для означеного інтегралу – підставити у формулу (9) корінь \bar{C}^T рівняння (7) та числові значення $x = a$ і $x = b$, а потім виконати операції множення матриць, вказані у виразі (9).

Приклад. Нехай від функції $Y = Y[\bar{X}]$, заданої табл. 3, потрібно обчислити значення неозначеного інтегралу при $x = x' = 1.1$ та означеного – при $x = a = 0.9$ і $x = b = 1.5$.

ТАБЛИЦЯ III. ЗНАЧЕННЯ ТАБЛИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ ОДНІСІ ЗМІННОЇ

№ вузла	1	2	3	4
\bar{X}	0,90	1.00	1.25	1.50
\bar{Y}	893	686	430	304

Рівняння для цієї табличної функції має такий вигляд

$$Y = c_0 + c_1 \frac{x}{1!} + c_2 \frac{x^2}{2!} + c_3 \frac{x^3}{3!} = \bar{T}[x] \times \bar{C}^T, \quad (10)$$

а розв'язком матричного рівняння (7) є такий вектор:

$$\bar{T}[\bar{X}]^{-1} \times \bar{Y}^T = \bar{C}^T = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9099.29 \\ -18384.24 \\ 26437.14 \\ -19485.71 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Значення *неозначеного одинарного інтегралу* від функції $Y = Y[x]$ при $x = x' = 1.1$ знаходимо за формулою (8):

$$\begin{aligned} \int f[x] dx &= \bar{T}^1[x'] \Big|_{x'=1.1} \times \bar{Lx} \times \bar{C}^T = \\ &= \begin{bmatrix} 1 & x' & \frac{(x')^2}{2!} & \frac{(x')^3}{3!} & \frac{(x')^4}{4!} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} = \end{aligned}$$

$$= [1 \quad 1.1 \quad 0.605 \quad 0.2218 \quad 0.0610] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 9099.29 \\ -18384.24 \\ 26437.14 \\ -19485.71 \end{bmatrix} = 3562.68. \quad (11)$$

Значення *означеного одинарного інтегралу* від функції $Y = Y[x]$ при $x = a$ і $x = b$ знаходимо за формулою (9), внаслідок чого отримаємо такий розрахунковий вираз:

$$\int_a^b f[x]dx = \left(\bar{T}^i[x] \Big|_{x=b} - \bar{T}^i[x] \Big|_{x=a} \right) \times \bar{I}x \times \bar{C}^T =$$

$$= \left(\left| 1 \quad \frac{b}{1!} \quad \frac{b^2}{2!} \quad \frac{b^3}{3!} \quad \frac{b^4}{4!} \right| - \left| 1 \quad \frac{a}{1!} \quad \frac{a^2}{2!} \quad \frac{a^3}{3!} \quad \frac{a^4}{4!} \right| \right) \times \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{vmatrix} \quad (12)$$

Інтегрований рядок Тейлора при $x = a = 0.9$ і $x = b = 1.5$ матиме такі значення елементів

$$\bar{T}^i[x] \Big|_{x=1.5} - \bar{T}^i[x] \Big|_{x=0.9} =$$

$$= \left| 1 \quad \frac{1.5}{1!} \quad \frac{1.5^2}{2!} \quad \frac{1.5^3}{3!} \quad \frac{1.5^4}{4!} \right| - \left| 1 \quad \frac{0.9}{1!} \quad \frac{0.9^2}{2!} \quad \frac{0.9^3}{3!} \quad \frac{0.9^4}{4!} \right| =$$

$$= |0 \quad 0.6 \quad 0.720 \quad 0.4410 \quad 0.1836|,$$

а означений інтеграл – таке значення

$$\int_{0.9}^{1.5} f[x]dx = |0 \quad 0.6 \quad 0.720 \quad 0.4410 \quad 0.1836| \times$$

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 9099.29 \\ -18384.24 \\ 26437.14 \\ -19485.71 \end{vmatrix} = 304.12. \quad (13)$$

ВИСНОВКИ

Встановлено, що для більшості практичних задач обчислення інтегралів первісну від підінтегральної функції не завжди вдається виразити через елементарні функції. В інженерних розрахунках підінтегральна функція часто задається таблицею її значень для певних значень аргументу.

Розроблено метод чисельного інтегрування табличної функції для однієї змінної з використанням многочлена Тейлора. Для обчислення *неозначеного інтегралу* потрібно помножити інтегрований рядок Тейлора на матрицю інтегрування та на стовпець коефіцієнтів інтерполянти. Обчислення ж *означеного інтегралу* зводиться до множення виразу, який є різницею між інтегрованими рядками Тейлора в заданих межах, на матрицю інтегрування та на стовпець коефіцієнтів інтерполянти.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. Вычислительная математика в упражнениях и задачах : учеб. пособ. [для студ. ВТУЗов]. – Ч. I. – Изд. 3-е, [перераб. и доп.]. – М. : Высш. шк., 1980. – 320 с.
- [2] Фильц Р.В., Коцюба М.В., Грицюк Ю.И. Алгоритм вычисления на ЭВМ многочлена Тейлора и его производных // Электромеханика : Изв. вузов. – 1991. – № 5. – С. 5-10.
- [3] Фильц Р.В. Наближення таблично заданих функцій (інтерполяція та апроксимація). Конспект лекцій з предмету "Математичні задачі електромеханіки" для студ. спец. 1801 "Електромеханіка". – Львів : Вид-во ДУ ЛП, 1995. – 59 с.

Computer simulation of drying granules in a fluidized layer

Andrii Safonyk

Associate professor, Department of Automation, Electrical and Computer-Integrated Technologies, The National University of Water and Environmental Engineering, 11, Rivne, Ukraine, safonik@ukr.net

Yurii Martyniuk

Student, Educational and Research Institute of Automatics, Cybernetics and Computer Engineering, The National University of Water and Environmental Engineering, st. Soborna, 11, Rivne, Ukraine, Wushubalo@ukr.net

Комп'ютерне моделювання процесу сушіння грануляту у псевдозрідженому шарі

А. П. Сафоник

Доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна 11, м. Рівне, Україна, safonik@ukr.net

Ю. М. Мартинюк

Студент інституту Автоматики, кібернетики і обчислювальної техніки, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне вул. Соборна 11, м. Рівне, Україна, Wushubalo@ukr.net

Анотація—The simulation model of drying granules in a fluidized layer was developed. On the basis of computer models conducted an experiments and designed the basic parameters, factors and dependences, to optimize the corresponding process.

Abstract—Розроблена імітаційна модель процесу сушіння грануляту у псевдозрідженому шарі. На основі розробленої моделі проведений комп'ютерний експеримент і розраховані основні параметри, фактори і залежності, що дозволяють оптимізувати відповідний процес.

Ключові слова—математична модель, псевдозріджений шар, імітаційна модель, сушіння грануляту, технологічний процес.

Keywords—mathematical model, fluidized layer, simulation model, granules, technological process.

I. INTRODUCTION

Drying in fluidized layer - the best way to monitor, uniform drying granules. This process is characterized by a number of parameters: quality and quantity of raw material and finished product, temperature and relative humidity of environment, product residence time in the dryer and others.

The essence of the drying process that takes place in a fluidized layer, is next: the passage of a certain rate of warm air goes through a layer of granular material (grain, chips, etc.), a layer of particles obtains properties of liquidity and

resembles a boiling liquid. With such an active mixing of warm air and granular material the drying process becomes more intensive [1-3].

II. PROBLEEM SETTING

Model understanding of the process of drying of dispersed materials in fluidized bed insufficiently developed, due to the complex, heterogeneous structure of layer and the insufficient degree of scrutiny it hydrodynamics movement phases.

According to the above, material balance equations for dryers, heat balance equations for dryers, as well as for each component are presented in the form of equations (1) - (6):

$$\frac{dM}{dt} = m_1 - m_2 + m - m_{n2}, \quad (1)$$

$$\frac{d(McT_4)}{dt} = mT_2c_D - m_{n2}c_{par}T_4 + m_1T_1c_{gr} - m_2T_3c_{gr}, \quad (2)$$

$$\frac{d(MC_3)}{dt} = m - m_{n2}C_D \quad (3)$$

$$\frac{d(MC_3)}{dt} = m - m_{n2}C_{\pi} \quad \frac{d(MC_e)}{dt} = m_1C_B - m_{n2}C_e - m_2C_{B1} \quad (4)$$

$$\frac{d(MC_g)}{dt} = m_1 C_g - m_2 C_g \quad (5)$$

$$\frac{d(MC_B)}{dt} = m_1 C_B - m_2 C_{B1} - m_{n2} C_e \quad (6)$$

where dM/dt - rate of change of mass, m_1 - the consumption of moist granules, that goes into the apparatus, m_2 - consumption of dry granules, that goes out from the section, m - consumption of the heating air, m_{n2} - the consumption of the heating air, that goes out from the section, c_D - heat capacity of the air, c_e - heat capacity of the heating steam, c_g - heat capacity of the granules, c_B - heat capacity of the humidity, C_D - concentration of the air, C_e - concentration of the steam, C_T - concentration of the granules, C_B - concentration of humidity m_1 - the consumption of moist granules, that goes into the apparatus, m_2 - the consumption of dry granulate that comes from section; T_2 - temperature of the heating air, T_4 - temperature of the pair, that goes out from section,

$c_{par} = c_D \frac{c_D}{\rho_D} + c_e \frac{c_e}{\rho_e}$, $c_{gr} = c_g \frac{c_g}{\rho_g} + c_B \frac{c_B}{\rho_B}$ - heat capacity of the steam, that goes out from section, T_1 - temperature of the moist granules, T_3 - the temperature of dry granulate, c_D - heat capacity of the heating air, c_{par} - heat capacity of the steam, that goes out from section, c_{gr} - heat capacity of granules.

The solution of equations were looked up by the following data: $m_1=6,33$ kg/s; $m_2=5,56$ kg/s; $m_{n2}=68,9$ kg/s; $c_D=1,009$ kJ/kgK; $c_e=1,9$ kJ/kgK; $c_g=1,25$ kJ/kgK; $c_B=2$ kJ/kgK; $\rho_D=0,973$ kg/m³; $\rho_e=0,5$ kg/m³; $\rho_g=1610$ kg/m³; $\rho_B=972,69$ kg/m³; $T_1=18$ °C; $T_2=90$ °C; $T_3=50$ °C and the corresponding to initial conditions.

III. PROBLEM SOLUTION

The solving of the problem of modeling of technological process of drying granulate was carried out by construction of a simulation model. The algorithm of the program, the software and simulation model were developed.

The application package Simulink Matlab was used to implement the mathematical model of the process:

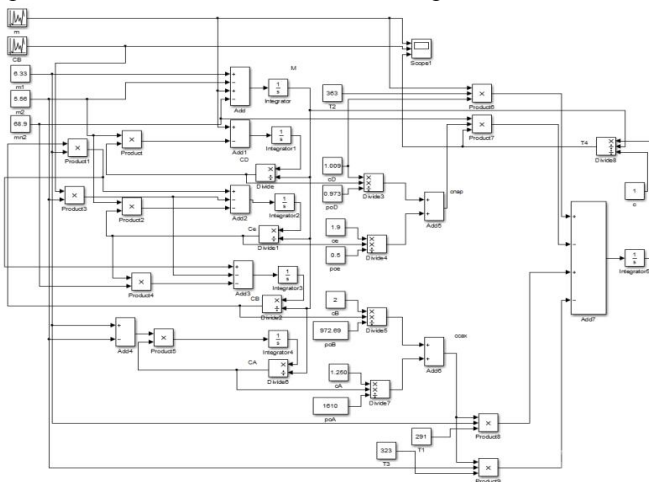


Fig. 1. A simulation model of dry granulate

As a result of simulation we obtained:

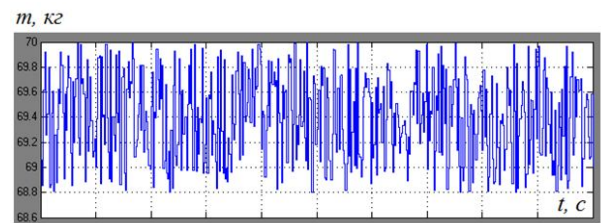


Fig. 2. Changing the heating air mass

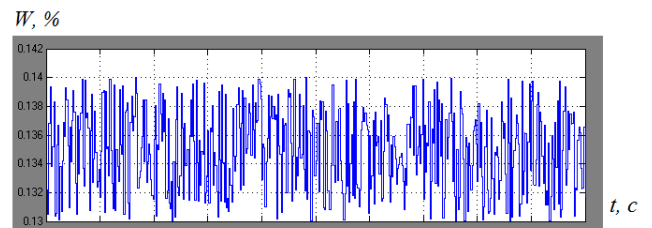


Fig. 3. Changing the concentration of humidity in the granulate

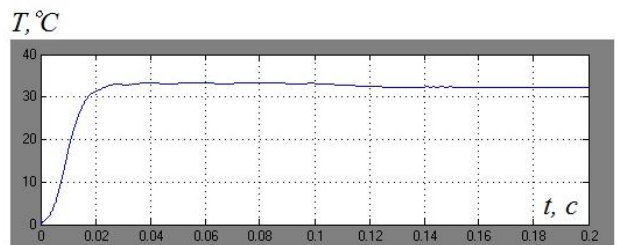


Fig. 4. - Changing the temperature of the heating air

As we can see from Fig. 2-4, the maximum warming air mass does not exceed 70 kg, the concentration of humidity in the granules should not exceed 0.14 %, and the optimum temperature of heating air in the device is no more than 32 °C

CONCLUSIONS

A mathematical model was build. It describes the dependence of mass change of heating air, changing the concentration of humidity in the granules, changing the temperature of the heating air. The solution of mathematical model was found by using the application package Simulink Matlab.

REFERENCES

- [1] Dvoretzkiy SI, Korolev VN, Nikonov SA, VP Tarov Techniques and Technologies psevdoozhyzhenyya, fluid dynamics and teploobmen with pohruzhennymy telamy - Tambov, THTU, 2005, 168 p.
- [2] Dvoretzkiy SI, Techniques and technologies psevdoozhyzhenyya: termoobrabotky and vulcanization processes monograph. - M.: Mashinostroenie 1, 2006, 232 p.
- [3] Modeling tehnolohyeheskoho drying process in the Sahara psevdoozhyzhennom sloe MHUP, Belarus, Mogilev, 2013 h, 52 p.

Ідентифікація моделі розподілу вологості ґрунту на основі АБК

М.П. Дивак
кафедра комп'ютерних наук
Тернопільський національний
економічний університет
Тернопіль, Україна
mdy@tneu.edu.ua

І.А.Мадюдя
кафедра комп'ютерних наук
Тернопільський національний
економічний університет
Тернопіль, Україна
imadiudia@gmail.com

Identification of the distribution model soil moisture based on ABC

M. Dyvak
Department of Computer Science
Ternopil National Economic University
Ternopil, Ukraine
mdy@tneu.edu.ua

I. Madiudia
Department of Computer Science
Ternopil National Economic University
Ternopil, Ukraine
imadiudia@gmail.com

Анотація—Розглянуто метод ідентифікації моделей об'єкта з розподіленими параметрами на основі поведінкових моделей бджолоїної колонії. Із застосуванням запропонованого методу побудовано математичну модель розподілу вологості ґрунту на ділянці поля.

Abstract—Considered the method of identification models the object with distributed parameters based on the behavioral models bee colony. By using the proposed method building the mathematical model of the distribution soil moisture in the field.

Ключові слова— алгоритм бджолоїної колонії (АБК); поведінкові моделі бджолоїної колонії; структурна ідентифікація моделей об'єктів з розподіленими параметрами.

Keywords— bee colony algorithm(ABC); behavioral models bee colony; structural identification models the object with distributed parameters.

I. ВСТУП

Електропровідність ґрунту безпосередньо визначає родючість ґрунту. Для моделювання електропровідності у праці [1] використовується інтервальна дискретна модель у вигляді різницевої схеми. Така модель недостатньо адекватно відображає властивості електропровідності, зокрема при зміні вологості.

Задача встановлення просторового розподілу вологості ґрунту є складною задачею агрометеорології. Єдиним надійним способом отримання інформації про процеси

зволоження та осушення ґрунту в реальних умовах сільськогосподарського поля є розрахунковий метод з використанням ряду математичних моделей.

Електропровідність, яка є характеристикою його родючості, залежить від вмісту вологи [2]. Дифузійні процеси призводять до зміни вологості і відповідно до зміни електропровідності.

Тому, у даній праці запропоновано модель електропровідності в якій враховується просторовий розподіл вологості ґрунту. Просторовий розподіл отримано із застосуванням інтервальної дискретної моделі розподілу вологості.

II. УЗАГАЛЬНЕНИЙ ВИГЛЯД МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ҐРУНТІВ

Проведені дослідження, щодо залежності електропровідності ґрунтів до інших чинників дають можливість сформулювати вимоги до структури математичної моделі електропровідності, а саме: математична модель повинна описувати розподіл електропровідності в межах заданої ділянки; математична модель розподілу електропровідності повинна включати у себе чинник вологості ґрунту.

Модель електропровідності побудована у вигляді рівняння :

$$E_{i,j} = \tilde{f}^T (E_{0,0}, \dots, E_{i-1,0}, \dots, E_{0,j-1}, \dots, E_{i-1,j-1}, \nu_{1,i,j}) \cdot \tilde{g}, \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J,$$

де $\vec{f}^T(\bullet)$ - вектор базисних функцій; $E_{i,j}$ - електропровідність в точці з дискретно-заданими координатами $i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J$ ділянки поля; $v_{i,j}$ - нормована вологість в точці з дискретно-заданими координатами $i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J$ ділянки поля. Для урахування розподілу вологості в моделі електропровідності необхідно побудувати дискретну інтервальну модель у вигляді :

$$[\hat{v}_{i,j}] = [\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+] = \vec{f}^T([\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{i-1,0}], \dots, [\hat{v}_{0,j-1}], \dots, [\hat{v}_{i-1,j-1}]) \cdot \hat{g}, \quad i = 1, \dots, I, \quad j = 1, \dots, J, \quad (2)$$

де $[\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+]$ - інтервал вологості в точці з дискретними координатами.

Спираючись на умови забезпечення заданої точності(3), отримуємо ІСНАР[1].

$$[\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+] \subset [v_{i,j}^-; v_{i,j}^+], \quad \forall i = 1, \dots, I, \quad \forall j = 1, \dots, J. \quad (3)$$

Математично знаходження хоча б одного розв'язку ІСНАР сформуємо у вигляді оптимізаційної задачі, з цільовою функцією $\partial(\lambda_s)$, яка визначає ступінь похибки зі структурою λ_s , її інтервальних даних. При цьому розузгодження між експериментальними інтервальними даними і результатами прогнозування представимо у такому вигляді:

$$\partial = (1 - (wid(V_{i,j} \cap \hat{V}_{i,j}) / wid(V_{i,j})) \cdot 100\%, \quad (4)$$

де wid – ширина інтервалу.

Сформульована задача є задачею структурної ідентифікації.

III. ЗАСТОСУВАННЯ АБК ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ВОЛОГІСТІ ГРУНТУ

Для розв'язання поставленої задачі структурної ідентифікації використаємо метод структурної ідентифікації на основі алгоритму бджолиної колонії, розроблений М. Диваком та Н. Порплицею [3]. Особливість методу полягає у поєднанні компонентів поведінкової моделі з методами аналізу інтервальних даних і на цій основі формулюються теоретичні основи побудови процедур пошуку глобального мінімуму функції мети $\partial(\lambda_s)$ в задачі структурної ідентифікації інтервальної дискретної моделі.

В результаті структурної ідентифікації на основі АБК, було отримано таку дискретну модель:

$$[\hat{v}_{i,j}^-; \hat{v}_{i,j}^+] = 0.3785 + 0.3795 \cdot [\hat{v}_{i-1,j-2}^-; \hat{v}_{i-2,j-1}^+] + 0.0273 \cdot [\hat{v}_{i,j-2}^-; \hat{v}_{i-1,j-2}^+] + 0.2767 \cdot [\hat{v}_{i-1,j-1}^-; \hat{v}_{i-2,j-2}^+] + 0.1510 \cdot [\hat{v}_{i,j-2}^-; \hat{v}_{i-2,j}^+] + 0.1310 \cdot [\hat{v}_{i-2,j-1}^-; \hat{v}_{i-2,j-1}^+] + 0.1673 \cdot [\hat{v}_{i-2,j-1}^-; \hat{v}_{i-1,j}^+] + 0.0540 \cdot [\hat{v}_{i-2,j-1}^-; \hat{v}_{i-2,j}^+] + 0.0028 \cdot [\hat{v}_{i-2,j-2}^-; \hat{v}_{i-2,j-1}^+],$$

для $i=1..2, j=1..2$.

Структура інтервальної дискретної моделі містить 8 структурних елементів та для однієї прогнозованої точки вимагає 21 операцію множення та 8 операцій додавання, тобто є достатньо простою. Графік на рисунку 1 ілюструє похибку розузгодження між вимірними і спрогнозованими значеннями вологості ґрунту.

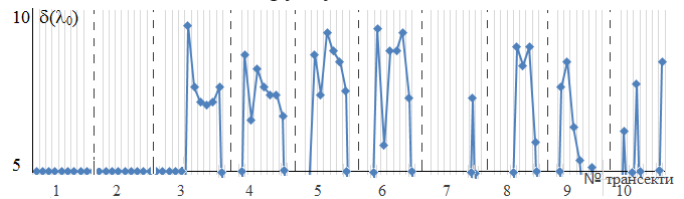


Рис. 1. Розузгодження між вимірними і спрогнозованими значеннями вологості ґрунту.

Як бачимо, міра розузгодженості не перевищує 10%, що є прийнятним з точки зору похибки вимірювань у 10%.

ВИСНОВКИ

У праці запропоновано та обґрунтовано побудову дискретну модель розподілу електропровідності на ділянці поля, із врахуванням розподілу вологості. Вперше, на основі поведінкових моделей бджолиної колонії побудовано інтервальну дискретну модель розподілу вологості на ділянці поля, яка визначається похибкою прогнозування в межах похибок вимірювань.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Madiudia I. Selection justification of the model for electrical conductivity of soils based on interval difference operator/ I.Madiudia, M. Dyvak, T. Dyvak, L.Gonchar // Proceedings of XIIIth International IEEE conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics», CADSM'2015, 24-27 February 2015, Lviv-Poljana, Ukraine. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. – P. 106-108.
- [2] Madiudia I. Interval model for prediction soil moisture / M.Dyvak, I.Madiudia, L.Honchar, R. Shevchuk// Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016 “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science”.– Lviv-Slavske, Ukraine. – February 23–26, 2016. –P.121-124.
- [3] Porplytsya N. Method of structure identification for interval difference operator based on the principles of honey bee colony functioning /N. Porplytsya, M. Dyvak, T. Dyvak // Computational Problems of Electrical Engineering. –2014. –Vol. 4, No2.–P. 57-68.
- [4] Дивак М.П. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними. -Тернопіль: Видавництво ТНЕУ «Економічна думка», 2011.-216 с.

Моделювання розповсюдження зовнішніх впливів у складних систем високого порядку

О. Г. Малько

кафедра математичних методів інженерії
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
malko@pochta.ru

Є. А Олійник

кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
andrij-olijnyk@rambler.ru

Modeling of external effects dissemination in higher order complex systems

O. G. Malko

Department of Mathematical Methods in Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
malko@pochta.ru

E. A. Olijnyk

Department of Differential Equations and Applied
Mathematics
Vasyl Stefanyk Precarpatian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
madferiteugene@gmail.com

Анотація—Реалізована модель розповсюдження зовнішніх впливів у складних систем високого порядку. Запропонований алгоритм визначення зв'язності вхідних і вихідних впливів різних підсистем.

Annotation—The model of external influences dissemination in higher order complex systems is being implemented. The algorithm for the connectivity determining of the input and output effects of different subsystems is being purposed.

Ключові слова—модель, вплив, інформація, зв'язність, графи, компоненти зв'язності графа

Keywords—model, influence, information, connectivity, graphs, graph connectivity components.

I. ВСТУП

Задачі дослідження реакції на зовнішні впливи багатозв'язних систем на рівні підсистем виникають при вирішенні проблем прогнозування і управління у системах різної природи. Особливо актуальною ця проблема є при дослідженні складних інформаційних систем, а саме великих організаційних систем, які як правило, мають багатозв'язну структуру. Прикладом може бути дослідження розповсюдження впливу прийняття конкретних керуючих рішень на реакції різних структурних компонент (підсистем) у просторі і часі, на предмет виявлення їх позитивного і негативного характеру[1].

Моделювання подібних процесів може здійснюватись на різних рівнях деталізації [2]:

- 1) логічному у ракурсі двозначної логіки;
- 2) логічному у ракурсі нечіткої логіки (фазі логіки) відносно слабкості зв'язків у підсистемах та між підсистемами [3];
- 3) з прив'язкою до часу, шляхом врахування часу проходження впливу по різним каналам у підсистемах та між підсистемами при їх статичному характері;
- 4) на кількісному рівні у статичному представленні підсистем, шляхом надання відповідності зв'язки - функціональна залежність;
- 5) кількісному рівні у динамічному представленні підсистем, шляхом надання відповідності зв'язки - інтегродиференціальні залежності.

II. МОДЕЛЮВАННЯ

У даній роботі розглядається тільки найпростіша модель - у ракурсі двозначної логіки, однак вона є базовою, так як служить основою для наступних більш потужних рівнів моделювання. Досліджувана система E подається задається множиною підсистем E_i ($i = 1 \dots n$), та їх вхідними $x^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_k^i)$ та вихідними $y^i = (y_1^i, y_2^i, \dots, y_{m_i}^i)$ впливами. Зв'язок між компонентами вектора входу x^i і вектора виходу y^i підсистеми E_i визначається оператором перетворення T_{ii} тобто $y^i = T_{ii}(x^i)$. Зв'язок між елементами E_r і E_s тобто між

вихідним вектором y^r і вхідним вектором x^s визначаються відповідно S_{sr} ($x^s = S_{sr}y^r$). При відсутності взаємодії між елементами $S_{sr} = 0$.

Для узагальнення обчислень при доцільно позначити сукупність векторів входів і виходів всіх елементів через

$$X = \begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ \vdots \\ x^n \end{pmatrix} \geq Y = \begin{pmatrix} y^1 \\ y^2 \\ \vdots \\ y^n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де розмірність X і Y будуть $K = \sum_i k_i$ і $M = \sum_i m_i$.

Оператори T_{ii} і відповідності S_{sr} представляються субматрицями, з яких формується загальна операторна $M \times K$ матриця T і структурна $K \times M$ матриця S . Які у сукупності дають можливість пов'язати всі входи і виходи, та виходи і входи підсистем відповідно:

$$T = \begin{pmatrix} T_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & T_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & T_m \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 0 & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & 0 & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

тобто і $X = S \times Y$.

Отриманим матричним співвідношенням формують відповідності, композиції яких дає квадратні матриці що пов'язують попередні стани входів (виходів) підсистем з наступними:

$$X^{s+1} = S \times T \times X^s = R \times X^s, \quad Y^{s+1} = S \times T \times Y^s = P \times Y^s.$$

Квадратні матриці R і P можна розглядати матриці суміжності орієнтованого графа з вершинами X і Y відповідно. Причому, якщо заданий тільки вхідний вплив на систему можна визначити початкове значення вектора виходу через початковий вектор входу: $Y^0 = T \times X^0$, а в подальших дослідженнях використовувати матриці R і P .

При подальшому моделюванні використаємо теоретичні засади теорії графів, які базуються на наступних визначеннях[4]:

- вершина w орієнтованого графа D досяжна з вершини v якщо є шлях із w у v ;
- компонентою сильної зв'язності графа D називається його сильно зв'язний підграф, який не є власним під графом ніякого іншого сильно зв'язного графа D .

- позначимо через $A^k = [a_{ij}^{(k)}]$ k -ту степінь матриці суміжності A графа D , тоді елемент $a_{ij}^{(k)}$ дорівнює числу шляхів довжини k з i -тої вершини у j -ту;
- матриця досяжності $T(A)$ за матрицею суміжності A дорівнює: $T(A) = E \vee A \vee A^2 \vee \dots \vee A^{n-1}$;
- матриця сильної зв'язності $S(A)$ за матрицею суміжності A дорівнює: $S(A) = T(A) \wedge T^T(A)$, де $T^T(A)$ - транспонована матриця A ;
- за допомогою матриці суміжності A матриці досяжності $T(A)$ та матриці сильної зв'язності $S(A)$, яка повинна бути симетричною виділяються компоненти сильної зв'язності за симетричними під матрицями матриці $S(A)$.

Таким чином беручи у якості матриці суміжності отримані раніше матриці R і P застосовуючи методу теорії графів визначити [5]:

- можливі переходи за кожним окремим циклом і загальні вершини які зв'язані між собою;
- визначити компоненти зв'язності окремих незалежних циклів, які пов'язані з вхідним впливом і які незалежно можуть утворюватись у системі.

ВИСНОВКИ

Була розроблена модель імітаційного моделювання розповсюдження зовнішніх впливів у підсистемах складних систем високого порядку, а також виявлення можливих внутрішніх компонент зв'язності, я незалежних циклів. Запропонований варіант моделі може бути розширений для дослідження часових характеристик проходження інформаційних потоків, дослідження нечітких відношень між підсистемами і всередині підсистем.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [5] Мочанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем [Текст] / А.А. Мочанов. – К.: Вища школа, головное изд-во, 1988.- 359 с.
- [6] Дружинин В.В. Системотехника [Текст] / В.В Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985.- 200с.
- [7] Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств: Пер. с фр. – М.: Радио и связь, 1982. 432 с
- [8] Бардачов Ю.М., Соколова Н.А., Ходаков В.Е. Дискретна математика. К.: Вища шк., 2002. – 287 с.
- [9] Малько О.Г Спеціальні розділи математики: Навчальний посібник. ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2010. – 320 с.

Про одну задачу фільтраційної консолідації та контактної суфозії ґрунтів (двовимірний випадок)

В.А. Герус
кафедра прикладної математики
Національний університет
водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
v.a.gerus@nuwm.edu.ua

П.М. Мартинюк
кафедра прикладної математики
Національний університет
водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
Martinjuk@ukr.net

О.Р. Мічута
кафедра прикладної математики
Національний університет
водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
michuta@ukr.net

About one task of filtration consolidation and suffusion soil contact (two-dimensional case)

V.A. Gerus
Department of Applied Mathematic
National University of Water
Management and National
Resources Use
Rivne, Ukraine
v.a.gerus@nuwm.edu.ua

P.M. Martyniuk
Department of Applied Mathematic
National University of Water
Management and National
Resources Use
Rivne, Ukraine
Martinjuk@ukr.net

O.R. Michuta
Department of Applied Mathematic
National University of Water
Management and National
Resources Use
Rivne, Ukraine
michuta@ukr.net

Анотація—Вдосконалено математичну модель взаємозв'язаних процесів фільтраційної консолідації, тепломасоперенесення та контактної суфозії в неоднорідних ґрунтах. Програмно реалізовано розв'язок відповідної крайової задачі методом скінчених елементів. Проаналізовано вплив суфозійних явищ на фільтраційну консолідацію в ґрунті, оцінені просідання ґрунту за рахунок зміни напорів та за рахунок зміни концентрації суфозійних частинок.

Abstract—Mathematical model of interrelated processes of filtration consolidation, heat-mass transfer and contact suffusion in heterogeneous soils have been improved. Software solution appropriate boundary problem finite element method have been implemented. The influence suffusion phenomena on the consolidation of filtration in the soil, soil subsidence due to changes in pressures and by changing the concentration of particles suffusion have been analysed.

Ключові слова—метод скінчених елементів; фільтраційна консолідація ґрунту; механічна суфозія, теплосоперенесення.

Keywords— *finite element method, soil consolidation filtration, mechanical suffusion, heat-mass transfer*

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянемо масив ґрунту в області Ω_1 , який привантажений ґрунтом в області Ω_2 більш великої фракції (рис. 1) Під впливом висхідного фільтраційного потоку суфозійні частинки з області Ω_1 можуть проникати в область Ω_2 . В результаті межа контакту двох ґрунтів $\Gamma_{12}(t)$ є рухомою і змінює своє положення в часі. Тому область Ω_2 – це ґрунт, який складається із «скелету» та суфозійних частинок з концентрацією $\sigma(\mathbf{X}, t)$. Під концентрацією $\sigma(\mathbf{X}, t)$ частинок в деякому виділеному об'ємі V пористого середовища будемо розуміти відношення об'єму суфозійних частинок до всього виділеного об'єму V . Тому $\sigma_{\max}(\mathbf{X}, t) = (1 - n_1) \cdot n_2$, де n_i – функції пористості «чистого» ґрунту в областях $\Omega_i, i = 1, 2$.

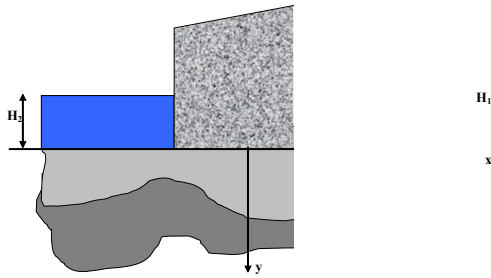


Рис. 1. Фільтраційна консолідація та контактна суфозія в неоднорідному масиві ґрунту

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ КОНСОЛІДАЦІЇ ТА КОНТАКТНОЇ СУФОЗІЇ

Математична модель задачі фільтраційної консолідації з врахуванням багато фракційної суфозії згідно вищевказаної постановки описується наступною крайовою задачею [1-4]:

$$\frac{\partial h(\mathbf{X}, t)}{\partial t} = \frac{(1 + e^{(0)})(1 + \xi)}{2\gamma\alpha \left(1 - \sum_{i=1}^S \sigma^{(i)}\right)} \times$$

$$\times \nabla \cdot (\mathbf{K}_h(c, T, e) \nabla h(\mathbf{X}, t) - \mathbf{K}_c \nabla c(\mathbf{X}, t) - \mathbf{K}_T \nabla T(\mathbf{X}, t)) + \frac{\partial h^*}{\partial t} + \frac{1}{2\gamma} \frac{\partial \Theta^*}{\partial t},$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{D} \nabla c(\mathbf{X}, t)) + \nabla \cdot (\mathbf{D}_T \nabla T(\mathbf{X}, t)) -$$

$$- \mathbf{u} \nabla c(\mathbf{X}, t) = n \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial t},$$

$$\nabla \cdot (\lambda(c) \nabla T(\mathbf{X}, t)) - \rho c_p \nabla T(\mathbf{X}, t) = c_T \frac{\partial T}{\partial t},$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{D}^{(i)} \nabla \sigma^{(i)}(\mathbf{X}, t) + \mathbf{f}(\sigma, \sigma_{\max}, \mathbf{u}, \mathbf{u}_{kr})) \times$$

$$\times \sigma^{(i)}(\mathbf{X}, t) \mp w_i \cdot \nabla z = \frac{\partial \sigma^{(i)}(\mathbf{X}, t)}{\partial t}, i = \overline{1, S}, \mathbf{X} \in \overline{\Omega}_2,$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\gamma_1 (c - C_m),$$

$$\mathbf{q}^{(i)}(\mathbf{X}, t) = \mathbf{F}(\sigma^{(i)}, \sigma_{\max}, \mathbf{u}, \mathbf{u}_{kr}), i = \overline{1, S}, \mathbf{X} \in \Omega_2,$$

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K}_h(c, T, \sigma, e) \nabla h(\mathbf{X}, t) + \mathbf{K}_c \nabla c(\mathbf{X}, t) + \mathbf{K}_T \nabla T(\mathbf{X}, t),$$

кінематичні граничні умови

$$\left(\sigma_{\max} - \sum_{i=1}^S \sigma^{(i)}(\mathbf{X}, t) \right) \frac{d\Gamma_{12}(\mathbf{X}, t)}{dt} =$$

$$= - \sum_{i=1}^S (\mathbf{q}^{(i)}, \mathbf{n}_{12}), (\mathbf{X}, t) \in \Gamma_{12}(\mathbf{X}, t),$$

$$\frac{d\Gamma_{02}(\mathbf{X}, t)}{dt} = - \frac{1}{n_y^{(12)}} \cdot \frac{d\Gamma_{12}(\mathbf{X}, t)}{dt} +$$

$$+ \frac{2\gamma\alpha}{(1 + \bar{e})(1 + \xi)} \int_{\Gamma_{02}(\mathbf{X}, t)}^l \frac{\partial h(\mathbf{X}, t)}{\partial t} dy, (\mathbf{X}, t) \in \Gamma_{12}(\mathbf{X}, t),$$

початкові умови

$$h(\mathbf{X}, 0) = H_0(\mathbf{X}), c(\mathbf{X}, 0) = c_0(\mathbf{X}),$$

$$T(\mathbf{X}, 0) = T_0(\mathbf{X}), \sigma_m^{(i)}(\mathbf{X}, 0) = \sigma_m^{(0)}(\mathbf{X}), i = \overline{1, S},$$

$\Gamma_{12}(0) = \Gamma_{12}^{(0)}, \Gamma_{02}(0) = \Gamma_{02}^{(0)}$. Також крайова задача містить граничні умови для невідомих функцій, а також умови спряження на межі контакту.

III. ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ

Числовий розв'язок сформованої математичної моделі у вигляді нелінійної крайової задачі знайдено методом скінчених елементів (МСЕ).

Аналіз результатів проведених числових експериментів розрахунку надлишкових напорів та концентрації суфозійних часток свідчить, що суфозійні процеси не значно впливають на розподіл напорів. Однак, зміна концентрації суфозійних частинок значно більше впливає на просідання ґрунту, ніж зміна напорів. Такі просідання (від загальних) можуть складати близько 80%.

ВИСНОВКИ

Отже, можна зробити висновок, що при проектуванні споруд на неоднорідних суфозійних ґрунтах обов'язково потрібно проводити попередні прогностичні розрахунки величини просідань поверхні ґрунту для недопущення аварійних ситуацій.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] П. М. Мартинюк, О. В. Гошко Математична модель фільтраційної консолідації ґрунтів з урахуванням багатofракційної суфозії // Вісник Київського ун-ту. Сер. фіз.-матем. науки. – 2013. – Вип. 4. – С. 136–141.
- [2] И. В. Сергиенко, В. В. Скопецкий, В. С. Дейнека Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. – Киев: Наук. думка, 1991. – 432с.
- [3] A. P. Vlasyuk, P. M. Martynyuk, O. R. Fursovych Numerical solution of a one-dimensional problem of filtration consolidation of saline soils in a nonisothermal regime // Journal of Mathematical Sciences. – 2009. – Vol. 160, № 4. – P. 525–535.
- [4] A. P. Vlasyuk, P. M. Martynyuk Numerical solution of three-dimensional problems of filtration consolidation with regard for the influence of technogenic factors by the method of radial basis functions // Journal of Mathematical Sciences. – 2010. – Vol. 171, № 5. – P. 632–648.

Вплив ухилу поверхні на злет і приземлення квадрокоптера в автоматичному режимі польоту

Б.Я Благітко
кафедра радіофізики та
комп'ютерних технологій
ЛНУ імені Івана Франка
Львів, Україна
blagitko@gmail.com

Ю.С. Мочульський
кафедра радіофізики та
комп'ютерних технологій
ЛНУ імені Івана Франка
Львів, Україна
mochulsky@ukr.net

І. М. Заячук
Центр математичного
моделювання ІППММ
ім. Я.С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
igorzaj@litech.lviv.ua

Influence of slope surface on takeoff and landing in automatic flight of quadrocopter

Blagitko B.
Department of Radiophysics and
Computer Technologies
Ivan Franko Lviv's National
University
Lviv, Ukraine
blagitko@gmail.com

Mochulsky Y.
Department of Radiophysics and
Computer Technologies
Ivan Franko Lviv's National
University
Lviv, Ukraine
mochulsky@ukr.net

Zajachuk I.
Centre of Mathematical Modelling
Pidstryhach Institute for Applied
Problems of Mechanics and
Mathematics Ukrainian Academy of
Science, Lviv, Ukraine,
igorzaj@litech.lviv.ua

Анотація—Обґрунтована необхідність аналізу і моделювання процесів злету безпілотного квадрокоптера із похилої площини та його приземлення на похилу площину. Шляхом математичного моделювання визначені основні особливості впливу ухилу місця старту/приземлення безпілотного квадрокоптера на процес виходу до заданої точки маршруту. Запропоновані методи старту/приземлення безпілотного квадрокоптера, який знаходиться на похилій площині.

Abstract—The necessity of analyzing and modeling process of the takeoff unmanned quadrocopter from the inclined plane and landing it on of an inclined plane is described. Through mathematical modeling the basic features of influence of slope the start / landing unmanned quadrocopter on the process output to the desired waypoint are considered. The methods of launch / landing unmanned quadrocopter which is on an inclined plane are proposed.

Ключові—слова *квадрокоптер, висотомір, 3-осьовий гіроскоп, 3-осьовий акселерометр, 3-осьовий магнітометр, керування*

Keywords—*quadrocopter, altimeter, 3-axis gyroscope, 3-axis accelerometer, 3-axis magnetometer, control*

I. ВСТУП

Традиційно математична модель квадрокоптера описує динамічні процеси в системі в цілому при нулевих початкових умовах [1-5]. Це означає, що квадрокоптер нерухомо стоїть на горизонтальній площині при злеті. Приземлення відбувається на ту ж горизонтальну площину. Профіль місця злету/приземлення квадрокоптера складається з окремих ділянок з підйомами або спусками і рідше з горизонтальних ділянок. Крутизна підйому або спуску ділянки характеризується ухилом, поздовжнім або поперечним. Рух квадрокоптера відбувається по трьох осях: поздовжній, поперечній та вертикальній. У якості поздовжньої осі використовують будівельну вісь квадрокоптера, яка закладається при проектуванні. При обертанні навколо неї квадрокоптер опускає одну і піднімає іншу бокову консоль із прикріпленням до неї електродвигуном. Такий рух називається «крен» (Roll). Поперечна вісь - це вісь, перпендикулярна площині симетрії квадрокоптера, спрямована в бік правої консолі, яка доповнює, таким чином, пов'язану систему координат до правої трійки векторів. При обертанні навколо цієї осі квадрокоптер опускає чи піднімає ніс. Цей рух (і утворений з горизонтальною площиною кут) називається «тангаж» (Pitch) – кут між поздовжньою віссю квадрокоптера і горизонтальною площиною. Розрізняють тангаж зі збільшенням кута — кабривання, та зі

зменшенням кута — пікірування. Обертання навколо вертикальної осі називається «рискання» (ψ), кут який означає кут повороту корпусу квадрокоптера в горизонтальній площині, відлічуваний від напрямку на північ. Ці три кути, крен, тангаж і рискання, визначають нахил літального апарата щодо його центру. Важливо знати як впливають на динаміку руху квадрокоптера ненульові значення кутів крену, тангажу і рискання, які обумовлені ухилом поверхні злету/приземленням безпілотного (БПЛА) квадрокоптера.

II. БЛОК-СХЕМА КВАДРОКОПТЕРА З РЕГУЛЯТОРОМ

Квадрокоптер конструктивно є поєднанням двох підсистем: власне квадрокоптера, як електромеханічної підсистеми і плати керування польотом, як електронної підсистема. Електромеханічна підсистема реалізована у вигляді хрестоподібної балкової конструкції, у якій на кожному з кінців однакової довжини балок прикріплені електричні двигуни постійного струму з повітряними пропелерами із незмінюваним кутом атаки так, що сили тяги всіх чотирьох пар електричний двигун-пропелер напрямлені перпендикулярно до площини балкової конструкції, причому двигуни на сусідніх кінцях балок мають різні пропелери: один з них – правий пропелер, інший – лівий. Швидкості обертання роторів електродвигунів і, відповідно, сили тяги пропелерів змінюють, змінюючи напруги, які подають на обмотки електродвигунів [4,5]. Електронна підсистема реалізована як плата управління силою тяги електродвигунів шляхом визначенням напруг, які необхідно подати на обмотки відповідних електродвигунів для переміщення квадрокоптера за заданою траєкторією. Процес обчислення у мікроконтролері значення сигналів управління відбувається за результатами вимірювань сенсорів.

На Рис. 1 зображена блок-схема моделі квадрокоптера разом із платою керування та сенсорами, де Z – висота квадрокоптера, V_z – вертикальна складова швидкості, γ , θ , ψ – відповідно кути крену, тангажу та рискання, ω_γ , ω_θ , ω_ψ – кутові швидкості обертання квадрокоптера, U_1, U_2, U_3, U_4 – напруги, які подаються на двигуни квадрокоптера. Блок сенсорів складається з висотоміра, 3-осьового гіроскопа, 3-осьового акселерометра і 3-осьового магнітометра.

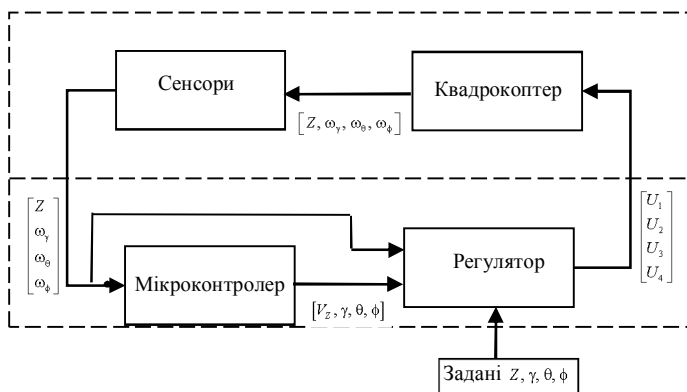


Рис. 1. Блок-схема квадрокоптера з регулятором

III. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КВАДРОКОПТЕРА

Математична модель квадрокоптера в польоті з врахуванням особливостей сенсорів розглядається як дві суттєво різні математичні моделі: власне математичної моделі квадрокоптера, як БПЛА, на вхід якого поступають значення напруг живлення електричних двигунів, а виходами є кутові швидкості обертання валів електричних двигунів; математичної моделі ПД регулятора, на вхід якого від сенсорів поступають виміряні значення, а мікроконтролер реалізує алгоритм ПД регулятора і видає на вихід значення напруг живлення двигунів.

Математична модель квадрокоптера описується системою диференціальних рівнянь 16-го порядку у формі Коші [4,5].

Для керування польотом квадрокоптера використовують регулятор, який задає необхідні напруги на двигуни пропелерів. В даній роботі вибрано пропорційно-диференційний регулятор (ПД), який регулює висоту польоту та кути нахилу квадрокоптера, змінюючи вертикальну складову сили тяги пропелерів та моменти сил, які обертають квадрокоптер.

Висоту Z визначають висотоміром. Вертикальну швидкість вичислюємо, чисельно продиференціювавши висоту квадрокоптера. Кутові швидкості ω_γ , ω_θ та ω_ψ , які повинен дати 3-осьовий гіроскоп, це відповідні змінні стану моделі квадрокоптера. Маючи покази гіроскопа за допомогою формул чисельного інтегрування вичислюємо кути тангажу, крену та рискання. Врахувавши при цьому, що гіроскоп має зміщення нуля Δ , отримаємо формулу для обчислення кута крену в момент часу t_{i+1} на основі значень цих кутів в момент часу t_i .

$$\gamma_{i+1} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \omega_\gamma(t) dt + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \Delta_\gamma dt + \gamma_i \approx \gamma_i + \omega_{\gamma,i}(t_{i+1} - t_i) + \Delta_\gamma(t_{i+1} - t_i)$$

Аналогічно обчислюються кути тангажу та рискання. За рахунок похибки нуля гіроскопа (третього доданку) похибка визначення кутів тангажу, крену та рискання буде накопичуватися, що приводить до відхилення траєкторії польоту від заданої.

Для того, щоб провести корекцію кутів положення квадрокоптера використовують обчислення цих кутів за показами акселерометра. 3-осьовий акселерометр надає проекції $(A_{x_0}, A_{y_0}, A_{z_0})$ суми вектора прискорення вільного падіння і вектора абсолютного прискорення об'єкта на осі X_0, Y_0, Z_0 системи координат, зв'язаної з об'єктом. При нерухомому об'єкті або його рівномірному русі наведені вище проекції будуть проекціями вектора прискорення вільного падіння \vec{G} на осі X_0, Y_0, Z_0 квадрокоптера. Для корекції кута рискання використовують не акселерометр, а магнітометр. 3-осьовий магнітометр визначає проекції вектора магнітної індукції на осі X_0, Y_0, Z_0 квадрокоптера (відповідно B_{x_0}, B_{y_0} та B_{z_0}).

Для аналізу використовувався неявний метод Рунге-Кутта TR-BDF2 (на першому етапі рівняння інтегрують

методом трапецій, а на другому етапі застосовують формулу диференціювання назад другого порядку) [6].

IV. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗЛЕТУ КВАДРОКОПТЕРА З ПОХИЛОЇ ПОВЕРХНІ

Злет квадрокоптера з горизонтальної поверхні відбувається у вертикальному напрямі [1-5]. Спроба виконати вертикальний злет квадрокоптера із похилої площини може привести до непередбачуваних наслідків: на ковзкій поверхні квадрокоптер переміщатиметься, не злітаючи, по поверхні в некерованому напрямі, а на шорсткій поверхні квадрокоптер або злітає в некерованому напрямі, або перевертається.

Пропонується виконувати злет квадрокоптера з похилої площини у перпендикулярному напрямі до площини з відключеним регулятором. Після того, як квадрокоптер відлетить на деяку віддаль від площини, включається регулятор і політ продовжується за програмою.

На Рис.2 приведені траєкторії злету квадрокоптера при різних кутах повздовжнього ухилу похилої площини. Траєкторія 1 демонструє злет квадрокоптера з площини ухилом -0.5 рад, 2 – -0.3 рад, 4 – $+0.3$ рад, 5 – $+0.5$ рад. Для порівняння приведена траєкторія 3 традиційного вертикального злету квадрокоптера з горизонтальної площини. Всі траєкторії сходяться в одній і тій же точці подальшого маршруту.

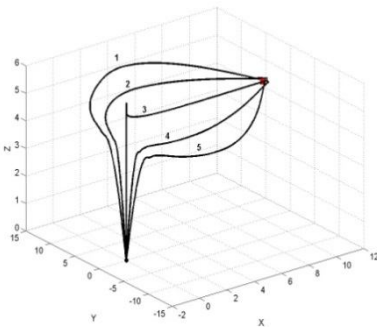


Рис. 2. Траєкторії злету квадрокоптера при різних кутах повздовжнього ухилу похилої площини.

V. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЗЕМЛЕННЯ КВАДРОКОПТЕРА НА ПОХИЛУ ПОВЕРХНЮ

Реалізація приземлення квадрокоптера на похилу площину ще важча ніж реалізація злету його із похилої площини. Адже після приземлення квадрокоптер повинен бути готовим до нового старту з тими ж ненульовими початковими умовами що і при першому злеті з похилої площини.

Пропонується виконувати приземлення квадрокоптера на похилу площину у два етапи. При підльоті до точки приземлення регулятору задається висота $0,5$ м. Таким чином, він повертається до точки вильоту на висоті $0,5$ м.

Після цього регулятор відключається і квадрокоптер, як і при ручному управлінні [7], приземляється на похилу площину.

На Рис.3 приведені траєкторії приземлення квадрокоптера при підльоті його з чотирьох різних сторін світу. Всі траєкторії сходяться в одній і тій же точці на висоті 0.5 м над місцем приземлення.

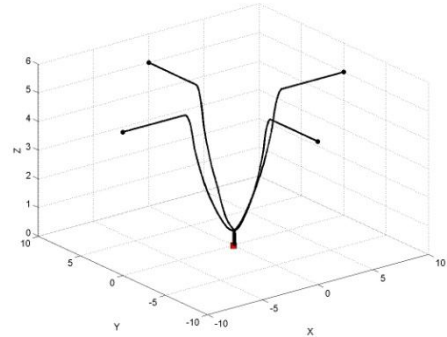


Рис. 3. Траєкторії приземлення квадрокоптера при підльоті його з чотирьох різних сторін світу.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень визначають ефективність та практичну значимість використання запропонованих методів злету/приземлення квадрокоптера з/на похилої/похилу площини/площину.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Huang H. Aerodynamics and control of autonomous quadrotor helicopters in aggressive manoeuvring / H. Huang, G. M. Hoffmann, S. L. Waslander, and C. J. Tomlin // IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2009, pp. 3277–3282.
- [3] Wissiere D. Experimental autonomous flight of a small-scaled helicopter using accurate dynamics model and low-cost sensors / David Wissiere, Piere-Jean Bristeau, Alain Piere Martin, Nikolas Petit // Proceeding of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul Korea, July 6-11, 2008, pp. 14642-14650.
- [4] Nartin P. The True Role of Accelerometer Feedback in Quadrotor Control / Philip Nartin, Erwan Salaun // IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, May 2010, pp.1623-1629.
- [5] Marcelo Becker. In-Flight Collision Avoidance Controller Based Only on OS4 Embedded Sensors/ R.C.B.Sampaio, S.Bounabdallah, V.de Perrot, R.Siegwart// Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. vol.34 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2012 – March 2012. – Vol. XXXIV, No.3, July-September 2012– С. 294–107.
- [6] Благітко Б. Математичне моделювання впливу особливостей сенсорів на процес польоту безпілотного квадрокоптера / Б. Благітко, І. Заячук, Ю. Мочульський // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2015. – Вип. 21. – С. 22–29.
- [7] Мочульський Ю. Matlab у фізичних дослідженнях: навч. - метод. посіб. — Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2004. — 121 с.
- [8] Благітко Б. Моделювання процесу керування вертикальним злетом і приземленням безпілотного квадрокоптера /Б.Благітко, І.Заячук, Л.Кіт. Ю.Мочульський// Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології.-2012.-Вип.2.-С.111-117.

Багатошарове моделювання фізіологічного дозрівання людини

I.В. Сопко

кафедра інтелектуальних систем прийняття рішень
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
sopko20@ukr.net

Multilayer modeling human physiological maturation

I. Sopko

Department of intelligent systems of acceptance of decision
Cherkasy National University Bohdan Khmelnytsky
Cherkasy, Ukraine
sopko20@ukr.net

Анотація — Обґрунтовано застосування багатошарового методу перетворення інформації, що дозволяє підвищити потужність алгоритму синтезу моделей. Запропоновано використання нового індуктивного методу багатошарового моделювання. Даний метод дозволяє значно підвищити інформативності масиву вхідних даних та потужність системи багаторівневого перетворення форми інформації.

Abstract — Multilayer method of converting information can increase the power of the algorithm synthesis models. The use of a new inductive method of multilayer modeling. This method can significantly increase the informativeness of the array of input and power systems multi-information conversion forms.

Ключові слова — метод багатошарового перетворення інформації; метод групового урахування аргументів, індуктивний метод моделювання.

Keywords — multilayer conversion method information; group method of data handling, inductive method of modeling.

I. ВСТУП

При моделюванні динаміки показників фізіологічного дозрівання людини постає проблема недостатньої інформативності масиву вхідних даних. Проблема усувається шляхом:

- 1) Підвищення інформативності масиву вхідних даних;
 - 2) Підвищення потужності алгоритму синтезу моделей.
- При вже завершеному процесі моніторингу здобути додаткові показники за минулий проміжок часу часто

неможливо. Тому основним напрямком досліджень є процес підвищення потужності засобів синтезу моделей.

Методи індуктивного моделювання дають надійну можливість отримання точної ідентифікації або прогнозу різних складних процесів у випадку малоінформативних або зашумлених вихідних даних. На відміну від дедуктивних методів моделювання або нейронних мереж, в результаті знаходяться явні математичні моделі, отримані за відносно невеликий час. Проте при синтезі індуктивних моделей необхідною умовою для отримання адекватних моделей є достатня інформативність масивів вхідних даних, а це є проблематичним. Низька адекватність моделювання об'єктів моніторингу біологічного дозрівання людини обмежує використання інтелектуальних засобів перетворення інформації в системах багаторівневого моніторингу [1].

Так як виникає проблема втрати ознак в процесі формування моделей постала задача підвищення адекватності оцінки впливу факторів та потужності засобів синтезу моделей. Потужність індуктивних алгоритмів синтезу моделей (АСМ) часто дозволяє знизити межу інформативної достатності та отримати адекватні моделі із недостатньо інформативних результатів моніторингу.

В цих умовах одними із визначальних факторів є підвищення потужності АСМ та використати інформативність кожного із отриманих показників. Планується використати методи багатошарового моделювання [2] для підсилення потужності АСМ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою цієї роботи є розв'язання задачі структурної ідентифікації багатощарової моделі показників фізіологічного дозрівання людини. Необхідно визначити перелік моделей, отриманих за завершеними алгоритмами, що утворюють структуру шарів, та розв'язати задачу узгодження взаємодій цих моделей при формуванні багатощарової структури.

III. МЕТОД СИНТЕЗУ БАГАТОШАРОВИХ МОДЕЛЕЙ

Розв'язок поставлених задач передбачається отримати шляхом застосування використання нового індуктивного методу багатощарового моделювання та засобів його реалізації.

Поставлене завдання вирішується шляхом розробки багатощарового моделювання та удосконалення відомого методу моделювання систем моніторингу.

На відміну від існуючих методів та засобів моніторингу в області фізіології людини новий метод дає можливість автоматизації процесу побудови вертикальних зв'язків між шарами. Це дозволить мінімізувати вплив суб'єктивних суджень на процес побудови структури системи багаторівневого перетворення інформації як реалізації технології багаторівневого моніторингу біологічного дозрівання людини. Вирішення задачі з появою зашумлених даних досягається шляхом використання принципів несуміщеності сигналів при формуванні критеріїв відбору інформативних ознак.

Основа дослідження ґрунтується на різних методах структуризації моделей, загальна схема методу синтезу багатощарових моделей представлена на рис. 1.

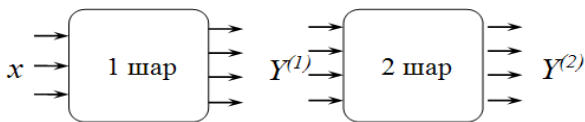


Рис. 1. Загальна схема синтезу багатощарових моделей

В таблиці 1 подано перелік показників, що утворюють Первинний опис (ПО) об'єкта.

В ході проведення дослідження визначено проблеми, вирішення однієї з яких призводить до виникнення іншої та навпаки. При збільшенні об'єму первинного опису виникає проблема в процесі визначення факторів впливу на біологічне дозрівання людини по зібраних даних, ускладнюється недостатністю потужності засобів аналізу та проблематичністю обробки великих масивів вхідних даних, а при зменшенні – недостатністю інформативності первинного опису для створення адекватної моделі. При обробці даних загальна кількість інформації не збільшується, тому для відображення кількості інформативних показників в моделі необхідно розробити метод моделювання, який за допомогою структуризації моделей здобуватиме більш точну інформацію з первинного опису.

ТАБЛИЦЯ 1. ПОКАЗНИКИ МАСИВУ ВХІДНИХ ДАНИХ

П/№	Показник	Статус	Змінна
1.	Кількість зубів	Незалежна змінна	x_1
2.	Вік		x_2
3.	Довжина тіла		x_3
4.	Маса тіла		x_4
5.	Обхват грудної клітки		x_5
6.	Довжина руки		x_6
7.	Довжина ноги		x_7
8.	Пам'ять	Залежна змінна	y_1
9.	Увага		y_2
10.	Спритність		y_3
11.	Біг 30 м		y_4
12.	Гнучкість		y_5

На рис. 2 наведено порівняння результатів синтезу моделей за одношаровим та багатощаровим алгоритмами по їх відносних похибках.



Рис. 2. Результати порівняння відносних похибок за одношаровим алгоритмом синтезу моделей та багатощаровим

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень, було запропоновано відображати закономірності факторів впливу біологічного дозрівання людини в структурі індуктивних моделей. Розроблено новий метод багатощарової структуризації для підвищення інформативності масиву вхідних даних та потужності системи багаторівневого перетворення форми інформації. Отримано експериментальне підтвердження, що точність збільшилась на 31,25% в порівнянні з одношаровим методом.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Сопко И.В. Многоуровневое преобразование формы информации в структуре мониторинга биологического созревания человека / И.В. Сопко // Проблемы информатизации: Материалы первой международной конференции. – 2013. – С. 68.
- [2] Holub S.V. Bagatorivneve modeluvanya v tehnologiah monitoringu otchujuchogo seredovischa / S.V. Holub. – Cherkasy: Vidavnychiy viddil Cherkaskogo natsionalnogo universitetu imeni Bohdana Hmel'nitskogo, 2007. – 220 s.

Імітаційне моделювання синтезу білків

С.В. Бесєдіна
кафедра інформаційних технологій
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
bes_sv@ukr.net

А.Ю. Кришталь
кафедра інформаційних технологій
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
Черкаси, Україна
kristal7@i.ua

Protein synthesis simulation modelling

S. Byesyedina
Department of Information Technology
Cherkassy National University
By Bohdan Khmelnytsky
Cherkassy, Ukraine
bes_sv@ukr.net

A. Kryshstal
Department of Information Technology
Cherkassy National University
By Bohdan Khmelnytsky
Cherkassy, Ukraine
kristal7@i.ua

Анотація—Обґрунтовано застосування методу QCP при емуляції синтезу білків, що дозволяє значно розширити знання просторової організації структури молекул білка. Запропоновано використання алгоритму QCP для модифікації наявних структур та отримання нових білків із новими властивостями.

Abstract—QCP method used to emulating the synthesis of proteins. It is increasing knowledge base of protein structure. QCP method can be used for modification exist and generation new structures.

Ключові слова — імітаційне моделювання; синтез білків; алгоритм QCP; протеїн.

Keywords — simulation; protein synthesis; QCP algorithm; protein.

I. Вступ

Значний розвиток комп'ютерів та суперкомп'ютерів, які сьогодні стали самостійним інструментом пізнання в сучасній молекулярній біології та у результаті розшифрування структури геномів вірусів, мікроорганізмів та геному людини з'явилися величезні обсяги інформації щодо послідовностей нуклеїнових кислот та білків. На основі накопиченої інформації процес моделювання потребує наявності можливості бачити як моделюючи так і експериментальну структуру білка [1].

При розробці нових лікарських препаратів та оцінці впливу довкілля на структуру білків (протеїнів) виникає проблема імітаційного моделювання синтезу білків за умови зовнішніх збурень. На сьогодні, ефективність дослідження цих процесів визначається кількістю ресурсів, які на них витрачаються, та кількістю корисної інформації, яку здобули в результаті дослідження. У випадку використання вартісних програмних продуктів

(Rosetta@Home, Protein Data Bank, WebProAnalyst і т.ін.) ефективність знижується із зростанням їх вартості.

Тому постає задача експериментального дослідження результатів роботи існуючих методів для визначення допустимого зниження вартості моделювання синтезу білків.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою цієї роботи є розробка системи для імітаційного моделювання синтезу білків із застосуванням методу Quaternion Characteristic Polynomial (QCP), для побудови трьохмірної структури білка, що дозволить відобразити структуру в процесі поєднання різномірних білків у нормальних умовах, з метою максимального наближення їх до тієї, яка відтворюється у живій клітині.

Поставлене завдання вирішується на основі застосування існуючих методів та розробки нового алгоритму моделювання синтезу білків, що дозволяє значно розширити їх можливості. У практиці до цього часу широке застосування методів [4-6] обмежувалось алгоритмічною складністю та високими коштами побудови систем для їх моделювання.

III. ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗУ БІЛКІВ

Емпірично встановлено, що якщо послідовності двох білків ідентичні один одному більш ніж на 30%, то вони майже напевно є «родичами» і ступінь еволюційної дивергенції ще не настільки велика, щоб їх структури втратили спільність. Ці спостереження і є основою методики передбачення просторової структури, названою моделюванням на підставі гомології [3]. Цей процес включає кілька кроків, головними з яких є пошук структурного шаблону і побудова амінокислотного

рівняння. Вирішальним фактором, що визначає якість одержуваних моделей, є ступінь гомології послідовностей модельованого білка і шаблону.

Процеси фолдинга і міжмолекулярних взаємодій білків можуть бути змодельовані з використанням молекулярної механіки зокрема, молекулярної динаміки і методу Монте-Карло, які все частіше використовують переваги паралельних і розподілених обчислень або молекулярного моделювання [1].

В основу моделювання покладено алгоритм QCP, який є найбільш швидким з відомих алгоритмів для розв'язання задачі мінімізації середньоквадратичного відхилення (СКВ) між двома множинами точок. Алгоритм визначає матрицю повороту 3x3, на яку треба повернути другу множину точок, щоб мінімізувати СКВ [2]. Сьогодні, найбільш поширеними є такі типи моделювання білків: моделювання укладання «з перших принципів» (ab initio) [4], передбачення на основі гомології (homology modeling) [5], трідинг (threading) [6].

Оскільки, система моделювання повинна представляти оцінку коректності своїх результатів, вхідними даними модуля є дві складні просторові структури білка, які представляються у вигляді координат атомів у трьохвимірній системі координат. Блок-схема роботи розробленої системи подана на рис.1.

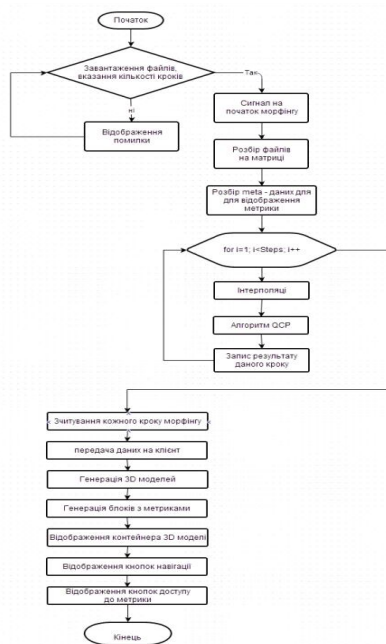


Рис. 1. Блок-схема діяльності розробленої системи

У результаті модельного експерименту вдалось виявити, що конкатенація вхідних даних призводить до удосконалення в проектуванні білка, який у свою чергу може безпосередньо застосовувати при створенні нових ферментів, вакцин, тощо. Процедура аналізу результатів повинна бути направлена на глибокий аналіз структурної схожості білкових молекул. Порівняння змодельованих експериментальних білкових структур виконується у три підходи: 1) Візуальне порівняння. У людини, яка досліджує

є можливість наглядно порівняти результат моделювання та експериментальних даних, а також провести операцію обертання й масштабування для візуальної оцінки коректності параметрів використовуваної моделі. 2) Оцінка СКВ, яка в молекулярному моделюванні використовується в якості просторової міри близькості двох моделей, де низьке СКВ означає близькість двох структур. 3) Порівняння структур як вузлів. Проекція трьохрівневих структур білка на площині представляє собою складний вузол, тому теорія вузлів дозволяє представити заплутані структури у вигляді полінома.

Результат проведеного моделювання синтезу білка на різних етапах зі зміною координат подано на рис. 2.

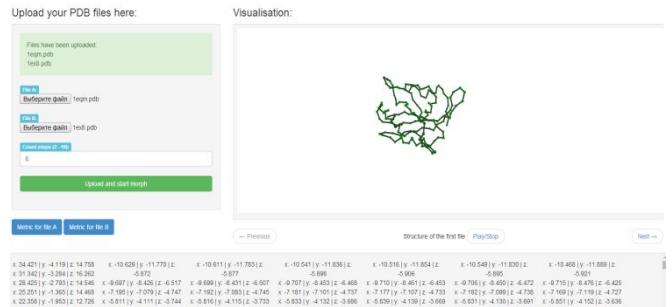


Рис. 2. Вікно для моделювання синтезу білків

ВИСНОВКИ

Дані про проміжні структури, що представляють зміну білка з однієї конформації в іншу, надають багато інформації про його функції. Експериментальні методи є недостатніми для вирішення цього завдання за рахунок практичних і технологічних обмежень. З цієї причини, структурна біологія гостро потребує алгоритмів, які можуть точно передбачити проміжні структури, що відображають процес конформаційних змін білка.

Встановлено, чим менше відхилення від еталонного структурного коду, тим взаємодія білків в межах одного препарату підсилюється. Це дозволяє забезпечити параметричну оптимізацію процесу синтезу нових елементів. Ефективність нового запропонованого методу моделювання підвищується за рахунок того, що він безкоштовний та дозволяє отримувати аналогічні результати.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] К.О. Одинець, С.С. Івахно, Д.Б.Ковальський, Б.Т. Токоєнко, О.І. Корнелюк, Структурна біоінформатика в постгенному еру, Київ, 2004.
- [2] Liu P, Agrafiotis DK, Theobald DL (2011) [Online]. Available: <http://theobald.brandeis.edu/qcp>.
- [3] Hillisch A., Pineda L.F., Hilgenfeld R. Utility of homology models in the drug discovery process. Drug Discov. (2004) Today 15, 659–669.
- [4] M. S. Shell, 2009. Ab Initio methods [Online]. Available: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>.
- [5] Elmar Krieger, Sander B. Nabuurs and Gert Vriend, Homology Modeling 2005.
- [6] Jinbo Xu, Feng Jiao, Libo Yu, Protein Structure Prediction Using Threading, 2008, pp. 91-121.

Математичне моделювання солеперенесення в насичено-ненасичених шаруватих ґрунтах з врахуванням інфільтраційних та осмотичних процесів

А.П. Власюк
кафедра інформаційних систем та
обчислювальних методів
Міжнародний економіко-гуманітарний університет
імені академіка С. Дем'янука
Рівне, Україна
a.p.vlasyuk.rv@gmail.com

Т.П. Цветкова
кафедра прикладної математики
Національний університет водного господарства та
природокористування
Рівне, Україна
tsvetkova@ukr.net

Mathematical modelling of salt transfer in saturated-nonsaturated layered soils taking into account infiltration and osmosis processes

A. Vlasyuk
Department of Information Systems and
Computational Methods
International university of Economics and Humanities
named after Academician Stepan Demianchuk
Rivne, Ukraine
a.p.vlasyuk.rv@gmail.com

T. Tsvetkova
Department of Applied Mathematics
National University of Water Management and Nature
Resources Use
Rivne, Ukraine
tsvetkova@ukr.net

Анотація—Проведено математичне моделювання процесу перенесення солей при нестационарній фільтрації та вологоперенесенні у насичено-ненасичених шаруватих ґрунтах з врахуванням інфільтраційних та осмотичних явищ. Числові розв'язки відповідних крайових задач отримано методом скінченних різниць. Розроблено відповідне програмне забезпечення, з використанням якого проведено числові експерименти та зроблено їх аналіз.

Abstract—Mathematical model of the salt transfer during the non-stationary filtration and the moisture transfer in full and partial saturation soils layers including osmotic and infiltration phenomena is formulated. Numerical solutions of respective boundary problems are obtained by means of finite differences method. Proper software is developed using which numerical experiments and their analysis are performed.

Ключові слова—солеперенесення; вологоперенесення; насичено-ненасичений ґрунт; шаруватий ґрунт; концентрація; напір; осмос; інфільтрація

Keywords—mass transfer salt; moisture transfer; full and partial saturation soils; layered soils; concentration; pressure; osmosis; infiltration

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Проведено дослідження перенесення сольових розчинів під впливом інфільтративних та осмотичних процесів в насичено-ненасиченої шаруватому ґрунті при наявності вільної поверхні (рис. 1).

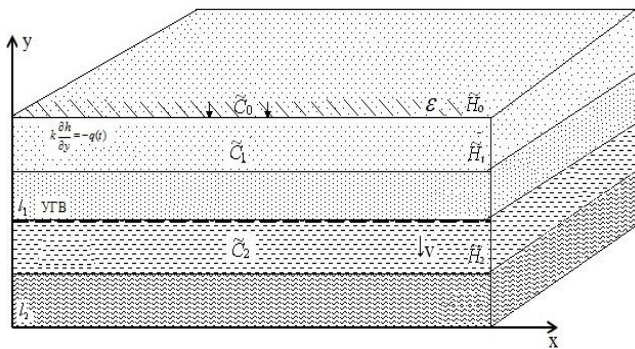


Рис. 1. Солеперенесення в шарах насичено-ненасиченого ґрунту

З атмосферними опадами та поливами на поверхню ґрунту потрапляють сольові розчини з концентрацією \tilde{C}_0 . В зв'язку з цим, на деякій глибині l_1 від поверхні ґрунту утворюється вільна поверхня рівня ґрунтових вод (РГВ). На глибині l_2 є фронт промочування, який вважається нерухомим.

Таким чином, у багатшаровому ґрунтовому середовищі сформувався дві області: неповного насичення ($P < 0$) – між поверхнею ґрунту і вільною поверхнею (РГВ), повного насичення ($P > 0$) – між вільною поверхнею і фронтом промочування. Розподіл концентрації солей в області неповного насичення в початковий момент часу – \tilde{C}_1 , в області повного насичення – \tilde{C}_2 . Розглядувана область насичено-ненасиченого ґрунту утворена шарами різного типу ґрунтів.

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ

Математична модель крайової задачі солеперенесення при вологоперенесенні в шарах $i = \overline{1, S}$ області неповного насичення описується наступною крайовою задачею [1-5]:

$$\frac{\partial \left(D_1^i(c_1^i) \frac{\partial c_1^i}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(D_1^i(c_1^i) \frac{\partial c_1^i}{\partial y} \right)}{\partial y} - v'_x(c_1^i) \frac{\partial c_1^i}{\partial x} - v'_y(c_1^i) \frac{\partial c_1^i}{\partial y} - \gamma_1(c_1^i - C^*) = \sigma_i \frac{\partial c_1^i}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\mu(h_1^i) \frac{\partial h_1^i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_1(c_1^i, h_1^i) \frac{\partial h_1^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_1(c_1^i, h_1^i) \frac{\partial h_1^i}{\partial y} \right) + f^1(x, y, h), \quad (2)$$

$$v'_x(c_1^i) = -k_1(c_1^i, h_1^i) \frac{\partial h_1^i}{\partial x} + v(c_1^i) \frac{\partial c_1^i}{\partial x}, \quad (3)$$

$$v'_y(c_2) = -k_1(c_1^i, h_1^i) \frac{\partial h_1^i}{\partial y} + v(c_1^i) \frac{\partial c_1^i}{\partial x},$$

$$h_1^i(x, y, 0) = \tilde{H}_0^i(x, y), \quad k \frac{\partial h_1^i}{\partial y} \Big|_{y=0} = -q(t), \quad (4)$$

$$h_1^i(0, y, t) = \tilde{H}_1^i(y, t),$$

$$c_1^i(x, y, 0) = \tilde{C}_0^i(x, y), \quad c_1(l_s, y, t) = \tilde{C}_1(y, t). \quad (5)$$

Математична модель задачі масоперенесення при фільтрації сольових розчинів в шарах $i = \overline{S+1, N}$ області повного насичення має вигляд [1, 2, 4-6]:

$$\frac{\partial \left(D_2^i(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(D_2^i(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial y} \right)}{\partial y} - v_x(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial x} - v_y(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial y} - \gamma_2(c_2^i - C^*) = \sigma_i \frac{\partial c_2^i}{\partial t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_2(c_2^i) \frac{\partial h_2^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_2(c_2^i) \frac{\partial h_2^i}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(v(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(v(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial y} \right) = 0, \quad (7)$$

$$v_x(c_2^i) = -k_2(c_2^i, h_2^i) \frac{\partial h_2^i}{\partial x} + v(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial x},$$

$$v_y(c_1) = -k_2(c_2^i, h_2^i) \frac{\partial h_2^i}{\partial y} + v(c_2^i) \frac{\partial c_2^i}{\partial y}, \quad (8)$$

$$h_2^i(x, y, 0) = \tilde{H}_0^i(x, y), \quad h_2^i(0, y, t) = \tilde{H}_1^i(y, t),$$

$$h_2(l_N, y, t) = \tilde{H}_2(y, t), \quad (9)$$

$$c_2^i(x, y, 0) = \tilde{C}_0^i(x, y), \quad c_2(l_N, y, t) = \tilde{C}_2(y, t). \quad (10)$$

На межі шарів ґрунту ($i = S$) областей повного та неповного насичення (кривій депресії) задаються умови спряження для напорів і концентрації сольових розчинів:

$$[h] \Big|_{x=l_i} = [c] \Big|_{x=l_i} = \left[cv - D(c) \frac{\partial c}{\partial x} \right] \Big|_{x=l_i} = 0. \quad (11)$$

В математичних моделях (1)-(5), (6)-(10), (11) використані такі позначення: $c_1^i(x, y, t)$, $c_2^i(x, y, t)$ – концентрації сольових розчинів в шарах областей повного і неповного насичення, C^* – концентрація граничного насичення, $D_1(c_1^i)$, $D_2(c_2^i)$ – коефіцієнти конвективної

дифузії, $k_1(c_1^i, h_1^i)$, $k_2(c_2^i, h_2^i)$ – коефіцієнти фільтрації, v_x' , v_y' , v_x , v_y – компоненти швидкостей фільтрації, h_1^i – напір вологи, h_2^i – п'єзометричний напір, $\mu(h_1^i)$ – коефіцієнт вологоємності, γ_1 , γ_2 – коефіцієнти масообміну, σ_i – пористість шарів ґрунту, $v_1(c_1^i)$, $v_2(c_2^i)$ – осмотичні функції, $f(t, x, h^i)$ – функція інфільтрації, $q(t)$ – потік вологи.

III. Розв'язування задачі

Чисельний розв'язок крайової задачі, описаної математичними моделями (1)-(5), (6)-(10), (11), знайдено методом скінченних різниць з використанням локально-одновимірного методу О.А. Самарського [6]. Згідно даного методу для розв'язання відповідних задач вологоперенесення (2), (4) та фільтрації сольових розчинів (7), (9) побудовано неявні різницеві схеми [6], для масоперенесення (1), (3), (5) та (6), (8), (10) – монотонні різницеві схеми [6, 7]. Положення вільної поверхні і межі промочування знайдено з використанням алгоритму, описаного в [7].

Висновки

В результаті програмної реалізації побудованого обчислювального алгоритму і проведення чисельних експериментів знайдено розподіл напорів вологи в шарах області неповного насичення, п'єзометричних напорів

сольових розчинів в області повного насичення шаруватого ґрунту, що дало можливість дослідити процес солеперенесення і встановити розподіл поля концентрації сольових розчинів в насичено-ненасиченому шаруватому ґрунті з врахуванням впливу процесів інфільтрації і осмотичних явищ.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] И.И. Ляшко, Л.И. Демченко, Г.Е. Мистецкий, Численное решение задач тепло- и массопереноса в пористых средах, К.: Наук. думка, 1991.
- [2] Р.З. Даутов, А.Г. Егоров, “Моделирование неустойчивости влагопереноса в ненасыщенных пористых средах”, *Исследования по прикладной математике*, вып. 1., с. 125-160, 2004.
- [3] А.П. Власюк, Т.П. Цветкова, “Математическое моделирование солепереноса при фильтрации и влагопереносе в насыщенно-ненасыщенных грунтах в случае увлажняющего режима”, *Инженерно-физический журнал*, Т. 88, №5, с. 1031-1042, 2015.
- [4] А.П. Власюк А.П., Т.П. Цветкова, “Математическое моделирование массопереноса при фильтрации и влагопереносе в насыщенно-ненасыщенных слоистых грунтах”, *XX Межд. конф. "Problems of decision making under uncertainties"*, Чешская республика, Брно, 2012, с. 152-153.
- [5] А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов, Теория тепло-массопереноса, М.: Госэнергоиздат, 1963..
- [6] И.В. Сергиенко, В.В. Скопецкий, В.С. Дейнека, Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах, К.: Наук. думка, 1991.
- [7] А.А. Самарский, Теория разностных схем, М.: Наука, 1989.
- [8] А.П. Власюк, О.П. Остапчук, О.М. Степанченко “Монотонна різницева схема для нелінійного одновимірного рівняння параболічного типу, що містить першу похідну”, *Вестник Киевского ун-та*, сер.: физ.- мат. науки, вып. 2, . 217-226, 2005.

Гістерезисна стратегія для систем з обмеженим числом повторних спроб

О.В. Прищепа
кафедра прикладної математики
Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна
o.v.pryshchepa@nuwm.edu.ua

Hysteresis strategy for retrial queue with limited number of retrials

Pryshchepa O.V.
Department of Applied Mathematics
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine,
o.v.pryshchepa@nuwm.edu.ua

Анотація—В роботі розглядається задача оптимального керування інтенсивністю вхідного потоку для багатоканальної системи з обмеженим числом спроб почати обслуговування. Для даної системи використовується гістерезисна стратегія керування. Знайдено ефективний алгоритм підрахунку стаціонарних ймовірностей та явний вигляд функціоналу якості в стаціонарному режимі.

Abstract—In this paper, an optimal control problem of rate of the input flow for retrial queue with limited number of retrials is considered. Hysteresis strategy for this system is used. The effective algorithm for stationary probabilities and explicit form of quality functional in the stationary regime are found.

Ключові слова—стохастична система з повторними викликами, процес обслуговування, стаціонарні ймовірності, гістерезисна стратегія, оптимізація

Key words—retrial queue, service process, stationary probabilities, hysteresis strategy, optimization

I. ВСТУП

В класичній теорії систем масового обслуговування, зазвичай, припускається, що вимога, яка надійшла в систему при зайнятості всіх каналів обслуговування, або стає в чергу та потім обслуговується відповідно до визначеної дисципліни, або ж залишає систему. Інколи нетерплячі вимоги залишають чергу, тоді вони вважаються втраченими назавжди. Таким чином, класичні моделі теорії масового обслуговування не беруть до уваги можливість повторного звернення вимог до системи та не

можуть використовуватися для розв'язку практично важливих задач. Саме тому, слід розглядати системи масового обслуговування з повторними викликами, в яких вимоги, що надійшли до системи при зайнятості всіх каналів обслуговування, повертаються після деякого періоду часу, щоб отримати обслуговування. Особливе значення такі системи мають для комп'ютерних та телекомунікаційних мереж. Більш детально порівняльний аналіз класичних систем та систем з повторними викликами проведено в роботах [1], [2]. При цьому для систем з повторними викликами покладають, що повторне звернення здійснюється до тих пір, поки вимога не отримає обслуговування. Це є лише наближенням реальних ситуацій, тому що число повторних звернень до системи часто буває обмеженим (див. [3]). Дослідження систем з обмеженим числом повторних спроб отримати обслуговування є досить актуальним на даний час, особливо з точки зору оптимізації їх роботи.

II. МАРКОВСЬКА МОДЕЛЬ

В роботі, що пропонується розглядається багатоканальна система масового обслуговування з однією спробою повтору. Це означає, що вимога, яка отримала відмову, залишає систему та має можливість повторно звернутися для обслуговування лише один раз через деякий випадковий проміжок часу, який має показниковий розподіл з параметром V . Якщо при повторному зверненні всі прилади є зайняті, то вимога залишає систему назавжди. Ззовні вимоги надходять до системи з

$$F_j(2) = \left\{ I - \sum_{k=j}^{H_2} \left(\prod_{i=j}^{k-1} A_i^{-1}(2) B_i(2) \right) A_k^{-1}(2) C_k(2) \right\} \times \\ \times \left[I + \sum_{k=H_1+1}^{H_2} \left(\prod_{i=H_1+1}^{k-1} A_i^{-1}(2) B_i(2) \right) A_k^{-1}(2) C_k(2) \right]^{-1} \times \\ \times \prod_{i=H_1+1}^{j-1} A_i^{-1}(2) B_i(2) \left\{ \prod_{i=j}^{N-1} A_i^{-1}(2) B_i(2) \right\}, j = H_1 + 1, \dots, N - 1.$$

Покладемо $F_N(2) = I = \|\delta_{ij}\|_{i,j=0}^c$ – одинична матриця.

Для стаціонарних ймовірностей $\pi_{ij}(r)$ справедливий наступний результат.

Теорема 1. Якщо параметри моделі типу $M/M/c/N$ з однією спробою повтору є невироджені $h_1, h_2, \mu, \nu > 0$, то для процесу обслуговування $Q(t, H_1, H_2)$, $t \geq 0$ існує стаціонарний режим і стаціонарні ймовірності мають вигляд:

$$\pi_j(1) = \pi_{0N}(2) F_j(1) F_{H_1+1}(2) D^{-1} e_0(c+1), j = 0, 1, \dots, H_2,$$

$$\pi_j(2) = \pi_{0N}(2) F_j(2) D^{-1} e_0(c+1), j = H_1 + 1, \dots, N,$$

де

$$\left(\pi_{0N}(2) \right)^{-1} = e^T(c+1) \times \\ \times \left(I + \sum_{j=0}^{H_2} F_j(1) F_{H_1+1}(2) + \sum_{j=H_1+1}^N F_j(2) \right) D^{-1} e_0(c+1).$$

IV. ОПТИМІЗАЦІЙНА ЗАДАЧА

В роботі розглядається оптимізаційна задача

$$C_1 S_1(H_1, H_2) + C_2 S_2(H_1, H_2) - \\ - C_3 S_3(H_1, H_2) - C_4 S_4(H_1, H_2) \rightarrow \max \quad (1) \\ H_1, H_2 \in \{0, 1, \dots\}, H_1 \leq H_2,$$

де $S_1(t, H_1, H_2)$ – число викликів, обслуговування яких завершено в системі за час t в першому режимі; $S_2(t, H_1, H_2)$ – число викликів, обслуговування яких завершено в системі за час t в другому режимі; $S_3(t, H_1, H_2)$ – число викликів, які отримали відмову в обслуговуванні і стали повторними викликами; $S_4(t, H_1, H_2)$ – число перемикань інтенсивності вхідного потоку; C_1 – прибуток, пов'язаний з обслуговуванням одного виклику в першому режимі; C_2 – прибуток, пов'язаний з обслуговуванням одного виклику в другому

режимі; C_3 – штраф за відмову в обслуговуванні; C_4 – штраф за перемикання інтенсивності вхідного потоку.

В умовах існування стаціонарного режиму функціонали $S_i(H_1, H_2)$, $i = \overline{1, 4}$ існують і можуть бути виписані через стаціонарні ймовірності:

$$S_1(H_1, H_2) = \sum_{i=0}^c \sum_{j=0}^{H_2} i \mu \pi_{ij}(1),$$

$$S_2(H_1, H_2) = \sum_{i=0}^c \sum_{j=H_1+1}^{\infty} i \mu \pi_{ij}(2),$$

$$S_3(H_1, H_2) = \sum_{j=0}^{H_2} h_1 \pi_{cH_2}(1) + \sum_{j=H_1+1}^{\infty} h_2 \pi_{cH_2}(2),$$

$$S_4(H_1, H_2) = h_1 \pi_{cH_2}(1) + (H_1 + 1) \nu \sum_{i=0}^c \pi_{iH_1+1}(2).$$

Розв'язком задачі (1) є такі пороги H_1, H_2 , які максимізують середній прибуток від роботи системи. Подібні оптимізаційні задачі для систем з повторними викликами розглядалися в роботах [4]-[6].

ВИСНОВОК

В даній роботі проведено дослідження системи з обмеженнями на число повторних спроб при керуванні інтенсивністю вхідного потоку в класі гістерезисних стратегій. Для даного типу керування знайдено ефективний алгоритм підрахунку стаціонарних ймовірностей та явний вигляд залежності функціоналу якості від параметрів системи в стаціонарному режимі, що дає алгоритм розв'язку відповідної оптимізаційної задачі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Artalejo J.R., Gómez-Corral A. Retrial Queueing Systems. A Computational Approach. - Springer, 2008. - 318 p.
- [2] Falin G. I. and Templeton J. G. C. Retrial queues. - London: Chapman & Hall, 1997. - 328 p.
- [3] Shin Y.W., Moon D.H. Retrial queues with limited number of retrials: numerical investigations. In: The seventh international symposium on operations research and its applications (ISORA'08), Lijiang, China; October 31-November 3, 2008, pp. 237-247.
- [4] Дудин А.Н., Клименок В.И. Оптимизация динамического управления входной нагрузкой в узле информационно-вычислительной сети. // Автоматика и вычислительная техника. - 1991. - № 2. - С. 25-31.
- [5] Лебедев Е.А., Пономарьов В.Д. Управление интенсивностью обслуживания в системах с повторными вызовами // Кибернетика и системный анализ. - 2011. - Вып. №3. - С. 118-126.
- [6] Пономарьов В.Д. Оптимізація інтенсивності обслуговування в системах з повторами і скінченним числом джерел вимог // Журнал обчислювальної та прикладної математики. Серія: оптимізація. - 2010. - Вып. № 2 (101). - С. 105-112.

Математичне моделювання при оптимізації телекомунікаційних мереж

Л.М. Колєчкіна

кафедра документознавства та інформаційної діяльності
в економічних системах інформатики
Полтавський університет економіки і торгівлі
Полтава, Україна
ludapl@ukr.net

О.С. Пічугіна

кафедра прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
pichugina_os@mail.ru

Mathematical modeling in optimization of telecommunication networks

L.M. Kolechkina

Department of Documentation and Information Activities
in IT Economic Systems
Poltava University of Economics and Trade
Poltava, Ukraine
ludapl@ukr.net

O.S. Pichugina

Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
pichugina_os@mail.ru

Анотація—В роботі представлено математичну модель двокритеріальної задачі оптимізації швидкості та якості передачі по телекомунікаційній мережі. Вона представляє собою лінійну умовну модель на композиційному образі загальної множини переставлень і булевої множини і може бути розв'язана як стандартними методами комбінаторної оптимізації такими як метод комбінаторних відсікань, так і графовими методами як задача оптимізації на структурному графі переставлень в поєднанні з графом гіперкубу.

Abstract—The paper presents a mathematical model of a two-criteria problem of optimization of speed and quality for information transmission in telecommunications networks. It is a constrained linear model over a composite image of the general permutation set and the boolean set. It can be solved by standard combinatorial optimization techniques such as the combinatorial cutting method. Also, optimization on graphs is applicable in this case, since it is simulated on both - the structural permutation graph and the hypercube graph.

Ключові слова—телекомунікаційна мережа; передача інформації; якісний коефіцієнт завантаження мережі; структурний граф переставлень; загальна множина переставлень; булева множина, комбінаторна оптимізація.

Keywords—a telecommunications network; information transmission; the network load quality coefficient; the structural permutation graph; the general permutation set; the boolean set, combinatorial optimization.

I. ВСТУП

Створення ефективного інформаційного простору передбачає активне використання телекомунікаційних систем і мереж інформаційного обміну, широкомасштабну комп'ютеризацію процесів обробки інформації в усіх сферах діяльності. Інформаційна інфраструктура – це комплекс програмно-технічних засобів, організаційних систем і нормативних баз, який забезпечує організацію взаємодії інформаційних потоків, функціонування і розвиток засобів інформаційної взаємодії та інформаційного простору світу, континенту, країни, регіону чи організації [1-6].

Інформаційна інфраструктура включає в себе територіально розподілені державні та корпоративні комп'ютерні і телекомунікаційні мережі, системи конфіденційного призначення і загального користування, мережі та канали передачі даних, засоби комутації та управління інформаційними потоками.

Поява мобільного зв'язку та бездротових мереж істотно вплинула на організацію телекомунікаційних мереж і на сьогоднішній день мережі вони охоплюють величезні території з великим числом користувачів [1]. Серед багатьох вимог, що висувуються до бездротових мереж, основною є забезпечення високої продуктивності з гарантованою якістю обслуговування запитів користувачів. Сфера телекомунікацій є одним з найбільших секторів світової економіки, що динамічно

розвивається і формує передумови для подальшого розвитку інформаційного суспільства. Світова телекомунікаційна сфера надає широкий спектр сучасних телекомунікаційних і інформаційно-комунікаційних послуг, якісні характеристики яких відповідають потребам найвимогливіших споживачів. В той же час, розвиток сфери телекомунікацій, в свою чергу, значно впливає як на соціальний, так і на економічний розвиток багатьох країн. Отже, дослідження питань, пов'язаних з визначенням ступеня і закономірностей впливу розвитку телекомунікацій на розвиток економіки в цілому, актуальні.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В організації будь-якої телекомунікаційної мережі можна виділити рівні, які відокремлені територіально і взаємодіють між собою. В свою чергу, ці рівні системи можна розглядати як накладені мережі різних технологій.

Абсолютна більшість інформаційних потоків, що передаються в сучасних телекомунікаційних мережах, утворюють мультимедійний трафік. Він характеризується нерівномірністю надходження запитів на передачу потоків мультимедійної інформації, що призводить до виникнення як тимчасових перевантажень в мережі, так і інтервалів часу з недостатньою завантаженістю каналів [1]. Внаслідок цього, канали мережі використовуються недостатньо ефективно. Відомі різні методики кількісної оцінки ефективності використання каналів телекомунікаційної мережі [4, 11]. Їх аналіз свідчить про те, що вони не дозволяють точно визначити, наскільки раціонально використовується пропускна здатність каналів мережі. Тому ми вважаємо за доцільне знайти такий спосіб обчислення завантаженості каналу і якості передачі інформації, який відображав би реальну ефективність використання каналних ресурсів.

З цією метою розглянемо телекомунікаційну систему, що накопичує інформацію по предметних областях (порталах) і здійснює передачу інформації на сервери, робочі станції, термінали, тощо. Необхідно скласти такий план розподілу деякого об'єму інформації по предметних областях на порталах і її передачі, щоб мінімізувати сумарну швидкість її передачі на комп'ютери і максимізувати сумарний якісний коефіцієнт завантаження. При цьому необхідно врахувати: інтенсивність потоку запитів на передачу інформації по каналу телекомунікаційної мережі; середню швидкість передачі потоку інформації; дискретність обсягів інформації, що передається тощо.

Для вирішення даної проблематики в ряді робіт [10-11] пропонується використовувати математичну модель мережі, що представляє собою набір графів, які можуть відрізнятися як кількістю ребер і вершин, так і топологією графів в цілому. Відзначимо також, що в наведених роботах пропонується модель побудови телекомунікаційних мереж за умови, що місцезнаходження обладнання вузлів мережі, які забезпечують функціонування кожного з її рівнів, відоме.

Для побудови математичної моделі введемо необхідні позначення: визначимо m предметних областей (порталів) і позначимо їх множину $A_i, i \in J_m = \{1, \dots, m\}$. Нехай також, $I^k, k \in J_p$ - набір видів інформації. Вважаємо, що на кожному порталі A_i накопичено деяку невідому кількість g_i^k одиниць інформації виду I^k . При цьому інформація розподіляється між n персональними комп'ютерами (серверами, терміналами) $B_j, j \in J_n$.

Нехай відомі наступні параметри: а) g_{ij}^k - швидкість передачі одиниці інформації виду I_k з предметної області A_i на комп'ютер B_j ; б) d_{ij}^k - коефіцієнт якості відображення одиниці інформації виду I_k з предметної області A_i на комп'ютері B_j .

Потрібно скласти план розподілу інформації різних видів на порталах та передачі її на комп'ютери з метою мінімізації сумарного часу передачі і максимізації сумарного якісного коефіцієнта завантаження (під сумарним якісним коефіцієнтом завантаження будемо розуміти суму якісних коефіцієнтів завантаження кожної предметної області порталу.) та за умови виконання наступних умов:

а) невідомі величини g_i^k набувають дискретних значень із мультимножини $G = \{g_1, \dots, g_s\}, s = \text{mp} : g_i^k \in G, i, k$. Більш того, вони в цілому утворюють $G : \{g_i^k\}_{i,k} = G$;

б) весь обсяг інформації передається g_i^k на один з комп'ютерів;

в) обсяг потоку інформації, що передається по каналу «предметна область A_i - комп'ютер B_j » не перевищує заданої величини l_{ij}, i, j ;

г) в кожному комп'ютері B_j має зберігатися не менше заданої величини b_j^k інформації типу I_k, j, k ;

д) середня швидкість передачі потоку інформації обмежена величинами v_{\min}, v_{\max} .

III. Побудова математичної моделі

Для побудови математичної моделі задачі введемо в розгляд матрицю невідомих $g = (g_i^k)_{i,k}$, а також булеві змінні $y_{ij}^k : y_{ij}^k = 1$, якщо вся інформація з області A_k виду I^k передається на комп'ютер B_j , інакше 0. Тоді $g_i^k \cdot y_{ij}^k$ -

це обсяг інформації з області A_k виду I^k , що пересилається на B_j , тобто величина з мультимножини $G \cup \{0\}$ (i, j, k).

Наша задача полягає у визначенні матриць $\mathbf{g}, \mathbf{y} = (y_{ij}^k)_{i,j,k}$, які доставляють:

$$F_1(\mathbf{g}, \mathbf{y}) = \min_{\mathbf{g} \in R^s, \mathbf{y} \in R^t} \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m g_i^k \sum_{j=1}^n \frac{y_{ij}^k}{g_{ij}^k} \quad (1)$$

$$F_2(\mathbf{g}, \mathbf{y}) = \max_{\mathbf{g} \in R^s, \mathbf{y} \in R^t} \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m g_i^k \sum_{j=1}^n d_{ij}^k y_{ij}^k, \quad (2)$$

за наступних обмежень:

а) комбінаторна умова, яка враховує перестановочні властивості області допустимих розв'язки \mathbf{g} :

$$(g_1^1, \dots, g_m^1, \dots, g_1^p, \dots, g_m^p) \in E_{ss'}(G), \quad (3)$$

де s' - кількість різних елементів G , $E_{ss'}(G)$ - загальна множина s -перестановок з G [12];

б) умова булевості \mathbf{y} :

$$(y_{11}^1, \dots, y_{1n}^1, \dots, y_{m1}^p, \dots, y_{mn}^p) \in \{0, 1\}^t = B_t, \quad t = m \cdot n \cdot p, \quad (4)$$

і умова передачі інформації одного типу з порталу повністю:

$$\sum_{j=1}^n y_{ij}^k = 1, \quad i, k \quad (5)$$

в) обмеження на обсяги потоків інформації:

$$\sum_{k=1}^p g_i^k y_{ij}^k \leq l_{ij}, \quad i, j \quad (6)$$

г) умови на обсяги завантаження комп'ютерів інформацією відповідних типів:

$$\sum_{i=1}^m y_{ij}^k \geq b_i^k, \quad i, k \quad (7)$$

д) обмеження по середній швидкості передачі:

$$v_{\min}^{-1} \leq g_i^k / g_{ij}^k \leq v_{\max}^{-1}, \quad i, j, k \quad (8)$$

ВИСНОВКИ

Представлена модель (1)-(8) - двокритеріальна, умовна, лінійна, комбінаторна, що формулюється на декартовому добутку $E_{ss'}(G) \otimes B_t$ загальної множини перестановок і булевої множини. З її допомогою можна максимізувати швидкість пошуку потрібної інформації для користувача, забезпечуючи при цьому її якість та ефективне використання ресурсів мережі.

До її розв'язання можна застосувати методи векторної оптимізації, зокрема метод згортання критеріїв для зведення задачі до умовної лінійної моделі на $E_{ss'}(G) \otimes B_t$. Далі задача може розв'язуватися методами умовної комбінаторної оптимізації або на графовими методами [10].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Koliechkina L. N., Dvernaya O. A., Nagornaya A. N. Modified Coordinate Method to Solve Multicriteria Optimization Problems on Combinatorial Configurations // Cybernetics and Systems Analysis. – No. 4, July–August, 2014, pp. 154–161.
- [2] Chiang M. Balancing Transport and Physical Layers in Wireless Multihop Networks: Joint Optimal Congestion and Power Control / M. Chiang // IEEE Journal on Selected Areas in Commun. – Vol. 23, No. 1. – 2005. – P. 104-116.
- [3] Skalli H. Channel Assignment Strategies for Multiradio Wireless Mesh Networks: Issues and Solutions / H. Skalli, S. Ghosh, S.K. Das, L. Lenzi, M. Conti // IEEE Comm. Magazine. – 2007. – Vol. 45, No. 11. – P. 86-95.
- [4] Singh K. Review on Routing Protocols in Wireless Mesh Networks / K. Singh, S. Behal // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM). – 2013. – ol. 2, Iss. 2. – P. 143-149.
- [5] Агеев Д.В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 2 (2). – С. 7 – 22.
- [6] Агеев Д.В. Представление модели в виде многослойного графа для решения задач планирования инфокоммуникационной системы с учетом структурированной кабельной системы [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 3 (12). – С. 16 – 26.
- [7] Гаркуша С.В. Обзор та класифікація протоколів маршрутизації в mesh-мережах стандарту IEEE 802.11 // Збірник наукових праць ВПІ НТУУ „КПІ”. – 2012. – № 1. – С. 14-23.
- [8] Поповский В.В., Лемешко А.В., Евсеева О.Ю. Симплициальная модель оценки структурной сложности телекоммуникационных систем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – Вып. 5 (5). – С. 48-51.
- [9] Гаркуша С.В. Особенности использования гиперграфов при моделировании многоканальных mesh-сетей стандарта IEEE 802.11 // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2013. – Вып. 175. – С. 160-169.
- [10] Донець Г.П., Колечкіна Л. М. Екстремальні задачі на комбінаторних конфігураціях. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – 309 с.
- [11] Семенова Н. В., Колечкіна Л. Н., Нагорная А. Н. Подход к решению векторных задач дискретной оптимизации на комбинаторном множестве перестановок // Кибернетика и системный анализ – 2008. – № 3 – С. 158–172.
- [12] Стоян Ю. Г., Ємець О. О. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. - К.: Ін-т систем. досліджень освіти, 1993. -188 с.

Моделювання тертя у викривлених нафтовидобувних свердловинах

О.В. Євчук

кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій
та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
olga.yevchuk@gmail.com

В.А. Ровінський

кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
musicneutrino@gmail.com

Friction modeling in deviated oil wells

O.V. Yevchuk

Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olga.yevchuk@gmail.com

V.A. Rovinski

Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
musicneutrino@gmail.com

Анотація — Обґрунтовано необхідність врахування сухого та граничного тертя при моделюванні руху штангової колони у викривлених свердловинах. Запропоновано використовувати параметричну кубічну сплайн-інтерполяцію для оцінки просторової конфігурації штангової колони, що дозволить підвищити точність моделювання притискних сил між штанговою колоною та колоною НКТ.

Abstract — Taking into account dry and lubricated friction in modelling of rod string movement in deviated wells is demonstrated. Proposed parametric cubic spline interpolation for estimation of spatial configuration of rod string allows increasing of contact force modelling between rod string and tubing.

Ключові слова—викривлені свердловини, штангова глибинно-насосна установка, тертя, інтерполяція

Keywords—deviated wells, sucker-rod pumping unit, friction, interpolation

I. ВСТУП

Основними особливостями експлуатації штангових глибинно-насосних установок (ШГНУ) у викривлених свердловинах є підвищене тертя та наявність додаткових напружень згину на ділянках із значною кривиною стовбура свердловини, що призводить до пришвидшеного зносу штанг та з'єднувальних муфт, а за часту і до обривів штангової колони. Врахування цих факторів дозволяє

більш точно інтерпретувати дані динамометрії (вимірювання зусилля на полірованому штоку штангової колони), яка залишається основним методом отримання діагностичної інформації в задачах діагностики технічного стану штангової колони та ШГНУ в цілому.

Найчастіше тертя моделюється за допомогою коефіцієнта в'язкого тертя, що використовується у класичному рівнянні руху штангової колони [1]. Існує ряд досліджень, присвячених визначенню коефіцієнта тертя, де розглядається як виключно в'язке тертя [2], так і граничне (із змашуванням) та сухе тертя [3], де аналізується вплив на його величину різних факторів, зокрема і викривленості або куту нахилу стовбура свердловини та притискної сили між штанговою колоною та колоною насосно-компресорних труб. Подібна задача виникає також при моделюванні взаємодії бурильної та обсадної колони в процесі буріння свердловини [4], та для нафтовидобувних установок інших типів, зокрема гвинтових [5]. В рамках подібної моделі здійснюється розрахунок притискних сил по довжині стовбура свердловини, наприклад за допомогою числового моделювання методом кінцевих елементів [6].

II. ВИДИ ТЕРТЯ У ПІДЗЕМНІЙ ЧАСТИНІ ШГНУ

При русі штангової колони всередині колони насосно-компресорних труб (НКТ) штангової глибинно-насосної установки на штангову колону діють сили опору,

зумовлені наступними видами тертя (рис. 1): в'язке тертя між штанговою колоною та рідиною, що видобувається; тертя між штанговою колоною та колоною НКТ у зонах контакту між ними на викривлених ділянках стовбура свердловини; тертя у парі плунжер-циліндр глибинного насоса; тертя між сальником та полірованим штоком штангової колони. В останніх трьох випадках переважно діє граничне тертя, тобто тертя між двома твердими поверхнями у присутності змащувальної рідини в зазорі між ними. Сухого тертя зазвичай слід уникати, оскільки воно призводить до швидкого зносу поверхонь тертя. Тим не менше, на ділянках із значною викривленістю притискна сила між штанговою колоною та колоною НКТ досягає величин, які зумовлюють повне витіснення змащуючого шару рідини із зони контакту, що призводить до наявності сухого тертя і, як наслідок, швидкого зносу тіла штанг і з'єднувальних муфт.

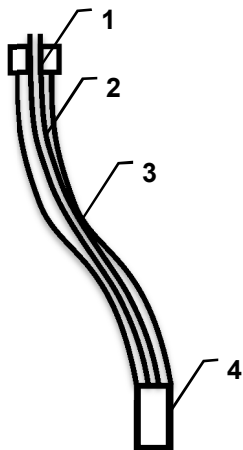


Рис. 1. Тертя у підземній частині ШГНУ: 1- у парі сальник-полірований шток; 2 – гідродинамічне; 3 – між штанговою колоною та колоною НКТ; 4 – у парі плунжер-циліндр

У вертикальних свердловинах та свердловинах з незначним кутом нахилу цілком допустимо враховувати в моделі руху штангової колони лише в'язке тертя, оскільки сухе та граничне тертя в цьому випадку обмежується лише парами полірований шток-сальник та плунжер-циліндр глибинного насоса і є незначними порівняно із в'язким тертям. Для суттєво викривлених свердловин систематична похибка, зумовлена фактичним моделюванням інших видів тертя як в'язкого, стає суттєвою, що призводить до спотворення форми плунжерної динамограми, що розраховується із наземної на основі моделі руху штангової колони.

В зв'язку з вищенаведеним виникає задача вдосконалення моделювання сил тертя при русі штангової колони у викривлених свердловинах, зокрема на основі інформації про геометричну конфігурацію стовбура свердловини за даними інклінометрії.

III. ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ПРОСТОРОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ШТАНГОВОЇ КОЛОНИ

Вихідною інформацією для розрахунку сил тертя між штанговою колоною та колоною НКТ є результати інклінометричних досліджень – дані про кут нахилу та

азимут у скінченній множині опорних точок по довжині стовбура свердловини. На даний час для визначення положення опорних точок та інтерполяції проміжних точок найчастіше використовується метод мінімальної кривини [7], що передбачає моделювання ділянок стовбура свердловини сегментами кола таким чином, щоб в опорних точках співпадали градієнти відповідних кривих. Таким чином отримується деяка крива $f(x,y,z) \in C^1$, тобто не гарантується неперервність кривини в опорних точках.

Пропонується використати параметричну кубічну сплайн-інтерполяцію:

$$x(t) = \overline{C}_x \cdot \overline{t}, y(t) = \overline{C}_y \cdot \overline{t}, z(t) = \overline{C}_z \cdot \overline{t},$$

$$\overline{t} = [1 \quad t \quad t^2 \quad t^3]$$

де t – параметр, що приймається рівним довжині кривої від гирла свердловини ($t=0$) до точки з координатами $[x(t), y(t), z(t)]$; $\overline{C}_x, \overline{C}_y, \overline{C}_z$ – вектори сплайн-коефіцієнтів, що обчислюються окремо і незалежно по кожній координаті. Оскільки дані інклінометрії, як правило, отримують через рівні проміжки саме по відстані від гирла свердловини, це дозволить спростити розрахунок сплайн-коефіцієнтів.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу особливостей тертя у викривлених свердловинах встановлено, що необхідно окремо враховувати сухе та граничне тертя в математичній моделі руху колони штанг. Запропоновано використання параметричної кубічної сплайн-інтерполяції для оцінки просторової конфігурації штангової колони ШГНУ. Підвищення точності інтерполяції форми штангової колони дозволить покращити точність розрахунку притискної сили в зонах контакту, що є одним із етапів визначення сил тертя, які діють на штангову колоною.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Gabor Takacs, "Sucker-Rod Pumping Handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping", Elsevier, 2015. – 598pp.
- [2] Z. Ma, S. L. Peng, Z. Z. Qu, J. Li, "The Detailed Calculation Model of the Friction between Sucker Rod and the Liquid in the Sucker Rod Pump Lifting System of Heavy Oil", Applied Mechanics and Materials, Vol. 694, pp. 346-349, 2014
- [3] Насосная добыча высоковязкой нефти из наклонных и обводненных скважин / К. Р., Богомольный, Е.И. Уразаков. - М. : Недра-Бизнесцентр, 2003. – 303с.
- [4] Салихов И.Ф. Расчет прижимающего усилия в скважине и экспериментальное обоснование его влияния на силу трения между горной породой и буровыми трубами в среде различных промысловых жидкостей // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. - 2016. - № 1. С.39-51
- [5] Уразаков К. Р., Латыпов Б. М., Исмагилов Р. Р. Экспериментальные исследования коэффициента трения элементов штанговой колонны винтовых насосных установок// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2015. №3. С.256–270
- [6] Minzheng Jiang, Yumiao Cai, Yu Lu and Dong Wang, 2013. Research on Wear Law of Rod String in Directional Well. Journal of Applied Sciences, 13: 4676-4680.
- [7] Ted G. Byrom, "Casing and Liners for Drilling and Completion", Elsevier, 2015. – 420pp.

Покращений степеневий метод знаходження найбільшого за модулем власного числа матриці

Я.І. Кость

кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій
Львівський національний університет імені Івана Франка
Львів, Україна
kostjerry@gmail.com

Improvement of the power method for eigenvalues

Y. Kost

Department of Radiophysics And Computer Technologies
Ivan Franko Lviv National University
Lviv, Ukraine
kostjerry@gmail.com

Анотація—Запропоновано покращення степеневого методу знаходження найбільшого за модулем власного числа матриці загального вигляду. Показано на прикладах, що метод працює ефективно для матриць із будь-яким набором власних чисел, що належать комплексній множині.

Abstract—An improvement of the power method for eigenvalues proposed. The efficiency of the method shown for any matrices with eigenvalues form the complex plain. Shown that power method is very appropriate for the use in adaptive solver for stiff systems.

Ключові слова—степеневий метод; найбільше за модулем власне число; комплексні власні числа матриці, жорсткість

Keywords—power method; max eigenvalue; complex eigenvalues, stiffness

I. Вступ

Вже віддавна в основі будь-якої природничої науки лежить експеримент. Він з'ясовує достовірність теоретичних знань, а також встановлює зв'язок із їхнім практичним застосуванням. Існує два основних способи проведення експерименту: фізичний та чисельний.

Часто чисельний експеримент зводиться до задачі Коші [1] – розв'язання системи диференціальних рівнянь (математичної моделі) на заданому проміжку із заданими початковими умовами.

У математичному моделюванні існує особливий клас задач, для розв'язання яких необхідно затратити невиправдано багато обчислювальних ресурсів. У цих

задачах присутні як швидкоплинні, так і повільні процеси. Проблема в тому, що швидкоплинні процеси (зазвичай, це перехідні процеси) накладають сильні обмеження на крок інтегрування. Після їхнього затухання, коли мають місце повільні процеси, крок інтегрування теоретично можна було б збільшувати. Проте, незавершені швидкоплинні процеси, які вже не дають видимого вкладу в розв'язок, вносять свою корективу у стійкість процесу інтегрування. Тобто, якщо проміжки, що повільно змінюються, інтегрувати з допомогою явних методів та пробувати збільшувати крок, то процес стає нестійким, розв'язки накопичують великі похибки і стають недостовірними. Таким чином, ділянки розв'язку, які повільно змінюються, вимагають від явних методів невиправдано, з точки зору задовільної точності, малого кроку. Такі задачі називають жорсткими [1].

Існує спеціальний клас методів для розв'язання жорстких задач, які, проте, не є ефективними для нежорстких випадків.

Цікавим є те, що жорсткість задачі може змінюватися у процесі інтегрування. Тому постає питання динамічного вибору класу методу інтегрування.

З літератури відомо [2-3], що в цьому може допомогти визначення найбільшого за модулем власного числа матриці Якобі лінеаризованої системи диференціальних рівнянь, яку інтегруємо. Оскільки в процесі інтегрування такі обчислення необхідно проводити багатократно, то метод знаходження найбільшого за модулем власного числа матриці має бути дуже швидким. Також наголосимо, що він не мусить бути точним, оскільки для перемикавання

методів інтегрування нам достатньо наближеної оцінки власного числа. Після огляду літератури наш вибір зупинився на ітераційних методах. Найшвидшим з них є степеневий.

II. ПОКРАЩЕНИЙ СТЕПЕНЕВИЙ МЕТОД

У найпростішому вигляді степеневий метод формулюється так:

$$y^{(k+1)} = Ay^{(k)}, \lambda_{\max}^{(k+1)} = \frac{y_j^{(k+1)}}{y_j^{(k)}} \quad (1),$$

де $y^{(k)}$ - k -те наближення власного вектора, $y_j^{(k+1)}$ і $y_j^{(k)}$ – відповідні компоненти векторів $y^{(k+1)}$ та $y^{(k)}$ (при цьому в якості номера j може використовуватися будь-яке число з діапазону $j = \overline{1, n}$), n - розмір вектора y .

Ось його переваги:

- простий у реалізації;
- ітераційний;
- швидкий.

Проте, є і недоліки:

- повільно збігається коли два найбільші за модулем власні числа близькі за значенням;
- потрібно задавати початкове наближення власного вектора;
- стандартний алгоритм степеневому методу не працює коли найбільше за модулем власне число комплексне.

В інтернеті у відкритому доступі є код програми на C++ [4] степеневому методу, який працює для випадків, коли матриця має комплексно-спряжені власні числа.

Тестування цього коду показало, що він має недолік. Метод не збігається у деяких випадках, коли найбільше за модулем власне число дійсне.

Після аналізу коду, у ньому було знайдено логічне недоопрацювання, яке полягає в неповному аналізі дискримінанта квадратного рівняння. Код було модифіковано і перевірено на тестових задачах.

III. ТЕСТУВАННЯ ПОКРАЩЕНОГО СТЕПЕНЕВОГО МЕТОДУ

Тестові задачі вибирались такими, щоб охопити всі варіанти матриць, які могли б вплинути на ефективність методу.

Тест №1. $\lambda_1 = -2, \lambda_2 = 3$.

Тест №2. $\lambda_1 = 1+i, \lambda_2 = 1-i$.

Тест №3. $\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 3$.

Тест №4. $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 1.001$.

Тест №5. $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 3$.

Тест №6. $\lambda_1 = -2, \lambda_2 = 2$.

Тест №7. $\lambda_1 = 10.08, \lambda_2 = -3.54+2.98i, \lambda_3 = -3.54-2.98i$.

Тест №8. $\lambda_1 = -0.08+14.59i, \lambda_2 = -0.08-14.59i, \lambda_3 = -0.83$.

Порівняння проводилось із готовою реалізацією [5] методу QR [6]. Він знаходить всі власні числа матриці загального вигляду та вважається одним із найкращих для розв'язання повної матричної проблеми. Для покращеного степеневому методу було задано похибку $\varepsilon = 10^{-2}$.

ТАБЛИЦЯ I. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ ПОКРАЩЕНОГО СТЕПЕНЕВОГО МЕТОДУ (PM) ПОРІВНЯНО ІЗ МЕТОДОМ QR

Тест №	PM, ітерацій	PM, збільшення швидкодії, у скільки раз	PM, відносна похибка $|\lambda_{\max}|$, %
1	1	4,2	0,00
2	1	2,0	0,00
3	0	5,9	0,00
4	1	2,5	0,00
5	1	4,2	0,00
6	1	4,7	0,00
7	4	1,9	0,05
8	2	3,6	0,10

З таблиці видно, що покращений степеневий метод дає значний вигравш у швидкодії порівняно з методом QR, зберігаючи розв'язки в межах допустимої похибки.

ВИСНОВКИ

Виправлено недолік у покращеному степеневому методі оцінки найбільшого за модулем власного числа матриці загального вигляду.

Показано, що покращений степеневий метод добре підходить для використання в адаптивному алгоритмі моделювання жорстких систем, що дає змогу оптимізувати витрати обчислювальних ресурсів в задачах математичного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] І.О. Хвищун, Програмування і математичне моделювання: Підручник, К.: Ін Юре, 2007.

[2] Е.А. Новиков, под ред. А.Н. Горбань., Явные методы для жестких систем, Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1997.

[3] Э. Хайрер, Г. Ваннер, Решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи, М.: Мир, 1999.

[4] Интернет ресурс: http://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/cpp_src/power_method/power_method.cpp

[5] Интернет ресурс: <http://www.alglib.net>

[6] Дж.Х. Уилкинсон, Алгебраическая проблема собственных значений, М.: Наука, 1970.

Mathematical model and solution algorithm for packing problem of convex polyhedra

Yuri Stoian

Department of Mathematical Modeling and Optimal Design,
Institute for Mechanical Engineering Problems, National Academy of Sciences of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
valikodoc@mail.ru

Математична модель та алгоритм розв'язання задачі упаковки опуклих багатогранників

Ю. Стоян

Відділ математичного моделювання та оптимального проектування,
Інститут проблем Машинобудування, Національна Академія Наук України,
Харків, Україна
valikodoc@mail.ru

Abstract—We study a packing problem of convex polyhedra into a container (rectangular, spherical or cylindrical) of minimal size. Continuous rotations and translations of polyhedra are allowed. We use radical free quasi-phi-functions and phi-functions to construct a mathematical model of the problem as NLP- problem. We also develop an efficient solution algorithm which allows us to reduce the problem dimension and computational cost. Several computational results are provided.

Keywords—packing, convex polyhedra, continuous rotations, non-overlapping, mathematical model, nonlinear optimization

Optimal packing problem has a wide spectrum of applications in modern biology, mineralogy, medicine, materials science, nanotechnology, robotics, power engineering, mechanical engineering, shipbuilding, aircraft construction, civil engineering, etc. At present, the interest in finding effective solutions for packing problems is growing rapidly. This is due to a large and growing number of applications and an extreme complexity of methods used to handle many of them. These problems are NP-hard [1], and, as a result, solution methodologies generally employ heuristics [2-3]. We consider a problem of packing a collection of a given non-identical convex polyhedra into a container (rectangular, spherical or cylindrical) of minimal size (volume, radius or homothetic coefficient).

Our approach is based on mathematical modeling of relations between geometric objects and thus reducing the packing problem to a nonlinear programming problem. To this end we use the phi-function technique [4] for analytic description of non-overlapping and containment constraints

taking into account their continuous rotations and translations. We apply the concept of phi-functions, extending their domains by including auxiliary variables. The new functions, called quasi-phi-functions [5], can be described by analytical formulas that are substantially simpler than those used for phi-functions, for some types of objects, in particular, for polyhedra.

One way to tackle the packing problem is use the existing phi-functions for rotating polyhedra. In the paper we propose alternative way to solve the problem which is based on quasi-phi-functions, is capable of finding a good local-optimal solution in reasonable computational time. The use of quasi-phi-functions, instead of phi-functions, allows us to simplify non-overlapping constraints, but there is a price to pay: now the optimization has to be performed over a larger set of parameters, including the extra variables used by our new functions, but this is a small price. We believe our quasi-phi-functions and our optimization algorithm described below are more flexible and efficient than other techniques.

We propose a mathematical model as a nonlinear programming problem by means of quasi-phi-functions and phi-functions and develop a solution algorithm, which involves a fast starting point algorithm and efficient local optimization procedures.

Our solution strategy involves the following steps:

1. Generate a number of starting points from the feasible region of our problem. We employ a new starting point algorithm.

2. Search for a local minimum of the objective function of our problem, starting from each point obtained at Step 1. We employ a special optimisation procedure – Local Optimization with Feasible Region Transformation.
3. Choose the best local minimum from those found at Step 2. This is our best solution of our problem.

We present our computational results for some new instances and several instances studied before. Figure 1 shows the local optimal placement of convex polyhedra in rectangular container found by our algorithm.



Fig.1. Local optimal placement of polyhedral rectangular container

Figure 2 shows the local optimal placement of convex polyhedra in cylindrical container found by our algorithm.



Fig.2. Local optimal placement of polyhedral cylindrical container

Figure 3 shows the local optimal placement of convex polyhedra in spherical container found by our algorithm.



Fig.3. Local optimal placement of polyhedral spherical container

CONCLUDING REMARKS

Using our radical free quasi-phi-functions and phi-functions we can develop exact nonlinear programming model for optimal packing of convex polytopes and applied our methodology to search for “good” local optimal solutions. The values of the objective function, as well as, the computational time reported in our paper for several examples is achieved presently, but we expect that it will be reduced in the future. The methodology may be extended for a case of non-convex polytopes.

REFERENCES

- [1] B. Chazelle, H. Edelsbrunner, L.J. Guibas, “The complexity of cutting complexes,” *Discr. & Comput. Geom.*, 1989, vol 4 (2), pp. 81–139.
- [2] J. Cagan, K. Shimada, S. Yin, “A survey of computational approaches to three-dimensional layout problems,” *Comp.-Aided Des.*, 2002, vol. 34, pp. 597–611
- [3] P. Sriramya, P.B. Varthini, “A State-of-the -Art Review of Bin Packing Techniques,” *Eur. J. Scien. Res.*, 2012, vol. 86 (3), pp. 360–364.
- [4] N. Chernov, Y. Stoyan, T. Romanova, “Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem,” *Comput. Geom.: Theory and Appl.*, 2010, № 43 (5), pp. 535–553.
- [5] Y. Stoyan, A. Pankratov, T. Romanova, “Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses,” *J. of Glob. Optim.*, 2015, DOI: 10.1007/s10898-015-0331-2

Розробка Марковської Моделі для Оцінки Готовності Хмарної Інфраструктури

А. О. Ільків

кафедра програмного забезпечення
Національний університет
«Львівська політехніка»
Львів, Україна
ilkiv.anastasiya@gmail.com

О. В. Муляк

кафедра програмного забезпечення
Національний університет
«Львівська політехніка»
Львів, Україна
mulyak.oleksandr@gmail.com

Development of Markovian Chains for Estimating the Availability of IaaS in Clouds

A. Ilkiv

Department of Software Engineering
Lviv Polytechnic
National University
Lviv, Ukraine
ilkiv.anastasiya@gmail.com

O. Mulyak

Department of Software Engineering
Lviv Polytechnic
National University
Lviv, Ukraine
mulyak.oleksandr@gmail.com

Анотація—Хмарні обчислення є однією з нещодавно розроблених технологій для складних систем з широкомасштабним спільним використанням послуг, яка відрізняється від системи спільного використання ресурсів розподілених обчислень. Хмарні обчислення приваблюють своїх користувачів, надаючи додатки, платформи та інфраструктури без будь-яких початкових інвестицій, що є перевагою для невеликих організацій. Перевагою хмарних обчислень є простота доступу, що можна зробити за допомогою веб-браузера або навіть смартфона. У даній роботі запропонована модель оцінки готовності хмарної інфраструктури, у якій враховано наслідків відмови різних компонент сервера, наслідків відмови мережі і джерела живлення.

Abstract—Cloud computing is a recently developed new technology for complex systems with massive scale service sharing, which is different from the resource sharing of the grid computing systems. Cloud computing delights its users by providing applications, platforms and infrastructure without any initial investment. The realistic beauty of cloud computing is that there is no need for any sophisticated tool for access, web browser or even smartphone will do. Fault tolerance, reliability and availability in Cloud computing are critical to ensure correct and continuous system operation also in the presence of failures. In this thesis, we present an analysis of basic failures in Cloud, and availability model of the fault of Infrastructure as a Service (IaaS) in Clouds in the discrete-continuous stochastic system form. In this availability model we take into account the failure

behavior of various server components, failure behavior of network and power source as in typical Cloud computing infrastructure.

Ключові слова—Хмарні обчислення; Висока готовність; Відмовостійкість; Марковська модель

Keywords—Cloud computing; High availability; Fault-tolerance; Markov model

I. ВСТУП

Хмарні обчислення стають все більш популярним засобом постачання бізнес-послуг, які підтримуються сферою ІТ. Впровадження технологій хмарних обчислень є способом отримання доступу до динамічно масштабованого, віртуалізованого обчислювального середовища. Оптимальне ІТ-обладнання, програмне забезпечення, досвід і управління інфраструктурою ресурсів, які є недоступні з точки зору вартості, можуть бути швидко розгорнуті і легко масштабовані на основі хмарної інфраструктури. Процеси, додатки і служби можуть бути доступні на першу вимогу, незалежно від місця розташування користувача або пристрою. Постачальник хмарного сервісу несе відповідальність за середовище, так що організації можуть користуватися ресурсами протягом коротких проміжків часу без підтримки середовища, коли воно не використовується.

Основними перешкодами на шляху впровадження є надійність, безпека та ризики експлуатації. Надійність, а зокрема коефіцієнт готовності хмарної інфраструктури, яка визначається за формулою (1) є однією з важливих проблем, яка потребує уваги та досліджень.

$$K_g = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{рем}}; \quad (1)$$

де, $T_{сер}$ – середнє значення тривалості роботи системи до відмови, $T_{рем}$ – середнє значення тривалості ремонту системи.

Термін «висока готовність» [1] визначають як здатність ІТ-системи забезпечувати безперервне надання послуг. Це питання є проблемним в системах оскільки воно зосереджене на програмному забезпеченні. Відомі постачальники хмар мали справу із тимчасовою відсутністю зв'язку протягом декількох годин загалом. Тимчасова втрата працездатності хмарного сервісу, як зазначає Kishor Trivedi, призводить до значних фінансових втрат. В таблиці 1 наведено порівняння вартості однієї години простою системи в залежності від галузі використання хмарної інфраструктури.

ТАБЛИЦЯ 1. ВАРТІСТЬ ОДНІЄЙ ГОДИНИ ПРОСТОЮ

№	Галузь	Дол. США
1.	Брокерські операції	6 450 000, 00
2.	Операції з кредитними картками	2 600 000, 00
3.	eBay	225 000, 00
4.	Amazon.com	180 000, 00
5.	Сервіси доставки товарів	150 000, 00
6.	Центри он-лайн резервування авіабілетів	89 000, 00
5.	Мобільний зв'язок	41 000, 00

При аналізі типової структури [3] було виділено три основні частини хмарної інфраструктури проявлення відмов в яких призводить то тимчасової втрати працездатності. Критичний вплив на працездатність хмарної інфраструктури мають: відмови апаратних засобів серверної частини (центральний процесор, оперативна пам'ять, жорсткі диски, джерело живлення та мережа) та дефекти програмного забезпечення; відмови засобів комутації мережі в частині серверу, кластеру та Дата-центру (в кожному вузлі розміщений основний та резервний свіч); відмови джерела електроживлення в частині серверу, кластеру та Дата-центру (в кожному вузлі присутні дві незалежні електромережі та джерело безперебійного електроживлення).

При аналізі готовності хмарної інфраструктури в роботі [1, 3] автори розглядають всі перелічені вище аспекти. Проте визначення готовності системи проводиться на досить укрупненій моделі з рядом припущень, що не дозволяє проводити оцінку впливу кожного з компонентів на готовуість системи в цілому.

Огляд інформаційних джерел [2, 3, 6] показав, що питання оцінки значення коефіцієнту готовності хмарної інфраструктури є актуальним та потребує додаткових досліджень.

Поставлене завдання вирішується на основі створення моделі об'єкта у вигляді структурно-автоматної моделі [4] та автоматизацією визначення коефіцієнта готовності хмарної інфраструктури.

II. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ХМАРНОГО СЕРВІСУ ТА АНАЛІЗ ВІДМОВ

A. Структура системи хмарного сервісу

Архітектура системи хмарних послуг представлена на рис. 1, до складу якої входить система керування хмарою (СКХ) (Cloud Management System), яка визначається набором серверів (або централізованих, або розподілених). Система керування хмарою виконує чотири різні функції [2], як показано на рис. 1: керування чергою запитів, яка приймає запити на роботу від різних користувачів для хмарних сервісів; керування обчислювальними ресурсами (наприклад, ПК, кластери, суперкомп'ютери тощо) по всьому Інтернету; керування ресурсами даних (такими як бази даних, оприлюднена інформація, зміст URL тощо); планування запиту, поділ його на різні підзадачі і призначення підзадач до різних обчислювальних ресурсів, які можуть отримати доступ до різних ресурсів даних через Інтернет.

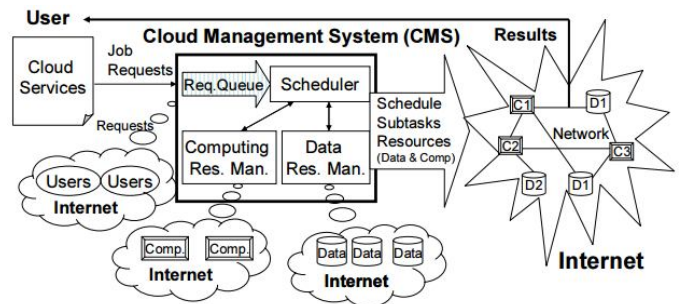


Рис. 1. Структура хмарного сервісу

B. Аналіз відмов хмарного сервісу

Як показано на рис. 1, існують різні типи відмов, які впливають на надійність та готовність хмарного сервісу, такі як переповнення, завершення часу очікування, нестача ресурсів даних, нестача обчислювальних ресурсів, прояв дефектів програмного забезпечення, відмова бази даних, відмова апаратного забезпечення та відмова мережі[2].

ТАБЛИЦЯ II. АНАЛІЗ ВІДМОВ

Тип відмови	Наслідки
Переповнення	Черга запитів повинна мати обмеження на максимальне число запитів, які очікують у черзі. Інакше, новим запитам доведеться чекати надто довго, що може призвести до відмов завершення часу очікування. Таким чином, якщо черга повністю заповнена, коли приходить новий запит, вона просто припиняє роботу і користувач не в змозі отримати сервіс.
Завершення часу очікування	Хмарний сервіс зазвичай має встановлений час завершення роботи. Якщо час очікування запиту в черзі є більший, ніж встановлений час завершення роботи, то виникає відмова

Тип відмови	Наслідки
	завершення часу очікування. Як результат, ці запити, на яких відбулась відмова, видаляються з черги, щоб не зашкодити наступним запитам.
Нестача ресурсів даних	У СКХ, менеджер ресурсів даних (DRM) реструє всі ресурси даних. Проте, є ймовірність, що деякі раніше зареєстровані дані будуть видалені, а DRM не буде оновлено. В результаті, якщо ці ресурси даних будуть призначені в певному запиті на роботу, вони спричинять відмову нестачі ресурсів даних.
Нестача обчислювальних ресурсів	Обчислювальні ресурси в хмарі це будь-яка фізична або віртуальна компонента. Ця відмова може виникати, наприклад, коли ПК вмикається, не повідомивши СКХ.
Відмова програмного забезпечення	Невдачі програмного забезпечення, які відбуваються через помилки або несподівані результати в програмах, що працюють на однакових або різних обчислювальних ресурсах.
Відмова бази даних	База даних, яка зберігає необхідні ресурси даних може відмовити у зв'язку з помилками при проектуванні, невдалими спробами підключитися до бази даних і виходу з ладу. Як наслідок, підзадачі під час роботи не можуть отримати доступ до необхідних даних.
Відмова апаратного забезпечення	Обчислювальні ресурси і ресурси даних володіють апаратним забезпеченням (наприклад, комп'ютери або сервери), яке може зіткнутися із відмовами апаратних засобів, наприклад, збій в запам'ятовуючих пристроях.
Відмова мережі	Коли підзадачі доступуються до віддалених даних, канали зв'язку можуть бути зламані фізично або логічно, що призводить до відмови роботи мережі.

III. НАДІЙНІСНА МОДЕЛЬ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Метод розробки надійнісної моделі хмарної інфраструктури у вигляді графа станів та переходів, описаний у монографії [4], передбачає формалізоване представлення об'єкта дослідження у вигляді структурно-автоматної моделі (САМ). Для побудови структурно-автоматної моделі необхідно виконати наступні завдання: сформувати вербальну модель об'єкту дослідження; визначити базові події; визначити компоненти вектора стану, якими можна описати стан системи в довільний момент часу; сформувати множину параметрів, якими можна описати систему; сформувати дерево правил модифікації компонент вектора стану.

A. Структурно автоматна модель хмарної інфраструктури

Відповідно до технології аналітичного моделювання [4] та на підставі визначених базових подій, визначених компонент вектора стану та параметрів, якими описується ПАС, проведено розробку дерева правил модифікації компонент вектора стану хмарної інфраструктури, фрагмент якого представлено в таблиці 3.

ТАБЛИЦЯ III. ДЕРЕВО ПРАВИЛ МОДИФІКАЦІЙ КОМПОНЕНТ ВЕКТОРА СТАНУ

Базові події	Опис ситуацій, в яких відбуваються базові події	Формула розрахунку інтенсивності базової події	Правило модифікації компонент вектора стану
1. Відмова ядра центрального процесора сервера	$(V1=1)$	$V1 \cdot \lambda_{CPU}$	$V1:=V1-1$
2. Відмова пам'яті сервера	$(V2=2)$	$V2 \cdot \lambda_{RAM}$	$V2:=V2-1;$ $V4:=V4+1$
3. Відмова жорсткого диску	$(V3>1)$	$V3 \cdot \lambda_{HDD}$	$V3:=V3-1$
4. Відмова ПЗ сервера	$(V4>0)$	$V4 \cdot \lambda_{SW}$	$V4:=V4-1;$ $V8:=V8+1$

15. Закінчення процедури перезавантаження ПЗ на сервері	$(V8>0)$	$(1/T_{res}) \cdot P_3$	$V4:=V4+1;$ $V8:=V8-1$
		$(1/T_{res}) \cdot P_B$	$V8:=V8-1$

На основі розробленої САМ та за допомогою проблемно-орієнтованого програмного засобу ASNA проводиться автоматизована побудова графу-станів та переходів, формується система диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, розв'язок якої забезпечує визначення готовності хмарної інфраструктури.

ВИСНОВКИ

В даній роботі представлена надійнісна модель хмарної інфраструктури з врахуванням: ненадійності апаратних засобів серверної частини (центрального процесора, оперативна пам'ять, жорсткі диски, джерело живлення та мережа) та прояву дефектів програмного забезпечення; відмови засобів комутації мережі в частині серверу, кластеру та Дата-центру (в кожному вузлі розміщений основний та резервний свіч); відмови джерела електроживлення в частині серверу, кластеру та Дата-центру (в кожному вузлі присутні дві незалежні електромережі та джерело безперебійного електроживлення).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] M. Armbrust, Armando Fox, ReanGriffith, Anthony D. Joseph, Randy Katz, Andy Konwinski, Gunho Lee, David Patterson, Ariel Rabkin, IonStoica, Matei Zaharia. "A view of cloud computing", Communications of the ACM, vol. 53, 2010, pp. 50-58.
- [2] Dai Yuan-Shun, Yang Bo, Dongarra Jack and Zhang Gewei, "Cloud Service Reliability: Modeling and Analysis" [Online]. Available <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/PAPERS/Cloud-Shaun-Jack.pdf>
- [3] Ravi Jhwar, Vincenzo Piuri. "Fault tolerance management in IaaS Clouds". in Proc. of First AESS European Conference on Satellite Telecommunications (ESTEL), Rome, Italy, 2012, pp. 1-6.
- [4] Волощій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б.Ю. Волощій. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.
- [5] Gurpreet Kaur, Rajesh Kumar, "A Review on Reliability Issues in Cloud Service". in Proc. of International Conference on Advancements in Engineering and Technology, Singapore, 2015, pp. 9-13.
- [6] B. Vani, R. Cynthia Monica Priya, "Availability in Cloud Computing". International Journal of Innovative Research in Information Security (IJIRIS), Issue 2, Volume 4, 2015, pp. 11-15.

Комп'ютерне моделювання кореляційної функції бета-розподілу для випадкових структур

А.С. Давидок

відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
davydoka@gmail.com

Simulation of correlation function of beta-distribution for random structures

A. Davydok

Department of mathematical modeling nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics,
Ukrainian Academy of Sciences Lviv, Ukraine
davydoka@gmail.com

Анотація—Одержано формулу кореляційної функції бета-розподілу в загальному випадку для випадково неоднорідних структур. Проведено комп'ютерне моделювання та визначений вплив параметрів розподілу на функцію кореляції та дисперсії, зокрема, для тіл з неоднорідностями зосередженими біля однієї з поверхонь або посередині тіла.

Abstract—The formula of correlation function of beta-distribution in the general case for random nonhomogeneous structures was obtained. Computer simulation was carried out and the influence of distribution parameters on the correlation function and dispersion was established, in particular for bodies with nonhomogeneities concentrated near one of the surfaces or in the middle of the body.

Ключові слова—бета-розподіл; функція кореляції; дисперсія; комп'ютерне моделювання; випадково неоднорідна структура

Keywords—beta-distribution; correlation function; dispersion; simulation; random nonhomogeneous structure

У випадках, коли невідомою є точна геометрична конфігурація багатофазних тіл, виникає необхідність розгляду параметрів середовища як стохастичних величин, що призводить до випадкового характеру досліджуваних фізичних полів. Тоді, щоб встановити основні особливості досліджуваного явища, як правило, застосовують метод стохастичного усереднення. Внаслідок згладжування окремих реалізацій отримані статистичні характеристики можуть суттєво різнитись від реалізації структури середовища, при цьому повна статистика містить всю інформацію про

динамічну систему. Як правило, на практиці знаходять тільки перші статистичні характеристики, які пов'язані з одноточковими розподілами ймовірностей. У праці [1] запропоновано підхід до математичного опису дисперсії та функції кореляції (автокореляції) поля концентрації у випадково неоднорідних шаруватих структурах із заданим розподілом фаз. При отриманні відповідних формул використано подання випадкового поля у вигляді ряду Неймана [1, 2], що дало можливість визначити другі моменти поля через функцію кореляції фаз.

Випадкові структури можуть мати різний характер розташування неоднорідностей. На рис. 1 показано приклади одновимірних за просторовою координатою неоднорідних структур (внаслідок симетрії за двома іншими координатами), у яких розташування включень можна описати ймовірнісним бета-розподілом.

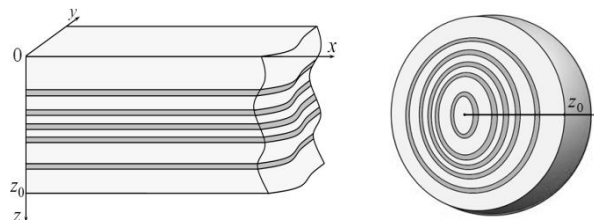


Рис. 1. Приклади випадкових структур, що описуються бета-розподілом

Проблема знаходження функції кореляції фаз у багатофазних випадково неоднорідних структурах також виникла при дослідженні парного взаємовпливу шаруватих

включень на усереднений дифузійний потік [3]. Зокрема, для випадку структури з областю ймовірного розташування включень біля верхньої границі тіла, що описується частковим випадком бета-розподілу включень, відповідна функція кореляції фаз у літературі відсутня. Тому в даній роботі отримано кореляційну функцію бета-розподілу та досліджено закономірності її поведінки.

Функція густини β -розподілу в загальному випадку має вигляд [4]

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{z_0}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{x}{z_0}\right)^{\beta-1}, & x \in [0; z_0]; \\ 0, & x \notin [0; z_0], \end{cases} \quad (1)$$

де $\Gamma(t)$ – гама-функція, α, β – ступені вільності.

Кореляційна функція. Для бета-розподілу випадкових величин на відрізку $[0; z_0]$ (рис. 1) двоточкова функція кореляції фаз визначається через функцію двовимірного спільного розподілу випадкових величин $w_2(x, y)$ [4] наступним чином [5-7]

$$\psi(x, y) = \frac{\iint_V z_i z_j w_2(x, y) dz_i dz_j}{(V)^2}, \quad x, y \in [0; z_0], \quad (2)$$

де $\psi(x, y)$ – функція кореляції, V – об'єм усього тіла, z_i, z_j – просторові координати.

Функція густини імовірнісного двовимірного β -розподілу Джоунса має вигляд [8]:

$$w_2(x, y) = \frac{\Gamma(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)}{\Gamma(\beta_1)\Gamma(\beta_2)\Gamma(\beta_3)} \left(\frac{x}{z_0}\right)^{\beta_1-1} \left(\frac{y}{z_0}\right)^{\beta_2-1} \left(1 - \frac{x}{z_0}\right)^{\beta_2 + \beta_3 - 1} \times \left(1 - \frac{y}{z_0}\right)^{\beta_1 + \beta_3 - 1} \left(1 - \frac{xy}{z_0^2}\right)^{-(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)}, \quad (3)$$

де $\Gamma(x)$ – гама-функція, $\beta_1, \beta_2, \beta_3 > 0$ – ступені вільності ймовірнісного розподілу, $0 \leq x, y \leq z_0$.

Проведено комп'ютерне моделювання та встановлено залежність функції кореляції від параметрів розподілу. Встановлено, що зміна ступенів вільності впливає як на величину, так і на поведінку функції кореляції (рис. 2).

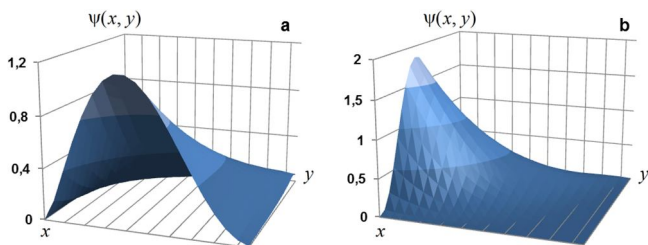


Рис. 2. Функція кореляції $\psi(x, y)$ для значень $\beta_1 = 1, \beta_2 = \beta_3 = 2,5$ (а) та $\beta_1 = \beta_3 = 3,5, \beta_2 = 1$ (б)

Розглянуто також наступні часткові випадки бета-розподілу за Джоунсом (3):

I. При $\beta_1 = \beta_2 = 1, \beta_3 \equiv \beta > 1$ функція густини (3) описує випадково неоднорідну структуру із областю найбільш ймовірного розташування неоднорідностей біля границі тіла (в околі точки) $z = 0$. Такій структурі відповідає також частковий випадок розподілу (1) при $\alpha = 1, \beta > 1$ (розподіл $f_1(x)$). Функція кореляції (2) у цьому випадку є такою

$$\psi_1(x, y) = A\beta(\beta + 1) \left(1 - \frac{x}{z_0}\right)^\beta \left(1 - \frac{y}{z_0}\right)^\beta \left(1 - \frac{xy}{z_0^2}\right)^{-(\beta+2)},$$

$$\text{де } A = \frac{\iint_V z_i z_j dz_i dz_j}{(V)^2}.$$

На рис. 3 наведено 3D і 2D графіки $\psi_1(x, y)$ для ступеня вільності $\beta = 2,5$ (рис. 3). Тут і далі $z_0 = 1$.

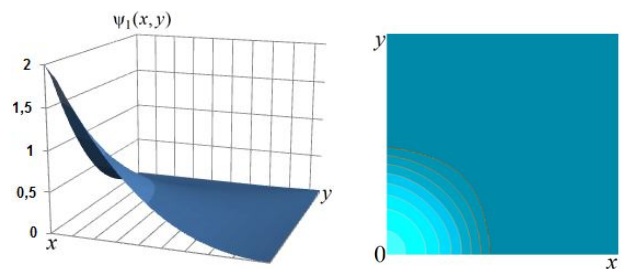


Рис. 3. Функція кореляції $\psi_1(x, y)$

Показано, що збільшення ступеня вільності β імовірнісного розподілу призводить до зростання функції кореляції $\psi_1(x, y)$, найбільше біля точки $(0; 0)$.

II. При $\beta_1 = \beta_2 \equiv \beta > 1, \beta_3 = 1$ функції густини двовимірного спільного бета-розподілу (3) відповідає стохастично неоднорідній структурі із областю найбільш ймовірного розташування включень біля поверхні тіла (в околі точки) $z = z_0$. Одновимірний бета-розподіл (1) відповідає такій структурі при $\alpha > 1, \beta = 1$ (розподіл $f_2(x)$). Функція кореляції є наступною

$$\psi_2(x, y) = A \frac{2\beta\Gamma(2\beta)}{\Gamma^2(\beta)} \left(\frac{xy}{z_0^2}\right)^{\beta-1} \left(1 - \frac{x+y}{z_0} + \frac{xy}{z_0^2}\right)^\beta \left(1 - \frac{xy}{z_0^2}\right)^{-(2\beta+1)}.$$

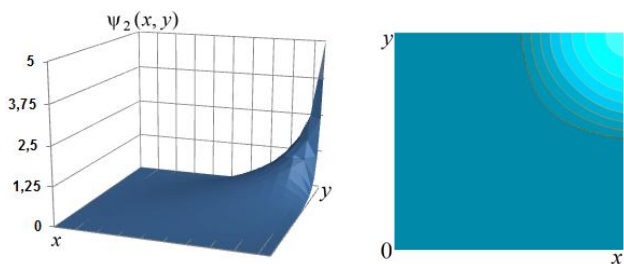


Рис. 4. Функція кореляції $\psi_2(x, y)$

Функцію кореляції $\psi_2(x, y)$ для ступеня вільності $\beta = 2,5$ проілюстровано на рис. 4. У цьому випадку збільшення ступеня вільності β призводить до зростання функції $\psi_2(x, y)$, найбільше в околі точки $(z_0; z_0)$.

III. При $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \equiv \beta > 2,5$ функція бета-розподілу (3) відповідає структурі із включеннями, сконцентрованими посередині інтервалу $[0; z_0]$. Цій структурі відповідає частковий випадок розподілу (1) при $\alpha = \beta > 1$ (розподіл $f_3(x)$), а функція кореляції задається виразом

$$\psi_3(x, y) = A \frac{\Gamma(3\beta)}{\Gamma^3(\beta)} \left(\frac{xy}{z_0^2} \right)^{\beta-1} \left(1 - \frac{x+y}{z_0} + \frac{xy}{z_0^2} \right)^{2\beta-1} \left(1 - \frac{xy}{z_0^2} \right)^{-3\beta}$$

Рис. 5 ілюструє функцію кореляції $\psi_3(x, y)$ при значенні ступеня вільності $\beta = 3$.

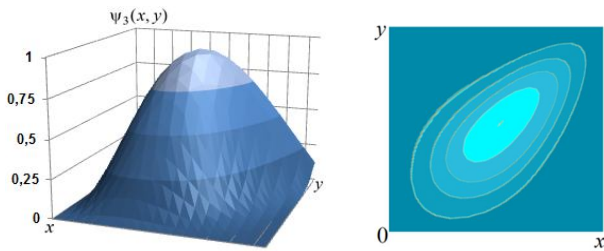


Рис. 5. Функція кореляції $\psi_3(x, y)$

Встановлено, що для цього випадку збільшення ступеня вільності також викликає зростання кореляційної функції, при цьому чим більших значень набуває параметр β , тим більше функція $\psi_3(x, y)$ наближається до симетричного вигляду.

Дисперсія. З означення випливає, що дисперсія випадкової величини σ^2 є одноточковою функцією кореляції. Тоді для бета-розподілу маємо

$$\sigma^2(x) = \psi(x, x) = A \frac{\Gamma(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)}{\Gamma(\beta_1)\Gamma(\beta_2)\Gamma(\beta_3)} \left(\frac{x}{z_0} \right)^{\beta_1 + \beta_2 - 1} \times \left(1 - \frac{x}{z_0} \right)^{\beta_1 + \beta_2 + 2\beta_3 - 2} \left(1 - \frac{x^2}{z_0^2} \right)^{-(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)}$$

На рис. 6-8 подано розподіли густини одновимірного бета-розподілу (рис. а) та дисперсії (рис. б) для структури

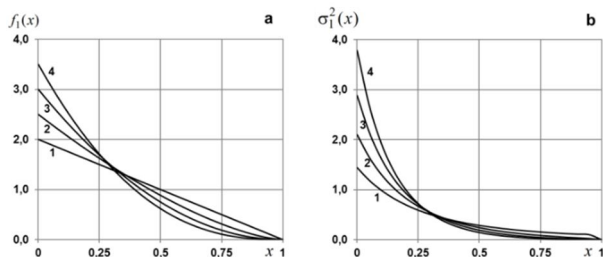


Рис. 6. Густина розподілу $f_1(x)$ (а) та дисперсія $\sigma_1^2(x)$ (б)

із включеннями зосередженими біля верхньої границі тіла (рис. 6), біля нижньої поверхні (рис. 7) та посередині тіла (рис.8). Криві 1-4 побудовані для значень відповідного ступеня вільності 2; 2,5; 3; 3,5.

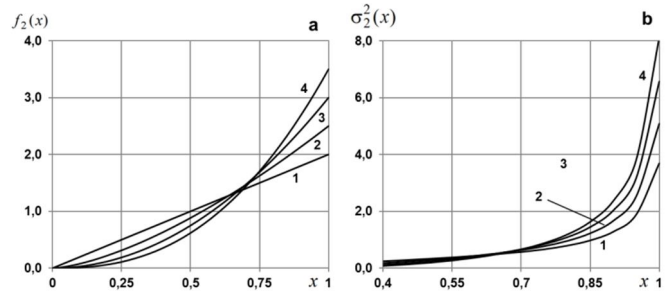


Рис. 7. Густина розподілу $f_2(x)$ (а) та дисперсія $\sigma_2^2(x)$ (б)

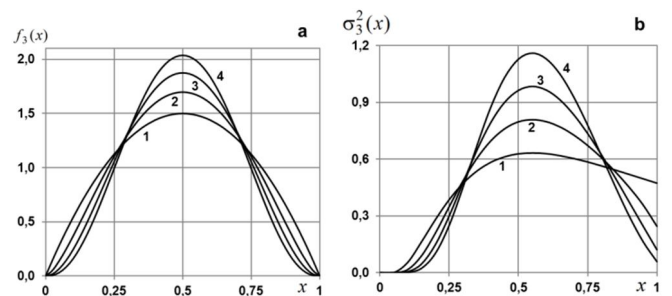


Рис. 8. Густина розподілу $f_3(x)$ (а) та дисперсія $\sigma_3^2(x)$ (б)

Встановлено, що як і для функції кореляції, збільшення ступеня вільності розподілу призводить до збільшення дисперсії біля відповідної границі, де сконцентровані неоднорідності, або в центрі відрізка $[0; z_0]$ для структури із включеннями розташованими посередині тіла.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ю. Білушак, С. Чапля, О. Чернуха, Двоточкова функція кореляції та дисперсія випадкового дифузійного поля концентрації в смузі з рівномірним розподілом шаруватих включень, Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології, 2012, Вип. 16, С. 7-22.
- [2] О.Ю. Чернуха, В.Є. Гончарук, А.Є. Давидок, Математичне моделювання процесів термодифузії розпадної речовини у стохастично неоднорідній шаруватій смузі, Математичні методи і фізико-механічні поля, 2014, Т. 57, № 3, С. 143-154.
- [3] Y. Chaplya, O. Chernukha, A. Davydok, Simulation of diffusion flows in two-phase multilayered stochastically nonhomogeneous bodies with non-uniform distribution of inclusions, Task Quarterly, 2015, Vol. 19, No. 3, pp. 321-351.
- [4] В. Королюк, Н. Портенко, А. Скороход, А. Турбин, Справочник по теории вероятности и математической статистике, М.: Наука, 1985.
- [5] С. Рытов, Введение в статистическую радиофизику, Ч. I. Случайные процессы, М.: Наука, 1976.
- [6] С. Рытов, Ю. Кравцов, В. Татарский, Введение в статистическую радиофизику. Ч. II. Случайные поля, М.: Наука, 1978.
- [7] А. Малахов, Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразования, М.: Советское радио, 1978.
- [8] R. Jacobs, A. Bekker, S. Human, Bivariate Beta Distributions and Beyond, Int. Statistical Inst.: Proc. 58th World Statistical Congress (Session CPS009), Dublin, 2011, pp. 3984-3990.

Комп'ютерне моделювання других моментів випадкового поля концентрації в півпросторі з ерлангівським розподілом шаруватих включень

Ю.І. Білушак

відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
byixx13@gmail.com

Simulation of the second moments of random field of concentration in a semispace with erlangian distribution of layered inclusions

Y. Bilushchak

Department of mathematical modeling nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, Ukrainian Academy of Sciences
Lviv, Ukraine
byixx13@gmail.com

Анотація—Робота присвячена математичному моделюванню процесів дифузії домішкової речовини у двофазному шаруватому півпросторі з урахуванням випадкового розташування підшарів та умов неідеального масового контакту на границях розділу фаз. Визначено дисперсію поля концентрації частинок та двоточкової функцію кореляції поля для процесу дифузії в шаруватому півпросторі з ерлангівським розподілом включень. Розроблено програмне забезпечення та визначений вплив характеристик середовища.

Abstract—The work is devoted to mathematical modeling admixture diffusion processes in a two-phase stratified semispace with allowance for random disposition of a sublayers and the condition of nonideal mass contact on interphases. Dispersion of the field of particle concentration is defined as well as a two-point function of field correlation for the diffusion process in the stratified semispace with exponential distribution of inclusions. Software is designed and influence of medium characteristics.

Ключові слова— математичне моделювання дифузії, шарувата структура, ерлангівський розподіл, дисперсія поля, функція кореляції

Keywords— mathematical modeling, diffusion, stratified structure, erlangian distribution, field dispersion, correlation function

I. ВСТУП

Математичний опис процесів дифузії базується на балансових співвідношеннях та законах Фіка, на основі яких формулюються крайові задачі. При цьому для багатофазних тіл не завжди відомі точні геометричні параметри внутрішньої структури [1]. Якщо невідомо розташування фаз в середовищі, то процеси, які протікають у таких тілах, розглядаються як випадкові. Якщо розміри включень є малими в порівнянні з розмірами тіла, їх кількість макроскопічна і ймовірнісний розподіл включень близький до рівномірного, то для опису процесів переносу у випадкових структурах можна застосовувати різні методи гомогенізації [2]. Для випадку довільних розмірів включень, в тому числі і співвимірних з розмірами тіла, розроблений підхід, який базується на зведенні крайової задачі до інтегро-диференціального рівняння, розв'язок якого знаходиться у вигляді ряду Неймана та усередненні його за ансамблем конфігурацій фаз. При цьому у збуреному операторі дифузії, і відповідно в операторі ядра інтеграль-

ного рівняння, скорочується похідна за часом. Крім цього на практиці зазвичай знаходять лише перші статистичні характеристики поля, які пов'язані з одноточковими розподілами ймовірностей. Тому в роботі узагальнено підхід до математичного опису дифузії у випадково неоднорідних шаруватих тілах для довільних розмірів включень за неідеальних умов контакту на концентрацію, а також запропоновано метод визначення дисперсії поля концентрації мігруючої речовини та двоточкової функції кореляції (автокореляції) поля.

II. МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВОГО ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ В ШАРУВАТОМУ ПІВПРСТОРИ

Нехай домішкові частинки мігрують у багат шаровому півпросторі, в якому розташування підшарів є невідомим. Вважаємо, що дифузійні властивості шарів (області Ω_0 і Ω_1 , рис. 1), можуть суттєво відрізнятися. Приймаємо, що розташування включень (рис. 1) порядковано ерлангівському розподілу $f(z)$ [3].

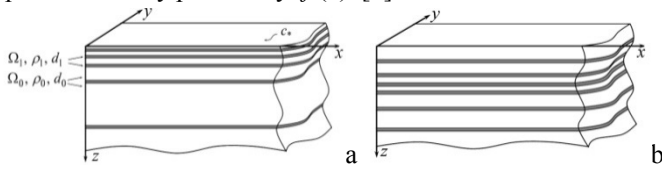


Рис. 1. Структура багат шарового півпростору для ерлангівського розподілу включень при ступенях вільності $n = 2$ (а) і $n > 2$ (б)

Процес дифузії домішки в таких тілах описується рівняннями дифузії, сформульованими для кожної з фаз:

$$\rho_j \frac{\partial c_j(z,t)}{\partial t} = d_j \frac{\partial^2 c_j(z,t)}{\partial z^2}, \quad z \in \Omega_j = \bigcup_{i=1}^{n_j} \Omega_{ij}, \quad j = 0, 1, \quad (1)$$

де $c_j(z,t)$ – випадкова концентрація; ρ_j – густина; d_j – кінетичний коефіцієнт переносу; n_j – кількість шарів фази j , Ω_{ij} – i -та однозв'язна область фази j , $i = \overline{1, n_j}$, $j = 0, 1$.

На поле $c(z,t)$ накладено такі крайові умови

$$c_0(z,t)|_{z=0} = c_1(z,t)|_{z=0} = 0, \quad (2)$$

$$c_0(z,t)|_{z=0} = c_* \equiv const, \quad c_0(z,t)|_{z \rightarrow \infty} = 0. \quad (3)$$

На міжфазних границях умови неідеального контакту для функції концентрації мають вигляд [1]:

$$k_0 c_0(z,t)|_{z=z_l-0} = k_1 c_1(z,t)|_{z=z_l+0},$$

$$\rho_0 d_0 \partial c_0(z,t) / \partial z|_{z=z_l-0} = \rho_1 d_1 \partial c_1(z,t) / \partial z|_{z=z_l+0}; \quad (4)$$

$$k_1 c_1(z,t)|_{z=z_l+h_{l1}-0} = k_0 c_0(z,t)|_{z=z_l+h_{l1}+0},$$

$$\rho_1 d_1 \partial c_1 / \partial z|_{z=z_l+h_{l1}-0} = \rho_0 d_0 \partial c_0 / \partial z|_{z=z_l+h_{l1}+0}, \quad (5)$$

де k_j – коефіцієнт концентраційної залежності хімічного потенціалу у фазі j , h_{l1} – товщина включення Ω_{l1} .

Значимо, що при такій постановці задачі (1)-(5) випадковими величинами є границі контакту $z = z_l$ та $z = z_l + h_{l1}$, тобто межі областей Ω_0 та Ω_1 , які є внутрішніми для тіла. Це, в свою чергу, призводить до стохастичності поля концентрації домішки, яка мігрує в тілі.

З допомогою апарату теорії узагальнених функцій контактна задача (1)-(5) зведена до рівняння масопереносу у всій області тіла, оператор якого явно враховує стрибки концентрації та її похідних на границях контакту. Отриманій крайовій задачі поставлено у відповідність еквівалентне інтегро-диференціальне рівняння, розв'язок якого побудований у вигляді інтегрального ряду Неймана:

$$c(z,t) = c_0(z,t) + \iint_{0,0}^{t,\infty} G(z,z',t,t') L_s(z',t') c_0(z',t') dz' dt' + \iint_{0,0}^{t,\infty} G(z,z',t,t') \times \\ \times L_s(z',t') \iint_{0,0}^{t',\infty} G(z',z'',t',t'') L_s(z'',t'') c_0(z'',t'') dz'' dt'' dz' dt' \dots, \quad (6)$$

де $c_0(z,t)$ – розв'язок однорідної задачі, $G(z,z',t,t')$ – функція Гріна,

$$L_s(z,t) = \rho_* \sum_i^{n_1} \eta_{i1}(z) \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \right\}_{z \in \Omega_{ij}} - d_* \sum_i^{n_1} \eta_{i1}(z) \left\{ \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right\}_{z \in \Omega_{ij}} - \\ - \sum_{j=0}^1 \sum_i^{n_1} d_j \eta_{ij}(z) \left[\sum_l^{n_1} [\partial / \partial z]_{z=z_l} \delta(z-z_l) - []_{z=z_l} \delta'(z-z_l) + \right. \\ \left. + \sum_l^{n_1} [\partial / \partial z]_{z=z_l+h_{l1}} \delta(z-(z_l+h_{l1})) - []_{z=z_l+h_{l1}} \delta'(z-(z_l+h_{l1})) \right],$$

де $\rho_* = \rho_0 - \rho_1$, $d_* = d_0 - d_1$, η_{ij} – функція структури.

Усереднення отриманого розв'язку проведено за ансамблем конфігурацій фаз з ерлангівською функцією розподілу.

Подання розв'язку у вигляді ряду Неймана (6) дозволяє знайти дисперсію поля концентрації для процесу дифузії в шаруватому півпросторі з ерлангівським розподілом фаз.

Дисперсія поля за означенням дорівнює

$$\sigma_c^2(z,t) = \langle c^2(z,t) \rangle - \langle c(z,t) \rangle^2.$$

Для середнього від добутку полів концентрації має місце співвідношення [3]

$$\langle c(z_1, t_1) c(z_2, t_2) \rangle = \langle c(z_1, t_1) \rangle \langle c(z_2, t_2) \rangle + \psi_c(z_1, t_1, z_2, t_2),$$

де $\psi_c(z_1, t_1, z_2, t_2)$ – функція кореляції (автокореляції) поля концентрації $c(z,t)$ в точках (z_1, t_1) і (z_2, t_2) [4].

Звідси можемо визначити функцію кореляції поля $\psi_c(z, t, z, t)$ тобто дисперсії в точці (z, t) :

$$\psi_c(z, t, z, t) = \langle c^2(z, t) \rangle - \langle c(z, t) \rangle \langle c(z, t) \rangle. \quad (7)$$

Тоді середнє від квадрату поля можемо записати як суму добутків середніх та відповідної функції кореляції:

$$\langle c^2(z, t) \rangle = \langle c(z, t) c(z, t) \rangle = \langle c(z, t) \rangle \langle c(z, t) \rangle + \psi_c(z, t, z, t).$$

Підставляємо у (7) вираз для поля $c(z,t)$ у вигляді ряду Неймана (6) і обмежуємося першими чотирма членами розкладу, тобто враховуємо не більше ніж парний взаємовплив підшарів, з яких складене тіло.

Враховуємо, що функція Гріна $G(z, z', t, t')$, оператор $\bar{L}_s(z, t)$ і поле концентрації домішки в однорідному тілі $c_0(z, t)$ є детермінованими, а отже є детермінованим вираз $\bar{L}_s(z, t) c_0(z, t)$; що усереднення проводимо за ансамблем конфігурацій фаз, тобто випадковою величиною є координати

ната «верхньої» межі включень z_{i1} . Інтегральні вирази, що входять в дисперсію і функцію кореляції поля, дозволяють подати добуток двох двократних інтегралів у вигляді одного чотирикратного інтеграла.

Також, вважаючи подання поля концентрації у вигляді ряду Неймана, визначено функцію кореляції (авто кореляції) поля концентрації домішки у двофазному тілі у двох точках (z_1, t_1) і (z_2, t_2) [5]

$$\Psi_c(z_1, t_1; z_2, t_2) = \langle c(z_1, t_1)c(z_2, t_2) \rangle - \langle c(z_1, t_1) \rangle \langle c(z_2, t_2) \rangle.$$

Тоді, оскільки

$$\left\langle \sum_{i=1}^{n_1} \eta_{i1}(z_1) \sum_{k=1}^{n_1} \eta_{k1}(z_2) \right\rangle = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} (\langle \eta_{i1}(z_1) \rangle \langle \eta_{k1}(z_2) \rangle + \Psi_\eta(z_1, z_2))$$

де $\Psi_\eta(z_1, z_2) = ((n\mu)^n / \Gamma(n))^2 (z'z'_1)^{n+1} e^{-n\mu(z'+z'_1)}$ - функція кореляції фаз ерлангівського розподілу, а n і μ - параметри цього розподілу, $\Gamma(n)$ - Гама функція, то отримаємо функцію кореляції поля концентрації в точках (z_1, t_1) і (z_2, t_2) для процесу дифузії домішкової речовини у двофазному випадково неоднорідному шаруватому тілі:

$$\Psi_c(z_1, t_1; z_2, t_2) = n_1^2 \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \iint_{(V)^2} G(z_1, z'_1, t_1, t'_1) G(z_2, z'_2, t_2, t'_2) \times \\ \times \bar{L}_s(z_1, t'_1) c_0(z_1, t'_1) \bar{L}_s(z_2, t'_2) c_0(z_2, t'_2) \Psi_\eta(z_1, z_2) dz_1 dz_2 dt'_1 dt'_2 \quad (8)$$

Тут $\bar{L}_s(\vec{r}, t) = \rho_* \partial / \partial t - d_* \partial^2 / \partial z^2$ - збурений оператор дифузії.

Таким чином ми отримали вираз (8) для функції кореляції поля концентрації домішкової речовини в двофазному багат шаровому тілі в точках (z_1, t_1) і (z_2, t_2) , який поданий через функцію кореляції фаз.

У випадку шаруватого тіла з ерлангівським розподілом фаз отримані розрахункові формули дисперсії поля та двоточкової функції кореляції поля концентрації домішкової речовини. Характерні розподіли $\Psi_c(z, t; z, t)$ наведені на рис. 2, рис. 3 та $\Psi_c(z_1, t_1; z_2, t_2)$ на рис. 4, рис. 5.

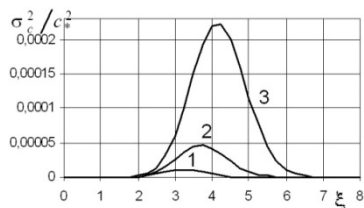


Рис. 2. Дисперсія поля концентрації в різні моменти безрозмірного часу $\tau = 0,3; 0,4; 0,5$ (криві 1-3) при $\mu = 0,5, n = 10$

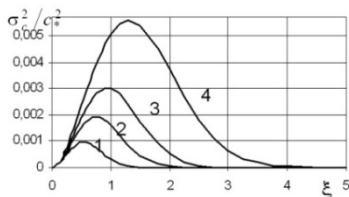


Рис. 3. Дисперсія поля концентрації в різні моменти безрозмірного часу $\tau = 0,2; 0,3; 0,4; 0,6$ (криві 1-4) при $\mu = 10, n = 1$ (а)

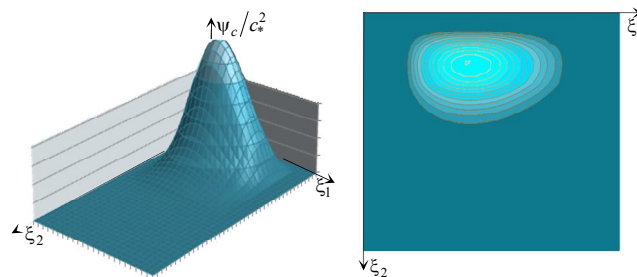


Рис. 4. Функція кореляції поля концентрації в момент часу $\tau_1 = 0,2; \tau_2 = 0,5$ при $\mu = 0,5, n = 10$

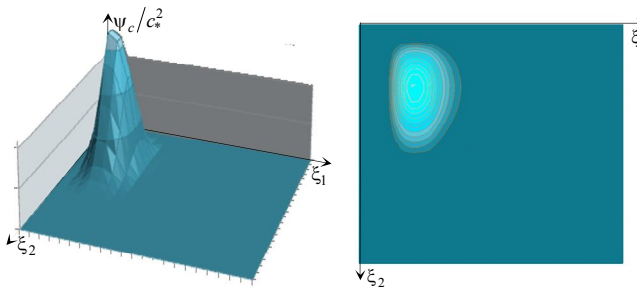


Рис. 5. Функція кореляції поля концентрації в момент часу $\tau_1 = 0,05; \tau_2 = 0,01$ при $\mu = 10, n = 1$

Від початку протікання процесу дифузії у випадковій шаруватій структурі, дисперсія поля концентрації починає зростати в околі поверхні, де діє джерело маси (рис. 2), а зі збільшенням μ цей максимум зсувається в глиб тіла (рис. 3). З ростом часової змінної функція кореляції різко зростає біля поверхні, де діє джерело маси. Рис. 4, 5. ілюструє появу максимуму функції $\Psi_c(z_1, t_1; z_2, t_2)$.

ВИСНОВКИ

Таким чином узагальнено підхід до математичного опису дифузії у випадково неоднорідних шаруватих тілах для довільних розмірів включень за неідеальних умов контакту на концентрацію, а також запропоновано метод визначення дисперсії поля концентрації мігруючої речовини та двоточкової функції кореляції (автокореляції) поля.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Є. Чапля, О. Чернуха, Математичне моделювання дифузійних процесів у випадкових і регулярних структурах. – Київ: Наукова думка, 2009. – 302 с.
- [2] Л. Хорошун, Н. Солтанов, Термоупругость двухкомпонентных смесей. – Киев: Наукова думка, 1984. – 112 с.
- [3] В. Корольок, Н. Портенко, А. Скороход, А. Турбин, Справочник по теории вероятности и математической статистике. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
- [4] С. Рыгов, Ю. Кравцов, В. Татарский, Введение в статистическую радиофизику. Ч. II. Случайные поля - М.: Наука, 1978. - 436 с.
- [5] Ю. Білушак, Моделювання других моментів випадкового поля концентрації в півпросторі з експоненціальним розподілом шаруватих включень // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського – 2014. - Вип. 6, (89) – С. 71-79.

Моделювання та дослідження термopружного стану термочутливого порожнистого циліндра за тепловідведення випаровуванням рідини

І. Ракоча

Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
iryana.i.rakocha@lpnu.ua

В. Попович

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
dept19@iapmm.lviv.ua

Modeling and investigation of thermostressed state of thermosensitive hollow cylinder during heat removal by the way of evaporation of liquid

Iryna Rakocha

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
iryana.i.rakocha@lpnu.ua

Vasyl Popovych

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics of National Academy of Science of
Ukraine, Lviv, Ukraine
dept19@iapmm.lviv.ua

Анотація—Сформульовано математичну модель та проілюстровано методику визначення усталеного теплового та напружено-деформованого станів тришарового термочутливого порожнистого циліндра, на одній з обмежувальних поверхонь якого відбувається конвективно-променевий теплообмін, а через іншу – тепловідведення шляхом випаровування рідини. При цьому прийнято, що у другому шарі циліндра наявні розподілені за параболічним законом джерела тепла, а між шарами виконуються умови ідеального теплового контакту. Досліджено вплив залежності термомеханічних характеристик матеріалів шарів від температури та інтенсивності випаровування на характер і рівень розподілу температури і напружень.

Abstract—On the example of the three-layered by axial coordinate cylinder the formulation of the mathematical model and the method of determination of steady-state distributions of temperature and stresses are illustrated. The heat flux is directed to one of the flat bounding surfaces, and the heat removal by liquid evaporation takes place on the another surface. It is assumed that in the second layer of cylinder there are heat sources distributed by parabolic law, and between layers the conditions of ideal thermal contact are performed. The effect of thermomechanical properties of materials of the cylinder

components depending on the temperature and evaporation intensity on the nature and level of temperature and stress distributions are investigated. It is shown, that neglecting the dependence of thermomechanical characteristics (the replacement for basic or average integral ones) causes the significant differences between the distributions of stress-strain state components in the thermosensitive and nonthermosensitive cylinders, which may lead to qualitatively different distributions (the compression in the thermosensitive and stretching in nonthermosensitive one).

Ключові слова—багатoshаровий циліндр, термочутливі матеріали, температура, напружено-деформований стан, тепловідведення, випаровування рідини

Keywords—multilayer cylinder, thermosensitive materials, temperature, stress-strain state, heat removal, evaporation of liquid

I. ВСТУП

Дослідження термopружного стану багатoshарових структур відіграє важливу роль в багатьох галузях техніки, зокрема, в елементах мікроелектроніки [8] при їх проектуванні та експлуатації. В них протікає електричний струм, результатом дії якого є неоднорідне виділення теп-

ла і значний рівень градієнтності температури. Надійність роботи таких елементів гарантує дотримання належного теплового стану, який можна спроектувати, виходячи з моделі термочутливого тіла, що передбачає врахування залежності теплових та механічних характеристик матеріалів шарів від температури.

У випадку, якщо температура багат шарового елемента перевищує критичну, необхідно швидко і ефективно її стабілізувати. Це можна здійснити за допомогою процесів тепловідведення кипінням чи випаровуванням рідин з обмежувальних поверхонь. Коли температура поверхні, через яку відводиться тепло не є такою, щоб забезпечити на ній кипіння рідини [2], або товщина плівки є доволі мала, то тепло передається через плівку рідини та відводиться з її поверхні в результаті випаровування [3].

Огляд досліджень термом'якого стану термочутливих тіл детально подано в роботі [9]. У працях [1, 4-7, 9] вказано на важливість врахування термочутливості матеріалів шарів при визначенні розподілу температури та напружень багат шарових конструкцій. Процес тепловідведення шляхом випаровування рідини з обмежувальних поверхонь описано в [3].

Тут ілюструємо моделювання та методику визначення і дослідження термом'якого стану термочутливих шаруватих тіл за тепловідведення шляхом випаровування рідини через обмежувальну поверхню.

II. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

Розглядається тришаровий безмежний термочутливий порожнистий циліндр, який складається із трьох циліндрів, виготовлених із різних матеріалів. Циліндр нагрівається наявним у першому та третьому шарах джерелами тепла. Через внутрішню обмежувальну поверхню $r=r_1$ відбувається конвективно-променевиий теплообмін із середовищем, температура якого $t=t_{c1}$, а на зовнішній $r=r_4$ – тепловідведення шляхом випаровування рідини. Коефіцієнти теплообмінів через ці поверхні сталі і рівні α_1 та α_3 відповідно. На межах дотику сусідніх шарів $r=\{r_2, r_3\}$ виконуються умови ідеального теплового контакту. Циліндричні поверхні кожної із складових є теплоізолюваними, а отже потік тепла через них відсутній.

За таких умов ставиться завдання визначити розподіл температури і компонент напружено-деформованого стану у циліндрі.

III. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ

Математична модель для визначення температури містить

- рівняння теплопровідності складових

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \lambda_t^{(i)}(t_i) \frac{dt_i}{dr} \right) = W^{(i)}(r) (\delta_{i1} + \delta_{i3}), r_i < r < r_{i+1}, i = \overline{1, 3};$$

- крайові умови на обмежувальних поверхнях

$$\left[\lambda_t^{(1)}(t_1) \frac{dt_1}{dr} - \alpha(t_1 - t_{c1}) - \sigma \varepsilon (t_1^4 - t_{c1}^4) \right]_{r=r_1} = 0,$$

$$\left[\lambda_t^{(3)}(t_3) \frac{dt_3}{dr} + \alpha(t_3 - t_{cn}) + m_{\text{evap}} \left(\frac{p_{A,\text{sat}}}{t_3} - \frac{p_{A,c}}{t_{cn}} \right) \right]_{r=r_4} = 0;$$

- умови ідеального теплового контакту складових циліндра

$$t_i \Big|_{r=r_{i+1}} = t_{i+1} \Big|_{r=r_{i+1}}, i = 1, 2,$$

$$\lambda_t^{(i)}(t_i) \frac{dt_i}{dr} \Big|_{r=r_{i+1}} = \lambda_t^{(i+1)}(t_{i+1}) \frac{dt_{i+1}}{dr} \Big|_{r=r_{i+1}}, i = 1, 2,$$

де δ_{ik} – символ Кронекера.

Метод побудови розв'язку [7] нелінійної задачі теплопровідності включає такі кроки:

- 1) обезрозмірення математичної моделі;
- 2) апроксимація експериментально заданих залежностей коефіцієнтів теплопровідності від температури;
- 3) здійснення перетворення Кірхгофа;
- 4) розв'язання отриманої задачі на змінні Кірхгофа;
- 5) здійснення оберненого перетворення Кірхгофа.

Зазначимо, що температурні залежності коефіцієнтів теплопровідності складових від температури подані у вигляді

$$\lambda_t^{(i)}(t_i) = \lambda_{t_0}^{(i)}(t_i) \lambda_{t_0}^{(i)}(T_i) = \lambda_{t_0}^{(i)} \left(1 + k_i (T_i - T_p) \right),$$

де k_i – задані сталі, а $\lambda_{t_0}^{(i)} = \lambda_{t_0}^{(i)}(t_p)$ – опорні значення коефіцієнтів теплопровідності.

IV. ВИЗНАЧЕННЯ КОМПОНЕНТ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Визначення компонент напружено-деформованого стану здійснено за методикою [7]. Отримані формули для обчислення напружено-деформованого стану справедливі тільки для тонких складових, тобто таких, для яких при обчисленні присутніх в інтегральних рівняннях інтегралів з задовільною для нас точністю справедлива формула трапецій

$$\int_{\rho_i}^{\rho} Y(\eta) d\eta = \frac{\rho - \rho_i}{2} (Y(\rho) + Y(\rho_i)).$$

Якщо ж циліндр містить тонкі і товсті складові, то кожному із товстих шарів ставимо у відповідність певну кількість тонких з одного і того ж матеріалу. Перевірку достатності розбиття товстих шарів на тонкі складові забезпечує виконання інтегральної умови

$$\rho_1^2 p_1 - \rho_{n+1}^2 p_2 = \sum_{k=1}^n \int_{\rho_k}^{\rho_{k+1}} \eta \sigma^{(k)}(\eta) d\eta,$$

де $\rho=r/l_0$, l_0 – деякий характерний розмір, p_1, p_2 – задані сталі тиски на внутрішній та зовнішній поверхнях циліндра, $\sigma^{(i)} = \sigma_r^{(i)} + \sigma_\varphi^{(i)}$ – сумарні напруження, n – кількість тонких шарів, які моделюють тришаровий циліндр.

ВИСНОВКИ

Отже, сформульовано нелінійну математичну модель для визначення температурного поля в тришаровому термочутливому порожнистому циліндрі за складного теплообміну. Побудовано розв'язок нелінійної задачі теплопровідності та визначено компоненти напружено-деформованого стану. Досліджено вплив термочутливості матеріалів шарів та інтенсивності випаровування рідини на характер і рівень розподілів температури, напружень, деформацій та переміщень.

Встановлено, що врахування термочутливості матеріалів шарів є вкрай важливим при визначенні розподілів компонент напружено-деформованого стану, оскільки нехтування термочутливістю може привести до великих кількісних і якісних (стиск в термочутливому і розтяг у нетермочутливому циліндрах, чи навпаки) розбіжностей.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] A. A. Yevtushenko, M. M. Kuciej, E. Och, Influence of thermal sensitivity of the pad and disk materials on the temperature during braking // Intern. comm. in heat and mass transfer – 2014. – 55 – P.84-92.
- [2] A. T. Komov, A physical model for prediction of critical heat fluxes in boiling in swirling subcooled flow under nonuniform heating // High Temp. – 2000. – 38, No. 3. – P. 502–506.
- [3] H. Honda, Theoretical study of evaporation heat transfer in horizontal microfin tubes: stratified flow model // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2001. – 47. – P. 3971-3983.
- [4] H. S. Carslaw, J. C. Jaeger, Conduction of heat in solids, Oxford: Clarendon Press. – 1959.
- [5] N. Noda, Thermal stresses in materials with temperature-dependent properties // In: Thermal Stresses I / R. B. Hetnarski (ed.). – Amsterdam: Elsevier Sci. Publ., 1986. – P. 391–483.
- [6] R. M. Kushnir, V. S. Popovych, Heat conduction problems of thermosensitive solids under complex heat exchange // In: Heat conduction – Basic research / V. S. Vikhrenko (ed.). – Rijeka: InTech (Croatia), 2011. – 350 p. – (Chap. 6. – P. 131–154.)
- [7] В. С. Попович, Б. М. Калиняк. Математичне моделювання та методика визначення статичного термопружного стану багатшарових термочутливих циліндрів // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 2014. — 57, №2. — С. 169-186.
- [8] Д. В. Федасюк, Методи та засоби теплового проектування мікроелектронних пристроїв. – Львів: Вид-во держ. ун-ту «Львів. політехніка», 1999. – 228 с.
- [9] Р. М. Кушнір, В. С. Попович, Термопружність термочутливих тіл. – Львів: Сполом, 2009. – 412 с. – Моделювання та оптимізація в термомеханіці електропровідних неоднорідних тіл / Під заг. ред. Я. Й. Бурака, Р. М. Кушніра: В 5 т. – Т. 3.

Математичне моделювання електромеханічних систем з автономним електроживленням

Г.Й. Боднар
кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
grigorijbodnar@gmail.com

Т.В. Гембара
кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
taras.gembara@gmail.com

О.В. Шаповалов
кафедра електротехніки, промислової автоматики та зв'язку
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
o1972@ukr.net

Mathematical modeling of electromechanical systems with independent power supplies

G.J. Bodnar
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
grigorijbodnar@gmail.com

T.V. Hembara
Department of Electrical Engineering, Industrial Automation and Communications
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
taras.gembara@gmail.com

O.V. Shapovalov
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
o1972@ukr.net

Анотація – Досліджено електропривід водяного насоса підвищувача тиску води системи внутрішнього протипожежного водопроводу, який живиться від резервного джерела з акумуляторними батареями і автономними інверторами напруги. Розроблена математична модель електроприводу та наведені результати моделювання електромагнітних та електромеханічних процесів в двигуні під час пуску і роботи насоса.

Abstract – Researched electric drive of water pump to increase water pressure of internal fire water supply, which is powered by redundant power with batteries and autonomous voltage inverter. The mathematical model of electric drive and presents the results of simulations of electromagnetic and

electromechanical processes in the engine during start-up and operation of the pump.

Ключові слова — автономне електроживлення, електропривід, математична модель, електромагнітні та електромеханічні процеси, акумуляторні батареї, водяний насос.

Keywords — autonomous power supply, electric drive, mathematical model, electromagnetic and electromechanical processes, rechargeable battery, water pump.

I. ВСТУП

Використання автономних джерел електроживлення в системах протипожежного захисту дає змогу підвищити їх

ефективність і надійність та забезпечити високий рівень протипожежного захисту об'єктів.

На рис.1 наведена блок-схема електроприводу насоса [1], де АБ1, АБ2, АБ3 – акумуляторні батареї, блок тиристорів (VS1, VS2, VS3); АІН1, АІН2 - трифазні автономні інвертори напруги; ТТ – трифазні трансформатори; АД – привідний асинхронний двигун; Н – насос; система керування. У схемі здійснюється перетворення напруги постійного струму АБ у трифазну змінну. Коефіцієнт гармонік напруги живлення АД становить 12%. У схемі передбачено ступінчасте керування процесом пуску АД за законом частотного регулювання.

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_2}{f_2} = \frac{U_3}{f_3} = const, \quad (1)$$

де U, f - відповідно напруга і частота живлення АД.

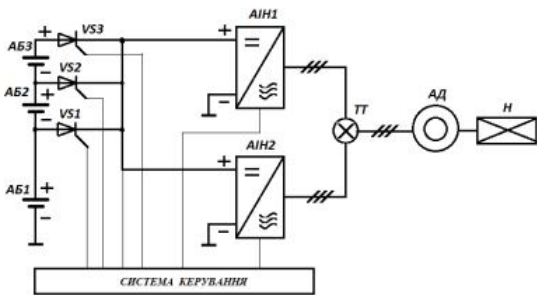


Рис. 1. Блок-схема електроприводу

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ

Для даної схеми на основі теорії математичного моделювання електромашинно-вентильних систем [2] розроблено математичну модель, яка дає змогу проводити дослідження електромагнітних і електромеханічних процесів в АД при пуску і роботі насоса. Ця модель формувалась з математичних моделей окремих елементів, серед яких: АБ, VS1, VS2, VS3, АІН1, АІН2, ТТ, АД, Н, система керування. Усі перелічені елементи представлені багатополіусниками, процеси в яких описуються замкненою системою рівнянь (диференційних, алгебричних, логічних). Кожний елемент представлено зовнішнім векторним рівнянням виду

$$p\vec{i}_e + \vec{G}_e \cdot \vec{\varphi}_e + \vec{C}_e = 0, \quad (2)$$

де $\vec{i}_e = (i_1, \dots, i_n)_t$; $\vec{\varphi}_e = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)_t$ - вектори струмів зовнішніх віток та потенціалів зовнішніх полюсів багатополіусника; \vec{G}_e, \vec{C}_e - відповідно матриця $(n \times n)$ і вектор розмірності n , які визначаються параметрами структурного елемента; n - кількість полюсів електричного багатополіусника.

Крім векторного рівняння виду (2) електричний багатополіусник описується ще й внутрішніми рівняннями, які використовуються для розрахунку змінних, що не відносяться до струмів зовнішніх віток.

Спосіб з'єднання між собою зовнішніх віток багатополіусників математично описується матрицями з'єднань \vec{P}_j , які складаються для кожного елемента за таким принципом: кількість рядків матриці рівна кількості незалежних вузлів схеми (точок з'єднання між собою зовнішніх віток багатополіусників, причому, кількість незалежних вузлів для гальванічно-зв'язаної схеми на одиницю менша від загальної кількості вузлів), а кількість стовпців рівна кількості зовнішніх віток елемента. Елементами матриці є 0 і 1. Якщо i -та зовнішня вітка структурного елемента входить в j -ий незалежний вузол схеми то на перетині i -го стовпчика та j -го рядка записується 1, всі інші елементи матриці рівні 0.

Співвідношення між потенціалами зовнішніх полюсів багатополіусників та потенціалами незалежних вузлів схеми описується рівнянням [2]:

$$\vec{\varphi}_e = \vec{P}_j^T \varphi_c, \quad (3)$$

де $\vec{\varphi}_c$ - вектор потенціалів незалежних вузлів схеми.

Потенціали незалежних вузлів схеми можуть бути визначені з векторного рівняння виду:

$$\vec{G}_c \cdot \vec{\varphi}_c + \vec{C}_c = 0, \quad (4)$$

де коефіцієнти визначаються на основі коефіцієнтів зовнішнього вузлового векторного рівняння виду (1) кожного структурного елемента та матриць з'єднань елемента за формулами:

$$\vec{G}_c = \sum_{j=1}^m \vec{P}_j \cdot \vec{G}_{ej} \cdot \vec{P}_j^T; \quad \vec{C}_c = \sum_{j=1}^m \vec{P}_j \cdot \vec{C}_{ej} \quad (5)$$

де m - кількість елементів, що входять до складу ЕМВС.

Рівняння (1), (2), (3), (4) разом з внутрішніми рівняннями електричних багатополіусників формують математичну модель схеми електроприводу.

Під час математичного моделювання на кожному кроці чисельного інтегрування розраховують вектор інтегральних змінних \vec{y} , елементами якого є всі змінні, які описують структурні елементи схеми, і інтегруються, тобто $\vec{y} = \vec{y}(t)$. Похідні інтегральних змінних входять до складу вектора інтегрування $p\vec{y}$, який формується з векторів інтегрування структурних елементів схеми, похідних змінних, що не входять у вектори інтегрування структурних елементів. У вектори інтегрування структурних елементів $p\vec{y}_e$ входять вектор похідних струмів зовнішніх віток $p\vec{i}_e$, який визначається з рівняння (1) та похідні змінних внутрішніх рівнянь багатополіусника.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Програмно математична модель реалізована з використанням мови програмування FORTRAN. Загальні підпрограми є типовими і призначені для виконання математичних операцій над матрицями; чисельного інтегрування систем диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутта 2-го порядку; розв'язування систем алгебраїчних рівнянь методом Гаусса; визначення моментів природного закривання вентилів (діодів та тиристорів). Результати моделювання у вигляді часових залежностей наведені на рис. 2. Вони підтверджують теоретичні твердження щодо ступінчастого частотного пуску АД згідно (1) і можливість ефективного використання АБ з АІН у схемах електроживлення АД приводу водяного насоса.

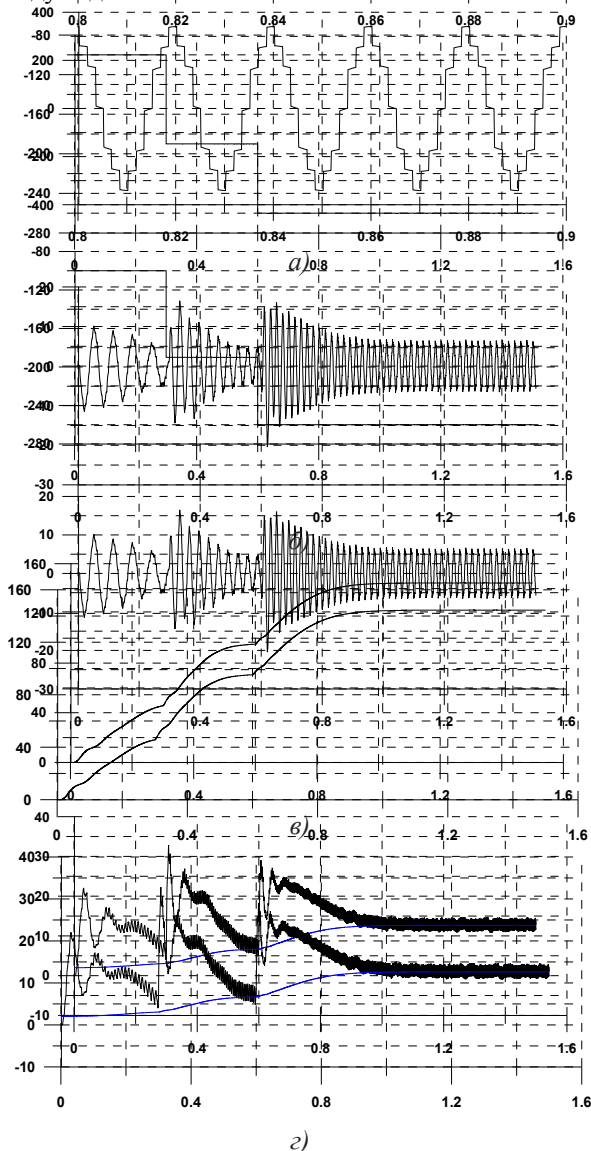


Рис. 2. Часові залежності при ступінчастому частотному пуску АД від автономного джерела з АБ: а) квазисинусоїдальна форма кривої напруги живлення АД; б) струм статора при пуску АД; в) кутова швидкість обертання ротора АД; з) електромагнітний момент і момент навантаження АД.

Перевірка адекватності математичної моделі здійснена на експериментальній установці, виготовленій за схемою, наведеною на рис.1. Результати досліджень форми кривої напруги живлення АД і залежності струму від часу при пуску показані на рис. 3.

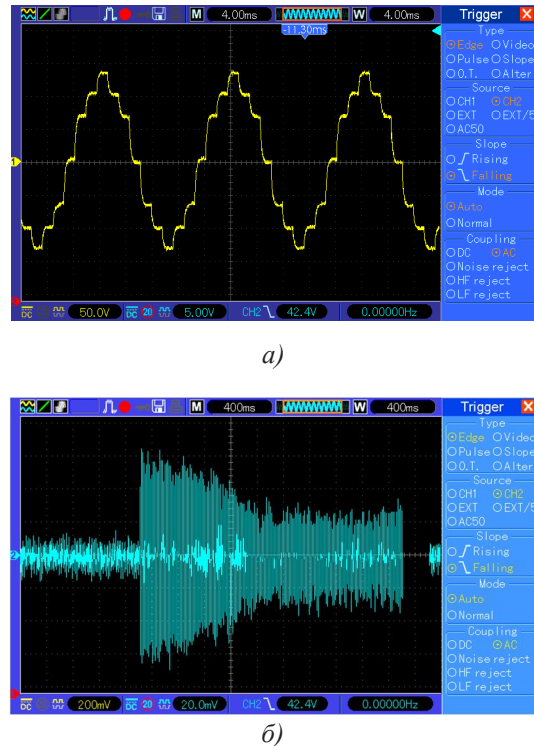


Рис. 3. Результати експериментів: а) квазисинусоїдальна форма кривої напруги живлення АД; б) струм статора АД при пуску

ВИСНОВКИ

Порівнюючи результати досліджень можна стверджувати, що розбіжність між розрахунковими (рис.2) і експериментальними даними (рис.3) не перевищує 6% (форма і характер зміни струму та напруги), що підтверджує достатній рівень адекватності математичної моделі. Тому її можна пропонувати до використання при проектуванні автономних джерел з АБ і АІН для живлення АД приводу насоса.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Пат. 105287 Україна, МПК (2014.01) A62C 37/00, A62C 37/46 (2006.01), F04D 25/06 (2006.01), H02P 25/00 Електропривід насоса підвищувача тиску води / Боднар Г.Й., Шаповалов О.В.; заявник і власник Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. – а201211659; заявл. 09.10.2012; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.
- [2] Плахтына Е.Г. Математическое моделирование электромашинно-вентильных систем / Е.Г. Плахтына. – Львов: Изд-во «Вища школа», 1986. – 164с.

Моделювання базового елемента операційного підсилювача на основі матричної комірки для аналітичних мікросистем-на-кристалі

В. В. Довгий, І. Т. Когут, В. І. Голота
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна. E-mail: igorkohut2202@gmail.com

Simulation of operational amplifier basic element based on matrix cell for analytical microsystem-on-chip

V. Dovhij, I. Kogut, V. Holota
Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine. E-mail: igorkohut2202@gmail.com

Анотація— В роботі наведено результати проектування топології та схемо-топологічного моделювання базових інтегральних елементів операційного підсилювача на основі стандартної об'ємної КМОН технології та КМОН-технології зі структурами «кремій-на-ізоляторі». Такі елементи можуть бути використані як регулярні матричні елементи для створення схем аналогової обробки сигналів в інтегральних схемах та первинної обробки інформації в аналітичних мікросистемах-на-кристалі.

Abstract— In this paper the results of layouts design and circuit-topological computer simulation of operational amplifier basic element based on standard bulk CMOS technology and CMOS technology with the "silicon-on-insulator" structures are presented. These elements can be used as a regular matrix elements for analog signal processing circuits in integrated circuits and initial processing of information of analytical microsystem-on-chip.

Ключові слова— аналітична мікросистема-на-кристалі, операційний підсилювач, базова матрична комірка, структура «кремій-на-ізоляторі»

Keywords— analytical microsystem-on-chip, operational amplifier, basic matrix cell, structures "silicon-on-insulator"

I. ВСТУП

Для аналізу характеристик нових інтегральних елементів та інших об'єктів з мікро- і нанометровими розмірами, в тому числі з некремнієвими технологіями, що можуть бути інтегровані в кремнієву, зокрема в технологію на основі структур КНІ, а також для

опрацювання первинної інформації про фізичні величини для сенсорної електроніки, як інструментарій, можуть бути використані уніфіковані аналітичні мікросистеми-на-кристалі [1, 7]. Перевагою такого аналізу є мінімізація паразитного впливу зондових елементів та провідників. Архітектура аналітичних мікросистем-на-кристалі передбачає наявність «технологічної площадки» для інтеграції на ній досліджуваних об'єктів, схем перетворення інформації від них та інтерфейсних зв'язків із зовнішніми вимірними або комп'ютеризованими пристроями.

II. МОДЕЛЮВАННЯ БАЗОВОГО ЕЛЕМЕНТА ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ЗІ СТРУКТУРАМИ «КРЕМНІЙ-НА-ІЗОЛЯТОРІ»

Для первинної аналогової обробки сигналів одним із базових елементів є інтегральний операційний підсилювач (ОП), який використовується для виокремлення та підсилення корисних сигналів, які можуть бути співрозмірними із шумовими сигналами. Такий елемент являє собою схему порівняння двох сигналів та підсилення різниці їх напруг. При цьому коефіцієнт послаблення синфазних сигналів є досить великим. Схема електрична принципова базового елемента ОП в інтегральному виконанні зображена на рис. 1, [2].

У цій схемі р-канальні транзистори VT1 і VT2 утворюють дзеркало струму для реалізації активного навантаження ОП, а n-канальні транзистори VT3 та VT4 утворюють диференційну пару, і спроектовані за узгодженими конструктивно-технологічними

параметрами. При подачі синфазного сигналу на входи IN1 та IN2, в одному з транзисторів відбувається збільшення струму, а в іншому – зменшення на однакову величину, що приводить до відсутності сигналу на виході.

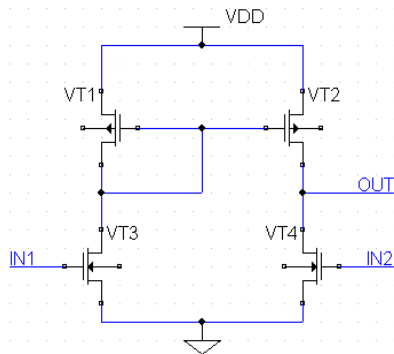


Рис. 1. Електрична схема інтегрального операційного підсилювача

Спроекована топологія базового елемента диференційного підсилювача на основі матричної комірки згідно схеми рис. 1, зображено на рис. 2. Було розроблено і досліджено два варіанти топологій: з використанням стандартної КМОН-технології на основі об'ємного кремнію; на основі КНІ КМОН – технології [3-5].

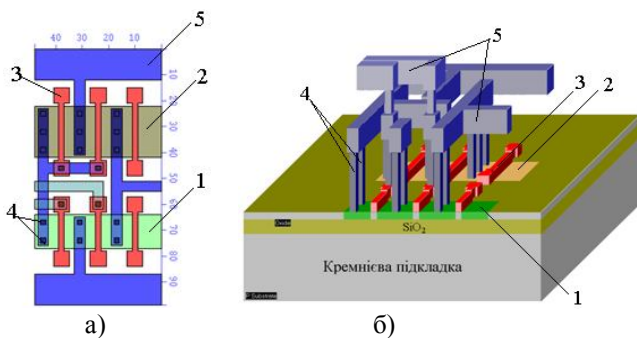


Рис. 2. Топологія а) та об'ємне зображення б) інтегрального ОП на основі базової матричної комірки зі структурою «кремній-на-ізоляторі»: 1 – стік-витоківі області n-каналних транзисторів; 2 – стік-витоківі області p-каналних транзисторів; 3 – полікремнієві затвори; 4 – контактні вікна; 5 – шари металізації

Порівняльні результати схемо-топологічного моделювання базового елемента ОП безпосередньо із топологій, спроектованих на основі структур за стандартною об'ємною КМОН-технологією та на основі КМОН КНІ-структур, наведено на рис. 3. Моделювання проводили при напрузі живлення 1,5 В, вхідний сигнал IN1 являв собою змінний сигнал частотою 0,167 МГц, часом наростання та спадання 1 нс, тривалістю імпульсу

2 нс та амплітудою 0,04 В а IN2 – постійний сигнал з амплітудою 0,7 В.

Для оптимізації площі та покращення електричних і фізичних характеристик операційних підсилювачів для матричних застосувань в аналітичних мікросистемах-на-кристали було проведено оцінку можливостей їх створення на основі тривимірних транзисторних КНІ-структур по аналогії їх побудови, як для тривимірних логічних елементів [6].

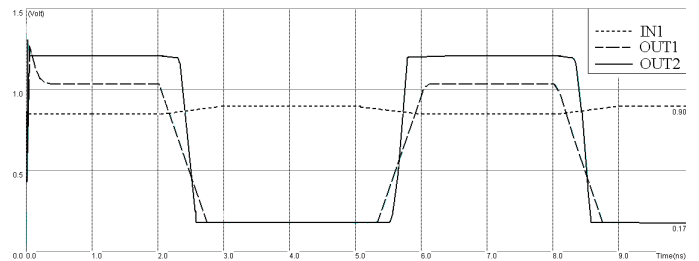


Рис. 3. Результати схемо-топологічного моделювання ОП: 1 – вхідний сигнал IN1; OUT1 – вихідний сигнал ОП, спроектованого за об'ємною КМОН технологією; OUT2 – вихідний сигнал ОП зі структурою КНІ

ВИСНОВКИ

Результати схемо-топологічного моделювання базового елемента ОП показують, що вихідні сигнали для схеми зі структурами КНІ порівняно з об'ємними КМОН мають суттєво кращу в середньому на 30% крутизну фронтів та більший коефіцієнт підсилення, завдяки чому вихідний сигнал має рівень амплітуди на 20% вищий. Такі параметри дозволять значно зменшити споживану потужність під час перехідних процесів (менша тривалість фронтів імпульсів), і як наслідок, підвищити ступінь інтеграції елементів в аналітичній мікросистемі-на-кристали. Окрім цього, реалізація ОП на основі КНІ-структур дозволить розширити температурний діапазон використання.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] І.Т. Когут, А.О.Дружинін, В.І. Голота, В.В. Довгий. Елементи аналітичних мікросистем-на-кристали на основі тривимірних КНІ-структур. / Збірник тез 5-тої української наук. конференції з фізики напівпровідників, м. Ужгород, Україна 9-15 жовтня 2011 р.-ст.190.
- [2] <http://www.penzar.com/topspice/topspice.htm>
- [3] Патент України на корисну модель №62994. МПК G01B 7/16(2006.01), G01L 9/14(2006.01) Комірка базового матричного кристала /Дружинін А.О., Когут І.Т., Голота В.І., Ховерко Ю.М., Довгий В.В., Вуйцик А.М. Опубл. 26.09.2011, бюл. №18/2011.
- [4] Kogut I. T., Dovhij V. V. (2011). Layouts features of SOI CMOS gate matrix arrays /Materials of ICTTFN–XIII, International conference, Physics and technology of thin films and nanosystems, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 16-21.05.2011.vol.2, p.275.
- [5] <http://www.microwind.org>
- [6] Kogut I.T.The device-technological simulation of local 3D SOI-structures / I.T. Kogut, V.I. Holota, A.A. Druzhinin, V.V. Dovhij // “Journal of Nano Research”. – Switzerland, 2015 – Vol. 39 – P. 228-234.

СЕКЦІЯ 7.

Прикладні методи дослідження дискретно-неперервних математичних моделей

Загальна перша дискретно-неперервна крайова задача для рівняння гіперболічного типу

Р.М. Тацій

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна

О.О. Карабин

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
tosjkarabyn@gmail.com

О.Ю. Чмир

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
o_chmyr@yahoo.com

The total first discretely-continuous boundary value problem for equation of hiperbolic type

R.M. Tatsij

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine

O.O. Karabyn

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
tosjkarabyn@gmail.com

O.Yu. Chmyr

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of vital activity safety
Lviv, Ukraine
o_chmyr@yahoo.com

Анотація—Запропоновано та обґрунтовано нову схему розв'язування загальної першої дискретно-неперервної крайової задачі для рівняння гіперболічного типу з кусково-сталими коефіцієнтами та точковими зосередженнями. В основу схеми розв'язування покладено концепцію квазіпохідних, сучасну теорію систем лінійних диференціальних рівнянь з мірами, а також класичний метод Фур'є та метод редукції. Перевагою методу є можливість розглянути задачу на кожному відрізку розбиття, а потім на основі матричного числення об'єднати отримані розв'язки. Такий підхід дозволяє застосувати програмні засоби до процесу вирішення задачі та графічної ілюстрації розв'язку.

Abstract—A new solving scheme of the general first discretely-continuous boundary value problem for a hyperbolic

type equation with piecewise constant coefficients and pointed concentrations was proposed and justified. In the basis of the solving scheme is a concept of quasi-derivatives, a modern theory of systems of linear differential equations with measures, the classical Fourier method and a reduction method. The advantage of this method is a possibility to examine a problem on each breakdown segment and then to combine obtained solutions on the basis of matrix calculation. Such an approach allows to use software tools for the solution.

Ключові слова — квазидиференціальне рівняння, крайова задача, матриця Коші, задача на власні значення, метод Фур'є та метод власних функцій.

Keywords — kvazidifferential equation, the boundary value problem, the Cauchy matrix, the eigenvalues problem, the method of Fourier and the method of eigenfunctions.

I. ВСТУП

Основними методами розв'язування крайових задач є: прямі, основу яких становить метод відокремлення змінних та метод функції Гріна.

Запропонована в даній роботі схема належить до прямих методів розв'язування крайових задач для рівнянь гіперболічного типу. В основу реалізації цієї схеми покладено концепцію квазіпохідних, що дозволяє "обійти" проблему множення узагальнених функцій.

Першою була розв'язана мішана задача для рівняння теплопровідності з кусково - неперервними коефіцієнтами за загальними крайовими умовами першого роду [1].

Авторами досліджено загальну першу дискретно-неперервну крайову задачу для рівняння гіперболічного типу з кусково-сталими коефіцієнтами та точковими зосередженнями. За допомогою методу редукції розв'язування такої задачі зведено до знаходження розв'язку двох задач: стаціонарної однорідної крайової задачі з вихідними крайовими умовами та мішаної задачі з нульовими крайовими умовами для певного неоднорідного рівняння.

II. ПОСТАНОВКА ТА РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ

Розглядається мішана задача для рівняння гіперболічного типу

$$m(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad x \in [0; l], \quad t \in (0; +\infty) \quad (1)$$

з крайовими умовами

$$\begin{cases} u(x_0, t) = \psi_0(t), \\ u(x_n, t) = \psi_n(t), \end{cases} \quad t \in [0; +\infty) \quad (2)$$

та початковими умовами

$$\begin{cases} u(x, 0) = \varphi_0(x), \\ \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \varphi_1(x), \end{cases} \quad x \in [0; l], \quad (3)$$

де $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n = l$ - довільне розбиття відрізка $[0; l]$ дійсної осі OX на n частин, функції $\psi_0(t)$, $\psi_n(t) \in C^2(0; \infty)$, $\varphi_0(x)$, $\varphi_1(x)$ - кусково-неперервні на $(0; l)$.

Покладемо, що $m(x) = \sum_{i=0}^{n-1} m_i \theta_i + \sum_{i=1}^{n-1} M_i \delta(x - x_i)$,

$\lambda(x) = \sum_{i=0}^{n-1} \lambda_i \theta_i$, де m_i , M_i , λ_i - дійсні числа, θ_i - характеристична функція проміжку $[x_i; x_{i+1}]$, $\delta_i = \delta_i(x - x_i) - \delta$ - функція Дірака з носієм в точці $x = x_i$.

Розв'язок задачі (1)-(3) шукаємо у вигляді

$$u(x, t) = w(x, t) + v(x, t).$$

Розглянемо функцію $w(x, t)$. Ця функція є розв'язком однорідного рівняння

$$(\lambda w_x')_x' = 0, \quad (4)$$

з неоднорідними крайовими умовами

$$\begin{cases} w(x_0, t) = \psi_0(t), \\ w(x_n, t) = \psi_n(t). \end{cases} \quad (5)$$

Рівняння (4) є квазидиференціальним рівнянням. Побудова розв'язку $w(x, t)$ квазидиференціальної задачі (4), (5) на основі властивостей матриці Коші детально описана в [1]:

$$w(x, t) = \sum_{i=0}^{n-1} w_i(x, t) \theta_i,$$

де $w_i(x, t) = \psi_0(t) + \frac{\psi_n(t) - \psi_0(t)}{\sigma_n} (b_i(x, x_i) + \sigma_i)$,

$$b_i(x, x_i) = \frac{x - x_i}{\lambda_i}, \quad \sigma_i = \sum_{m=0}^{i-1} b_m(x_{m+1}, x_m).$$

Функцію $v(x, t)$ шукаємо як розв'язок мішаної неоднорідної задачі

$$m(x) \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x) \frac{\partial v}{\partial x} \right) = -m(x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (6)$$

$$\begin{cases} v(x, 0) = \Phi_0(x), \\ \frac{\partial v}{\partial t}(x, 0) = \Phi_1(x), \end{cases} \quad (7)$$

де $\Phi_0(x) = \varphi_0(x) - w(x, 0)$, $\Phi_1(x) = \varphi_1(x) - \frac{\partial w}{\partial t}(x, 0)$, з однорідними крайовими умовами

$$\begin{cases} v(x_0, t) = 0, \\ v(x_n, t) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Розв'язок задачі (6)-(8) шукаємо методом Фур'є у вигляді

$$v(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k(t) X_k(x, \omega_k). \quad (9)$$

Власні функції $X_k(x, \omega_k)$ є розв'язком узагальненої задачі на власні значення [2]

$$(\lambda X')' + \omega^2 m X = 0,$$

$$\begin{cases} X(x_0) = 0, \\ X(x_n) = 0. \end{cases}$$

Підставляючи функцію $v(x, t)$ у вигляді (9) в рівняння (6) та розвинувши праву частину рівняння (6) за власними функціями $\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \sum_{k=1}^{\infty} w_k(t) X_k(x, \omega_k)$, приходимо до диференціального рівняння

$$T_k''(t) + \omega_k^2 T_k(t) = -w_k(t),$$

загальний розв'язок якого має вигляд

$$T_k(t) = a_k \cos \omega_k t + d_k \sin \omega_k t - \frac{1}{\omega_k} \int_0^t \sin \omega_k(t-s) w_k(s) ds, \quad (10)$$

де a_k, d_k – невідомі сталі.

Розвиваємо праві частини початкових умов (7) в ряди за власними функціями $X_k(x, \omega_k)$ та підставляємо (9) в (7). Це дозволяє отримати $a_k = \Phi_{0k}, d_k = \frac{\Phi_{1k}}{\omega_k}$, де Φ_{0k}, Φ_{1k} – коефіцієнти розвинень за власними функціями правих частин початкових умов (7).

Підставляючи (10) в (9), остаточно отримуємо розв'язок задачі (6)-(8)

$$v(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\Phi_{0k} \cos \omega_k t + \frac{\Phi_{1k}}{\omega_k} \sin \omega_k t - \frac{1}{\omega_k} \int_0^t \sin \omega_k(t-s) w_k(s) ds \right] X_k(x, \omega_k).$$

Сума функцій $w(x, t)$ та $v(x, t)$ дають розв'язок задачі (1)-(3).

ВИСНОВКИ

Отримано явні формули для обчислення розв'язку та його квазіпохідної для будь-якого підінтервала основного проміжку, які є справедливими для довільної скінченної кількості точок розриву першого роду згаданих вище коефіцієнтів. Отримані результати мають безпосереднє застосування в прикладних задачах.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Тацій Р. М. Загальна перша крайова задача для рівняння теплопровідності з кусково-змінними коефіцієнтами / Р. М. Тацій, О. О. Власій, М. Ф. Стасюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Фізико-математичні науки. - 2014. - № 804. - С. 64-69.
- [2] Тацій Р. М., Мазуренко В. В. Дискретно-неперервні крайові задачі для квазідиференціальних рівнянь парного порядку // Математичні методи та фізико-механічні поля. - 2001. - 44. №1 - С. 43-53.

Поперечні коливання в'язкопружних поздовжньо-рухомих гнучких елементів

Л.Ф. Дзюба

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна
lidadz111@gmail.com

О.І. Хитряк

кафедра інженерної механіки
(озброєння і техніки інженерних військ)
Національна академія сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного
Львів, Україна
khytriakolga@gmail.com

The transverse vibrations of viscoelastic axially-moving flexible elements

L. Dzyuba

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
lidadz111@gmail.com

O. Khytriak

Department of Engineering Mechanics
National Army Academy named after hetman P.
Sahaidachnyi
Lviv, Ukraine
khytriakolga@gmail.com

Анотація—Досліджуються згинальні коливання рухомого пасового передачі, які описуються диференціальними рівняннями, що містять часову та просторову координати. Врахована нелінійність механічних властивостей матеріалу. Вона описана в'язкопружною моделлю Кельвіна – Фойгта. З урахуванням скінченної довжини гнучкого елемента прийнято припущення про вплив нелінійних сил на закони зміни в часі амплітуди і частоти згинальних коливань. Тому диференціальне рівняння вважається слабо нелінійним. Розв'язок слабо нелінійного диференціального рівняння в часткових похідних побудований з використанням методу Крилова-Боголюбова-Митропольського і поданий у вигляді асимптотичного ряду. Отримані на підставі побудованого розв'язку диференціальні залежності для амплітуди та фази згинальних коливань дослідити вплив швидкості поздовжнього руху, модуля Юнга та динамічної в'язкості матеріалу на амплітуду та частоту коливань.

Abstract—In this article bending oscillations of moving belt drive, which is described by differential equations are investigated. They contain mixed derivative in time and space coordinates. The nonlinearity of the material mechanical properties is considered. It was described by Kelvin - Voigt viscoelastic model. Taking into account the finite length of flexible element is made assumptions about the influence of

nonlinear force on laws of change over time amplitude and frequency of the bending vibrations. Therefore, the differential equation considered to be weakly nonlinear. The solution of differential equation and method of Krylov-Bogolyubov-Mitropolsky are presented as asymptotic series. Ordinary differential equations for the amplitude and phase of bending vibrations are obtained. It is investigated the influence of the velocity of longitudinal movement, Young's modulus and dynamic viscosity of the material on the amplitude and the frequency of vibration

Ключові слова—пасова передача, поздовжньо-рухомі гнучкі тіла, коливання, амплітуда, частота, хвильова теорія руху, в'язкопружна модель Кельвіна-Фойгта, методи збурень

Keywords—belt drive, axially-moving flexible body, oscillations, amplitude, frequency, wave theory of motion, Viscoelastic Kelvin-Voigt model, perturbation methods

I. ВСТУП

Амплітуда згинальних коливань у поперечному напрямі під час поздовжнього руху гнучких ланок пасової передачі може досягати значних величин. Це негативно впливає на довговічність пасів [1]. Тому дослідження згинальних коливань гнучких ланок механічних передач є актуальним завданням. Рухомий пас пасової передачі

можна подати у вигляді системи з розподіленими параметрами – гнучкого одновимірного елемента сталого поперечного перерізу з відповідними умовами закріплення кінців. Нелінійність такої системи, як правило, є геометричною, зумовленою властивостями матеріалу гнучкого елемента чи умовами силового навантаження в конструкції [2]. Наявність поздовжнього руху гнучких елементів створює суттєві математичні труднощі під час дослідження їхніх згинальних коливань. Адаптацією хвильової теорії руху до такого типу задач такі труднощі долаються за умови, що матеріал гнучкого елемента вважають абсолютно пружним [3, 4]. Однак гнучкі елементи, наприклад паси, виготовляють з вязкопружних матеріалів, в яких виникають пластичні деформації. Тому метою цієї роботи є: створення моделі для дослідження згинальних коливань поздовжньо-рухомого вязкопружного гнучкого елемента і розробка ефективного підходу для її математичного аналізу.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Поперечні згинальні коливання вязкопружного поздовжньо-рухомого гнучкого елемента описують у змінних Ейлера [5] диференціальним рівнянням [6]:

$$\rho(u_{tt} + 2\nu u_{xt} + \nu^2 u_{xx}) = \left(\frac{N}{A} + \sigma\right) u_{xx} + u_x \sigma_x, \quad (1)$$

Не зменшуючи загальності, розглядаємо гнучкий елемент, довжина якого l , що, наприклад, дорівнює відстані між точками дотику паса до шківів пасової передачі. За умови постійного безвідривного контакту паса зі шківом допускаємо, що в місцях дотикання паса до шківів відсутні поперечні переміщення. Таке припущення зумовлене тим, що пас у конструкції передачі попередньо розтягнутий поздовжньою силою N . Це дозволяє долучити до рівняння (1) такі граничні умови:

$$u(x, t)|_{x=0} = u(x, t)|_{x=l} = 0. \quad (2)$$

де E^* – еквівалентний модуль Юнга, що є деяким диференціальним оператором відносно часу.

Прийнявши для матеріалу гнучкого елемента вязкопружну модель Кельвіна – Фойгта, в якій еквівалентний модуль Юнга

$$E^* = E_0 \left(1 + \frac{\eta}{E_0} \frac{\partial}{\partial t}\right),$$

отримаємо вираз для нормального напруження

$$\sigma(t) = E_0 \varepsilon(t) + \eta (\varepsilon(t))', \quad (4)$$

де E_0 – модуль Юнга, η – коефіцієнт динамічної вязкості матеріалу.

З урахуванням (4) рівняння (1) набуває вигляду:

$$u_{tt} + 2\nu u_{xt} - (\alpha^2 - \nu^2) u_{xx} = \lambda \left(\tilde{E} u_x^2 u_{xx} + 2\tilde{\eta} u_{xx} u_x u_{xt} + \tilde{\eta} u_{xx} u_x^2 \right), \quad (5)$$

де λ – малий параметр, який у правій частині рівняння означає малу величину нелінійної складової сили порівняно з відновлювальною; $\tilde{E} = 3E_0(2\rho\lambda)^{-1}$; $\tilde{\eta} = \eta(\rho\lambda)^{-1}$; $\alpha^2 = T(A\rho)^{-1}$.

III. МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗУВАННЯ

Задача (5), (2) належить до класу слабо нелінійних, що дозволяє для побудови її розв'язку застосувати загальні принципи методів збурень [8]. Відповідно до одного із цих методів, а саме методу Крилова-Боголюбова-Митропольського [9], розв'язок рівняння (5) у першому наближенні представимо у вигляді

$$u(x, t) = U_0(a, x, \psi) + \varepsilon U_1(a, x, \psi), \quad (6)$$

де $\psi = \omega t + \varphi$; φ – початкова фаза коливань, a – амплітуда коливань; ω – частота; $U_0(a, x, \psi)$ – розв'язок лінійного (при $\varepsilon = 0$) аналогу задачі (5), (2); $U_1(a, x, \psi)$, – невідома 2π -періодична по ψ функція, яка задовольняє крайовим умовам, що випливають із (2).

Визначимо $U_0(a, x, \psi)$ як накладання прямої та відбитої хвиль із хвильовими числами κ та χ відповідно

$$U_0(t, x, y) = a(\cos(\kappa x + \omega t + \varphi) - \cos(\chi x - \omega t - \varphi)), \quad (7)$$

де $\kappa = k\pi(\alpha + \nu)/al$, $\chi = k\pi(\alpha - \nu)/al$, $\omega = k\pi(\alpha^2 - \nu^2)/al$, $k = 1, 2, \dots$.

Оскільки гнучкі елементи мають обмежені розміри, то нелінійні сили впливають тільки на закони зміни в часі амплітуди та частоти коливань, які у першому наближенні задають у вигляді звичайних диференціальних рівнянь [9]:

$$\frac{da}{dt} = \lambda \Lambda(a); \quad \frac{d\psi}{dt} = \omega + \lambda \Xi(a), \quad (8)$$

де праві частини $\Lambda(a)$ і $\Xi(a)$ шукають так, щоб співвідношення (6) задовольняло з необхідним ступенем точності вихідне рівняння (5), в якому на місце параметрів a та ψ підставляють функції часу, визначені диференціальними рівняннями (8).

Накладаємо додаткову умову, щоб функція $U_1(a, x, \psi)$ її частинні похідні по ψ і x до другого порядку включно не містили у розкладах доданків пропорційних головним гармонікам. Підставляючи в (1) вираз (6) з урахуванням (8) після усереднення по лінійній та часовій змінних, отримуємо остаточний вигляд диференціальних рівнянь для визначення амплітуди та частоти коливань:

$$\frac{da}{dt} = \frac{-\lambda \tilde{\eta} k^4 \pi^4 (7\nu^4 + 6\nu^2 \alpha^2 + 3\alpha^4)}{8l^4 \alpha^4 (\alpha^4 - \nu^4)} a^3;$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \omega + \frac{\lambda \tilde{E} k^3 \pi^3 (7v^4 + 6v^2 \alpha^2 + 3\alpha^4)}{8l^3 \alpha^3 (\alpha^4 + v^4)} a^2. \quad (9)$$

ВИСНОВКИ

Отримані аналітичні залежності дозволяють визначити амплітуду та частоту згинальних коливань поздовжньо-рухомого гнучкого елемента. На підставі розв'язку диференціальних рівнянь (10) можна дослідити вплив швидкості поздовжнього руху, модуля Юнга та динамічної в'язкості матеріалу на амплітуду та частоту коливань.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Василенко Н.В. Теория колебаний/ учебное пособие. – Киев: Вища шк. 1992 – 430 с.
- [2] Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: Підруч. – 2-е вид. перероб. – Львів: Афіша, 2003.- 558 с.
- [3] Сокіл М. Б. Хвильова теорія руху в дослідженні коливань гнучких елементів приводу та транспортування з урахуванням їх поздовжнього руху / М. Б. Сокіл, О. І. Хитряк // Військово – технічний збірник. – Львів: АСВ, 2011. – Вип. 1. – С. 102–105.
- [4] Харченко С. В. Коливання рухомих нелінійно пружних середовищ і асимптотичний метод у їх дослідженні / С. В. Харченко, М. Б. Сокіл // Збірник науково-технічних праць НЛТУУ. – Львів: 2006. – Вип. 16.1. – С. 134–138.
- [5] Зельдович Я. Б. Элементы математической физики / Я. Б. Зельдович, А. Д. Мышкис. – М. : Наука, 1973. – 352 с.
- [6] Fung, R. F., Huang, J.S., and Chen. Y.C., 1997, "The Transient Amplitude of the Viscoelastic Traveling String: an Integral Constitutive Law", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 201, No. 2., pp. 153-167.
- [7] Fiügge, W., 1975, *Viscoelasticity*, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- [8] Найфе А. Х. Методы возмущений / А. Х. Найфе. – М. : Мир, 1976. – 456 с.
- [9] Боголюбов Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский – М. : Наука, 1974. – 501 с.

Прямий метод дослідження першої загальної крайової задачі для рівняння теплопровідності в прямокутнику

О.М. Трусевич
кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна
trusev14@gmail.com

М.І. Кусій
кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна
kusijmiroslava@gmail.com

The direct method research of the first general boundary value problem for the heat equation in a rectangle

O. Trusevych
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
trusev14@gmail.com

M. Kusij
Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
kusijmiroslava@gmail.com

Анотація—Запропоновано та обґрунтовано прямий метод розв'язування першої загальної крайової задачі для рівняння теплопровідності в прямокутнику. В основі даного методу використано метод редукції, класичний метод Фур'є, метод власних функцій та власних значень. Перевагою даного методу є власне прямий метод розв'язування даної задачі.

Abstract—A direct method for solving the first boundary value problem for the heat equation in the rectangle was proposed and justified. The basis of this method used a reduction method, the classical Fourier method, method of eigenfunctions and eigenvalues. The advantage of this method is actually a direct method for solving this problem.

Ключові слова—задача на власні значення та власні функції, метод Фур'є, функція Коші, подвійний ряд Фур'є

Keywords—eigenvalue problem and their functions, Fourier method, function Cauchy, double Fourier series

I. ВСТУП

При розв'язуванні нестационарних задач теорії теплопровідності у випадку, коли температура є функцією

часу і двох просторових координат, виникають значні труднощі. В монографії [1] розглядаються деякі задачі двовимірного температурного поля, коли розв'язки можуть бути отримані методами інтегральних перетворень. Там, зокрема, розглядається двовимірна задача для прямокутника, на одній стороні якого підтримується температура, що змінюється в часі. Натомість на трьох інших сторонах підтримується нульова температура. Ця задача розв'язується шляхом застосування скінченного синуса – перетворення Фур'є з відповідним використанням формули оберненого перетворення.

Останнім часом все активніше при розв'язуванні задач нестационарної теплопровідності застосовується прямий метод, в основу якого покладено редукцію (зведення задачі до двох простіших, але взаємозв'язаних) з наступним застосуванням модифікованого методу Фур'є власних функцій [1] - [4]. В даній роботі ця ідея використана для розв'язування загальної задачі для прямокутника, коли крайові умови, що залежать від часу, задаються без обмежень на всіх чотирьох його сторонах.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ЇЇ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Розглянемо рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

у прямокутнику $\Pi: \{0 \leq x \leq h, 0 \leq y \leq d\}$

з початковою умовою:

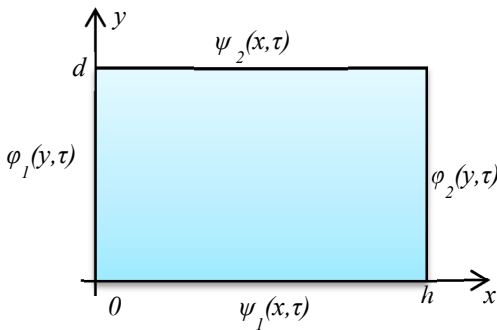
$$T(x, y, 0) = f(x, y), \quad (2)$$

крайовими умовами $T|_{\Gamma}$:

$$T|_{\Gamma} : \begin{cases} T(0, y, \tau) = \varphi_1(y, \tau), \\ T(x, 0, \tau) = \psi_1(x, \tau), \\ T(h, y, \tau) = \varphi_2(y, \tau), \\ T(x, d, \tau) = \psi_2(x, \tau) \end{cases} \quad (3)$$

та умовами узгодження в кутових точках прямокутника $\Pi: \{0 \leq x \leq h, 0 \leq y \leq d\}$:

$$\begin{aligned} \varphi_1(0, \tau) &= \psi_1(0, \tau), \varphi_1(d, \tau) = \psi_2(0, \tau), \\ \varphi_2(0, \tau) &= \psi_1(h, \tau), \varphi_2(d, \tau) = \psi_2(h, \tau) \end{aligned} \quad (4)$$



Функцію розподілу температури $T(x, y, \tau)$, як розв'язок задачі (1) - (4) знайдено у вигляді суми двох функцій (метод редукції (див., наприклад, [5]):

$$T(x, y, \tau) = U(x, y, \tau) + V(x, y, \tau). \quad (5)$$

Функція $U(x, y, \tau)$ визначена як розв'язок крайової (квазістационарної) задачі Діріхле:

$$\Delta U \equiv \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) = 0,$$

$$U|_{\Gamma} = T|_{\Gamma},$$

з умовами узгодженості (4) у вигляді, (наприклад, [6]):

$$\begin{aligned} U(x, y, \tau) &= \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{h} y}{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{h} d} + B_n \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{h} (d-y)}{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{h} d} \right) \sin \frac{\pi n}{h} x + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \left(C_n \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{d} x}{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{d} h} + D_n \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{d} (h-x)}{\operatorname{sh} \frac{\pi n}{d} h} \right) \sin \frac{\pi n}{d} y + \\ &+ W(x, y, \tau), \end{aligned}$$

де коефіцієнти A_n, B_n, C_n, D_n обчислюються наступним чином:

$$A_n = \frac{2}{h} \int_0^h \psi_2(x, \tau) \sin \frac{\pi n x}{h} dx,$$

$$B_n = \frac{2}{h} \int_0^h \psi_1(x, \tau) \sin \frac{\pi n x}{h} dx,$$

$$C_n = \frac{2}{d} \int_0^d \varphi_2(y, \tau) \sin \frac{\pi n y}{d} dy,$$

$$D_n = \frac{2}{d} \int_0^d \varphi_1(y, \tau) \sin \frac{\pi n y}{d} dy,$$

а $W(x, y, \tau) = A(\tau)xy + B(\tau)x + C(\tau)y + D(\tau)$ - це гармонічна функція, яка забезпечує виконання умов узгодженості [6] в кутках прямокутника $\Pi: \{0 \leq x \leq h, 0 \leq y \leq d\}$.

Функції $A(\tau), B(\tau), C(\tau), D(\tau)$ знаходимо із систем рівнянь:

$$W(0, 0, \tau) = \begin{cases} D(\tau) = \varphi_1(0, \tau), \\ D(\tau) = \psi_1(0, \tau). \end{cases}$$

$$W(0, d, \tau) = \begin{cases} dC(\tau) + D(\tau) = \varphi_1(d, \tau), \\ dC(\tau) + D(\tau) = \psi_2(0, \tau). \end{cases}$$

$$W(h, 0, \tau) = \begin{cases} hB(\tau) + D(\tau) = \psi_1(h, \tau), \\ hB(\tau) + D(\tau) = \varphi_2(0, \tau). \end{cases}$$

$$W(h, d, \tau) = \begin{cases} dhA(\tau) + hB(\tau) + dC(\tau) + D(\tau) = \varphi_2(d, \tau), \\ dhA(\tau) + hB(\tau) + dC(\tau) + D(\tau) = \psi_2(h, \tau). \end{cases}$$

Звідки одержуємо:

$$D(\tau) = \frac{\varphi_1(0, \tau) + \psi_1(0, \tau)}{2},$$

$$B(\tau) = \frac{\psi_1(h, \tau) + \varphi_2(0, \tau) - \varphi_1(0, \tau) - \psi_1(0, \tau)}{2h},$$

$$C(\tau) = \frac{\varphi_1(d, \tau) + \psi_2(0, \tau) - \varphi_1(0, \tau) - \psi_1(0, \tau)}{2d},$$

$$A(\tau) = \frac{\varphi_2(d, \tau) + \psi_2(h, \tau) - \psi_1(h, \tau) - \varphi_2(0, \tau)}{2hd} +$$

$$+ \frac{\varphi_1(0, \tau) + \psi_1(0, \tau) - \varphi_1(d, \tau) - \psi_2(0, \tau)}{2hd}.$$

Функцію $V(x, y, \tau)$ знайдено із неоднорідного рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = a\Delta V - \frac{\partial U}{\partial \tau} \quad (6)$$

із крайовими умовами:

$$V|_r = 0 \quad (7)$$

та початковою умовою:

$$V(x, y, 0) = f(x, y) - U(x, y, 0) \stackrel{df}{=} \varphi(x, y). \quad (8)$$

(6) – (8) - класична мішана задача для функції $V(x, y, \tau)$. Розв'язки відповідної однорідної крайової задачі:

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = a\Delta V, \quad V|_r = 0$$

знайдено методом власних функцій та власних значень (див. наприклад, [6]). Її власні значення:

$$\lambda_{mn} = \frac{\pi^2 m^2}{h^2} + \frac{\pi^2 n^2}{d^2}, \quad m \in \mathbb{N}, n \in \mathbb{N},$$

а відповідні власні функції:

$$v_{mn} = \sin \frac{\pi m}{h} x \cdot \sin \frac{\pi n}{d} y.$$

Функція $V(x, y, \tau)$, як розв'язок (6) – (8), знайдена у вигляді розвинення в ряд за власними функціями на власні значення:

$$V(x, y, \tau) = \sum_{m,n} t_{mn}(\tau) \sin \frac{\pi m}{h} x \sin \frac{\pi n}{d} y, \quad (9)$$

де $t_{mn}(\tau)$ - функції по часу τ . Для їх знаходження, після підстановки (9) в (6), одержуємо нескінченну сукупність диференціальних рівнянь першого порядку для $t_{mn}(\tau)$:

$$t'_{mn}(\tau) + a\lambda_{mn}t_{mn}(\tau) = -\alpha_{mn}(\tau), \quad (10)$$

$$\text{де } \alpha_{mn}(\tau) = \frac{4}{dh} \iint_{\Pi} \frac{\partial U(x, y, \tau)}{\partial \tau} \sin \frac{\pi m}{h} x \sin \frac{\pi n}{d} y dx dy.$$

Початкова умова для функцій $t_{mn}(\tau)$:

$$t_{mn}(0) = \varphi_{mn}, \quad (11)$$

де φ_{mn} - коефіцієнти подвійного ряду Фур'є за системою власних функцій $\left\{ \sin \frac{\pi m}{h} x \cdot \sin \frac{\pi n}{d} y \right\}$ для функції (8), тобто

$$\varphi_{mn} = \frac{4}{dh} \iint_{\Pi} \varphi(x, y) \sin \frac{\pi m}{h} x \sin \frac{\pi n}{d} y dx dy.$$

Розв'язки сукупності задач Коші (10), (11) мають вигляд:

$$t_{mn}(\tau) = \varphi_{mn} e^{-a\lambda_{mn}\tau} - \int_0^{\tau} e^{-a\lambda_{mn}(\tau-s)} \alpha_{mn}(s) ds.$$

ВИСНОВКИ

Запропонована та обґрунтована формальна схема застосування прямого методу розв'язування першої загальної крайової задачі для рівняння теплопровідності в прямокутнику.

Задача розв'язана в найбільш загальній постановці з ненульовими крайовими умовами на всіх чотирьох сторонах прямокутника. Розв'язок отримано у вигляді рядів в явній формі.

Запропонована схема без ускладнень може бути поширена на випадки крайових умов другого та третього роду або будь-яких комбінацій таких умов на різних сторонах прямокутника.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Лыков А. В. Теория теплопроводности. – Москва. – 1967. – 559 с.
- [2] Тацій Р.М., Пазен О.Ю. Общие краевые задачи для уравнения теплопроводности с кусочно-непрерывными коэффициентами / Тацій Р.М., Пазен О.Ю.// Инженерно-физический журнал Национальной Академии Беларуси. – 2016. - Том 89, № 2. – С.350-361.
- [3] Тацій Р.М. Визначення теплообміну в нескінченній плиті з дискретно-неперервним розподілом тепла/ Тацій Р.М., Кусій М.І., Пазен О.Ю.// Пожежна безпека. Зб. наук. пр. 2012. - №20. – С.20-26.
- [4] Тацій Р.М. Загальна перша крайова задача для рівняння теплопровідності з кусково-змінними коефіцієнтами/ Тацій Р.М., Власій О.О., Стасюк М.Ф.// Вісник національного університету «Львівська політехніка» фіз.-мат. науки. – 2014. -№804. – С.64-69.
- [5] Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. – 735 с.
- [6] Положий Г.М. Рівняння математичної фізики, К.: 1959.

Моделювання процесу теплопереносу в багат шаровій плоскій конструкції з урахуванням руйнування довільного шару

Р.М. Тацій

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна

М.Ф. Стасюк

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Львів, Україна
marta_stasiuk@yahoo.com

О.Ю. Пазен

кафедра прикладної математики і механіки
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
opazen@gmail.com

Modelling of heat transfer in multilayer flat design given arbitrary destruction layer

R. Tatsiy

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine

M. Stasiuk

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
marta_stasiuk@yahoo.com

O. Pazen

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine
opazen@gmail.com

Анотація—Запропоновано та обґрунтовано схему дослідження розподілу нестационарного температурного поля по товщині багат шарової плоскої конструкції з можливістю руйнування довільного шару конструкції. В основі даної схеми покладено прямий метод дослідження крайових задач теплопровідності з кусково-неперервними коефіцієнтами та стаціонарною неоднорідністю.

Abstract—A scheme for research and proved unsteady temperature field distribution on the thickness of the flat multilayer structures with the possibility of random destruction layer construction. At the heart of the scheme put direct method

of investigating boundary value problems of heat conduction with piecewise continuous coefficients and stationary heterogeneity.

Ключові слова—теплопровідність, прямий метод, багат шарова конструкція

Keywords— thermal conductivity, direct method, multilayer design

I. ВСТУП

Моделювання процесу поширення нестационарного температурного поля по товщині багат шарових плоских конструкцій, у пожежній справі, часто використовують для встановлення межі вогнестійкості будівельних конструкцій. На основі натурних випробувань досліджено, що межа вогнестійкості шаруватих конструкцій за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності рівна і вище сумі меж вогнестійкості окремих її елементів [1]. Збільшення кількості шарів конструкції не зменшує її межі вогнестійкості за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності. А якщо багат шарова конструкція складається з шару (або групи шарів), які під час нагрівання руйнуються? Прикладом цього може бути шар пінопласту, який досить часто використовується у будівництві в якості утеплювача, але при цьому руйнується при температурі близькій до 100⁰С.

Оскільки натурні випробування займають багато часу та фінансових витрат, автори вважають, що сьогодні аналітичні розрахунки межі вогнестійкості більш практичні.

Для досягнення даного результату необхідно вирішувати послідовність задач про розподіл нестационарного температурного поля у багат шарових плоских конструкціях зі зменшенням кількості шарів. Такий підхід фактично являє собою модифікований та автоматизований метод власних функцій та метод Фур'є [2].

II. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

У даній роботі запропоновано методику встановлення межі вогнестійкості за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності багат шарових будівельних конструкцій з урахуванням руйнування довільного шару.

Алгоритм методики такий:

1. Першим етапом є введення початкових даних.

2. Наступним кроком є розрахунок поширення нестационарного температурного поля по товщині багат шарової плоскої конструкції за допомогою ЕОМ, який подано у вигляді формули [3]

$$t(x, \tau) = \frac{\alpha_0 \alpha_n}{\Delta} \left(\psi_0(\tau) \sigma_n + \frac{\psi_n(\tau)}{\alpha_0} + \frac{\psi_0(\tau)}{\alpha_n} + (\psi_n(\tau) - \psi_0(\tau)) \left(\frac{x - x_i}{\lambda_i} + \sigma_i \right) \right) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[f_k \cdot e^{-\omega_k \tau} - \int_0^{\tau} e^{-\omega_k(\tau-s)} u_k(s) ds \right] \cdot X_k(x, \omega_k).$$

3. З заданим інтервалом часу, оператор перевіряє два основних показника розподілу нестационарного температурного поля по товщині багат шарової конструкції, а саме:

- втрату теплоізолювальної здатності конструкції;
- можливість руйнування довільного шару конструкції.

Така процедура повторюється до втрати теплоізолювальної здатності конструкції, або руйнування

довільного шару (групи шарів).



Рис. 1. Алгоритм обчислення втрати теплоізолювальної здатності з урахуванням руйнування довільного шару

4.1 Якщо конструкція не втратила своєї теплоізолювальної здатності, а вплив температури призвів до руйнування довільного шару конструкції, розрахунки припиняються, та фіксується час τ_0 . Далі проводиться постановка нової задачі розрахунку розподілу нестационарного температурного поля багат шарової конструкції без урахування зруйнованого шару (групи шарів). Вводяться нові початкові дані. Знову проводять розрахунок і оператор перевіряє показники втрати теплоізолювальної здатності та руйнування довільного шару конструкції. Якщо ж вплив температури знову призвів до руйнування довільного шару (групи шарів) конструкції, то розрахунок припиняється та фіксується час τ_1 . Така процедура продовжується до втрати теплоізолювальної здатності конструкції. Загальним часом втрати теплоізолювальної здатності є сума всіх фіксованих значень часу, тобто $\tau = \tau_0 + \tau_1 + \dots + \tau_n$, де τ_n час втрати теплоізолювальної здатності.

4.2. Якщо ж відбувається втрата теплоізолювальної здатності багат шарової конструкції без руйнування довільного шару (групи шарів), розрахунок припиняється.

5. Результати розрахунку виводяться у вигляді явних формул розподілу нестационарного температурного поля для кожного з шарів конструкції. За допомогою даних формул результат можна вивести у вигляді табличних даних, графічних залежностей (об'ємних графіків, анімацій, тощо) зміни температури по товщині конструкції

в залежності від часу.

Реалізація даної схеми заснована на застосуванні отриманого авторами прямого методу розв'язку крайових задач теорій теплопровідності для багат шарових плоских конструкцій.

III. МОДЕЛЬНА ЗАДАЧА

У якості модельної задачі досліджено вплив руйнування довільного шару будівельної конструкції на час вогнестійкості (втрати теплоізолювальної здатності) будівельної конструкції, яка складається з вапняної штукатурки, пінопласту, цегляної кладки та вапняної штукатурки [3]. У початковий момент часу температура стінки постійна і дорівнює 25°C .

Одна із зовнішніх поверхонь нагрівається шляхом конвекційного теплообміну з навколишнім середовищем, температура якого змінюється за законом $t_c(\tau) = 345 \lg(8\tau + 1) + 25$. Коефіцієнт теплообміну зі сторони поверхні, що обігрівается, становить $\alpha_0 = 25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, а з поверхні, що не обігрівается – $\alpha_0 = 4 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. Необхідно визначити розподіл нестационарного температурного поля по товщині цієї конструкції та знайти час, за який температура поверхні, що не обігрівается, досягне 180°C (критична температура втрати теплоізолювальної здатності).

Оскільки другий шар конструкції складається з пінопласту, то існує загроза його руйнації, коли температура на межі першого і другого шару підніметься до 100°C . Тому проведено два різні розрахунки розподілу нестационарного температурного поля (без урахування руйнування шару пінопласту, та з урахуванням руйнування шару пінопласту та, як наслідок, шару штукатурки).

Використавши запропонований алгоритм дослідження розподілу нестационарного температурного поля по товщині конструкції без урахування руйнування шару пінопласту, отримуємо розв'язок цієї задачі у вигляді графіку, що представлений на рис. 2.

Дослідимо тепер поширення нестационарного температурного поля по товщині конструкції з урахуванням руйнування другого шару. Проводячи відповідні розрахунки, одержимо графік зміни температури на поверхні, що не обігрівается у вигляді графіку (рис. 2).

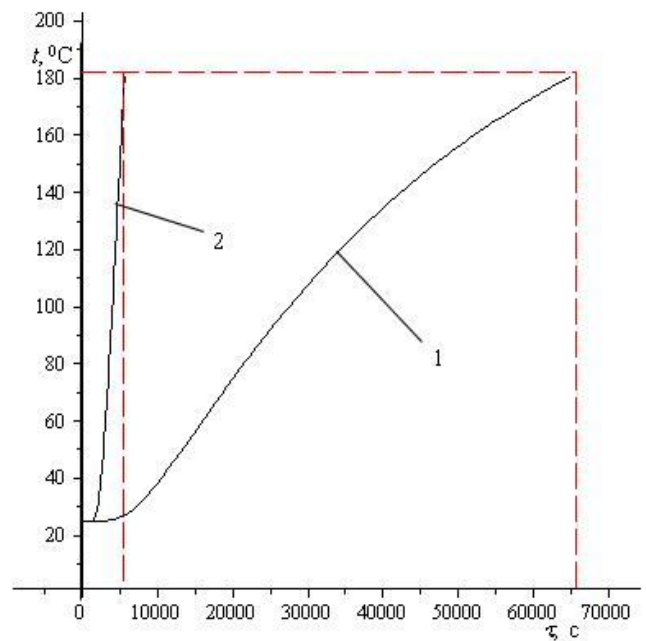


Рис. 2. Графік зміни температури зі сторони поверхні, що не обігрівается: 1 – без урахування руйнування шару пінопласту; 2 – з урахуванням руйнування шару пінопласту.

ВИСНОВКИ

Важливість урахування руйнування одного чи декількох шарів є досить суттєвою. Проведені теоретичні дослідження у вигляді модельної задачі чотиришарової конструкції (штукатурка – пінопласт – цегляна кладка – штукатурка) показали, що неврахування фактору руйнування довільного шару може призвести до помилкового визначення межі вогнестійкості. Теплоізолювальна здатність такої конструкції без урахування руйнації шару пінопласту становить 18 годин, а з урахуванням руйнування – 94 хв. У розглянутому випадку, час критичного прогріву реально зменшується приблизно у 11 раз.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций, М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
- [2] Тацій Р. М. Загальна третя крайова задача для рівняння теплопровідності з кусково-сталими коефіцієнтами та внутрішніми джерелами тепла / Р. М. Тацій, Т. І. Ушак, О. Ю. Пазен // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів: ЛДУ БЖД, 2015. – № 27. – С. 120-126.
- [3] Семерак М. М. Теплоизолирующая способность многослойных строительных конструкций с учётом разрушения произвольного слоя / М. М. Семерак, Р. М. Тацій, О. Ю. Пазен // Вестник Кокшетауского технического института Министерства по чрезвычайным ситуациям республики Казахстан: Сб. науч. тр. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – № 4 (20). – С. 8–17.

Про розв'язність задачі з функціональними крайовими умовами для квазидиференціального рівняння з мірами в коефіцієнтах

В.В. Мазуренко
кафедра диференціальних рівнянь і прикладної математики
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
viktor.mazurenko@pu.if.ua

On the solvability of a functional boundary-value problem for a quasidifferential equation with measures as coefficients

V. Mazurenko
Department of Differential Equations
and Applied Mathematics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
viktor.mazurenko@pu.if.ua

Анотація—На основі поняття псевдооберненої за Муром-Пенроузом матриці встановлено необхідні і достатні умови існування та єдиності розв'язку задачі з функціональними крайовими умовами для квазидиференціального рівняння з мірами в коефіцієнтах. Отримано зображення розв'язку в інтегральній формі з допомогою функції Гріна.

Abstract—We consider a functional boundary-value problem for a quasidifferential equation in general case with the number of boundary conditions not coinciding with the order of the equation. We obtain necessary and sufficient conditions for the existence and uniqueness of a solution of such boundary-value problem using a method of pseudo-inverse by Moore-Penrose matrices. We represent the solutions in the integral form by the Green matrix.

Ключові слова—квазидиференціальне рівняння з мірами; функціональна крайова задача; існування розв'язків; псевдообернена за Муром-Пенроузом матриця; матриця Гріна.

Keywords—quasidifferential equation with measures; functional boundary-value problem; existence of solutions; Moore-Penrose pseudo-inverse matrix; Green matrix.

I. ВСТУП

Дослідження різноманітних фізичних процесів (як, н-д, позовжні коливання стрижнів з кусково-змінним перерізом, крутильні коливання валів змінної жорсткості, температурні задачі з кусково-змінним коефіцієнтом теплопровідності та ін.), котрі враховують природну єдність дискретного (зосереджені величини) і неперервного (розподілені величини) приводить до необхідності створення адекватних математичних моделей. Багато з них описуються диференціальними рівняннями, що містять доданки вигляду $(a(x)y^{(m)})^{(n)}$. За умови недостатньої гладкості коефіцієнта $a(x)$ такі рівняння не вдається звести (з допомогою операції n -кратного диференціювання) до звичайних диференціальних. Відтак в науковій літературі їх прийнято називати квазидиференціальними (КДР).

У доповіді розглядаються питання розв'язності задачі з функціональними крайовими умовами для КДР порядку $q = m + n$:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (-1)^{m-j} (a_{ij}(x)y^{(n-i)})^{(m-j)} = f(x), \quad (1)$$

$$l_k y(\cdot) = \eta_k, \quad k = \overline{1, p}; \quad (2)$$

тут l_k – лінійні функціонали на просторі $BV^+[a, b]$ неперервних справа функцій обмеженої на відрізку $[a, b]$ варіації, а коефіцієнти КДР (1) справджують умови: a_{00}^{-1} – обмежена і вимірна на $[a, b]$ функція; a_{i0}, a_{0j} – сумовні з квадратом на $[a, b]$ функції ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$); a_{ij} і f – міри на $[a, b]$, тобто $a_{ij} = b'_{ij}$ ($i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$) і $f = g'$, де $b_{ij}, g \in BV^+[a, b]$, так що диференціювання і рівність в (1) розуміються в узагальненому сенсі.

У випадку, коли функції $a_{ij}(x)$ і $g(x)$ є гладкими або абсолютно неперервними на відрізку $[a, b]$, задача (1), (2) та її частинні випадки такі, як задача Коші, двоточкова крайова задача, задача Коші-Ніколетті, задача Валле-Пуссена, багатоточкова задача, задача з s -точковими умовами інтегрального типу, задача з умовами спряження, в різних аспектах вивчаються багатьма авторами впродовж уже більше ста років. Для квазидиференціальних рівнянь з мірами в коефіцієнтах достатньо вивченими є лише початкові і крайові задачі [1]. Що стосується задачі (1), (2), то близькі за постановкою задачі вичались в [2, 3].

Існування і єдиність розв'язку

При дослідженні умов розв'язності задачі (1), (2) визначальною є $(p \times q)$ -матриця $M = (l_k K_t^{[v-1]}(\cdot, a))_{k=1, p}^{v=1, q}$, де $K(x, t)$ – аналог функції Коші КДР (1), що за змінною x є розв'язком КДР (1) з початковими умовами $K_x^{[v]}(t, t) = 0$ ($v = \overline{0, q-2}$), $K_x^{[q-1]}(t, t) = 1$, а вираз $K_x^{[i]j}(x, t)$ означає мішану квазіпохідну $(i+j)$ -го порядку [1, §13]. Нехай $M^+ = (m_{ij}^+)_{i=1, q}^{j=1, p}$ – псевдообернена за Муром-Пенроузом $(q \times p)$ -матриця, така що $MM^+M = M$ [2]. Тоді матриці $P_M = E_q - M^+M$ і $P_{M^*} = E_p - MM^+$ є матрицями ортогонального проектування ($P_M^2 = P_M, P_{M^*}^2 = P_{M^*} = P_{M^*}^*$) просторів \mathbb{R}^n і \mathbb{R}^m відповідно на нуль-простори $\ker M = \{u \in \mathbb{R}^n : Mu = 0\}$ і $\ker M^* = \{v \in \mathbb{R}^m : M^*v = 0\}$.

Теорема. Нехай $\text{rank } M = r \leq \min\{m, n\}$. Тоді крайова задача (1), (2) має у просторі $AC[a, b]$ $(q-r)$ -параметричну сім'ю розв'язків вигляду

$$y(x) = \sum_{i=1}^{q-r} \varphi_i(x)c_i + \sum_{k=1}^p \sum_{v=0}^{q-1} K^{[v]}(x, a)m_{q-v, k}^+ (\eta_k - l_k y_g(\cdot)) + y_g(x) \quad (3)$$

де $\varphi_1(x), \dots, \varphi_{q-r}(x)$ – повна система $q-r$ лінійно незалежних розв'язків однорідної ($g = 0, \eta_k = 0$) крайової

задачі, а $y_g(x) = \frac{\text{sign}(x-t)}{2} \int_a^b K(x, t)dg(t)$ – частинний розв'язок КДР (1) якщо і тільки якщо $g \in BV^+[a, b]$ і $\eta_k \in \mathbb{R}$ ($k = \overline{1, p}$) задовольняють умову, що містить $(p-r)$ співвідношень:

$$P_{M^*} (\eta_1 - l_1 y_f(\cdot), \eta_2 - l_2 y_f(\cdot), \dots, \eta_p - l_p y_f(\cdot)) = 0 \quad (4)$$

Для єдності розв'язку цієї задачі необхідно і достатньо виконання додаткової умови

$$P_M = 0. \quad (5)$$

В якості наслідків з цієї теореми розглядаються три “крайні” випадки, коли $\text{rank } M = q < p$, $\text{rank } M = p < q$ і $\text{rank } M = p = q$. Зокрема в останньому з них крайова задача (1), (2) має єдиний розв'язок $y \in AC[a, b]$ тоді і тільки тоді, коли $\det M \neq 0$. При цьому розв'язок зображається в інтегральному вигляді $y(x) = \int_a^b G(x, t)dg(t)$, де функція Гріна

$$G(x, t) = \frac{(-1)^q}{\det M} \begin{vmatrix} K(x, a) & \dots & K^{[q-1]}(x, a) & \Phi(x, t) \\ l_1 K(x, a) & \dots & l_1 K^{[q-1]}(x, a) & l_1 \Phi(x, t) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ l_q K(x, a) & \dots & l_q K^{[q-1]}(x, a) & l_q \Phi(x, t) \end{vmatrix},$$

$$\Phi(x, t) = \frac{\text{sign}(x-t)}{2} K(x, t).$$

Висновки

Постановка крайової задачі у вигляді (1), (2) дозволяє охопити значну кількість випадків – від початкових і крайових задач для лінійних звичайних диференціальних рівнянь до задач з багатоточковими умовами інтегрального типу для лінійних квазидиференціальних рівнянь з неперервними коефіцієнтами та коефіцієнтами імпульсного типу. Умова (4) теореми разом з умовою (5) цієї теореми дають відповідь на питання, чи існує розв'язок крайової задачі (1), (2), і в разі його існування – чи є він єдиним. На основі відомих алгоритмів обчислення псевдооберненої матриці формула (3) дозволяє конструктивно будувати розв'язок цієї задачі, а функція Гріна дозволяє зобразити розв'язок в інтегральному вигляді.

Відзначимо також, що у критичному випадку ($P_{M^*} \neq 0$) коли крайова задача (1), (2) нерозв'язна, для подальшого її дослідження важливо отримати критерій розв'язності збуреної задачі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Тацій Р.М., Стасюк М.Ф., Мазуренко В.В., Власій О.О. *Узагальнені квазидиференціальні рівняння*. Дрогобич: Коло, 2011.
- [2] Boichuk A.A., Samoilenko A.M. *Generalized Inverse Operators and Fredholm Boundary-Value Problems*. VSP, Utrecht, Boston, 2004.
- [3] Тацій Р.М., Мазуренко В.В. “Условия разрешимости многоточечной задачи для обобщенной дифференциальной системы,” *Доклады НАН Беларуси*, т. 55, № 3, сс. 12-16.

СЕКЦІЯ 8.

Архітектура комп'ютерних мереж, систем та компонентів

Побудова та аналіз завадостійких процесорних архітектур

Ю.О. Гунченко

кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна

Е.Ю. Морозова

кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна

П.С. Ємельянов

кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна

Е.А. Любкевич

кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова
Одеса, Україна

Construction and analysis of jam protected CPU design

Y. Gunchenko

department of the mathematical providing of the computer systems

Odessa national university of the name I.I. Mechnikov
Odessa, Ukraine

E. Morozova

department of the mathematical providing of the computer systems

Odessa national university of the name I.I. Mechnikov
Odessa, Ukraine

P. Emelianov

department of the mathematical providing of the computer systems

Odessa national university of the name I.I. Mechnikov
Odessa, Ukraine

E. Lyubkevich

department of the mathematical providing of the computer systems

Odessa national university of the name I.I. Mechnikov
Odessa,

Анотація — В роботі проаналізовано принципи побудови завадостійких видів архітектури процесорів для сучасних обчислювальних систем. Описано функціонування і особливості модернізації для трьох видів архітектури, показано їх переваги та недоліки, наведено залежності швидкості роботи (кількості інструкцій, що виконуються) від ймовірності помилки обчислювань.

Abstract — In this paper the principles of jam protected CPU design for modern computing systems are analyzed. Functioning and features of modernization for three CPU designs are described, their advantages and disadvantages are shown, dependences of work's speed (number of executed instructions) from probability of an error of calculations are given.

Ключові слова — процесор, завадостійка архітектура, сигнатура, обчислювальна система.

Keywords — processor, CPU design, signature, computing system.

I. ВСТУП

У сучасних обчислювальних системах спеціального призначення часто стоїть проблема надійності. При цьому вирішуються три типи завдань:

- підвищення надійності зберігання даних;
- підвищення надійності передачі даних;
- підвищення надійності обчислень (достовірності отриманих даних).

Завдання першого та другого типів спрямовані на виявлення та усунення помилок, що виникають при

передачі або зберіганні даних, і основи їх вирішення мають математичний або фізичний характер. Існує безліч різних способів підвищення надійності зберігання та передачі даних: використання контролю (біта) парності, кодів Хеммінга, Хаффмана і інших, більш складних кодів.

Рішення ж завдань третього типу пов'язано зі змінами архітектури обчислювальних пристроїв і самої системи в цілому.

Необхідність підвищення надійності обчислень найбільш сильно відчувається при організації розподілених обчислень, а також побудові розподілених систем управління різноманітного призначення. Проблема підвищення надійності обчислень на даний момент є актуальною, а її рішення - користуються попитом. Підвищення надійності обчислень за допомогою зміни архітектури може бути як непрямим, так і безпосередньо впливати на надійність обчислень.

II. ПОБУДОВА ТА АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКИХ ПРОЦЕСОРНИХ АРХІТЕКТУР

Архітектура 1. На рис. 1 представлена структурна схема завадостійкого процесора. Блок виконання команд 101 з'єднаний з лічильником команд 102, файл-регістром 103, буфером запису 104, блоком генерації сигнатури 105 і блоком контролю помилок 106. Лічильник команд 102, файл-регістр 103 і регістр сигнатури 107 з'єднані з відповідними контрольними регістрами 108, 109, 110.

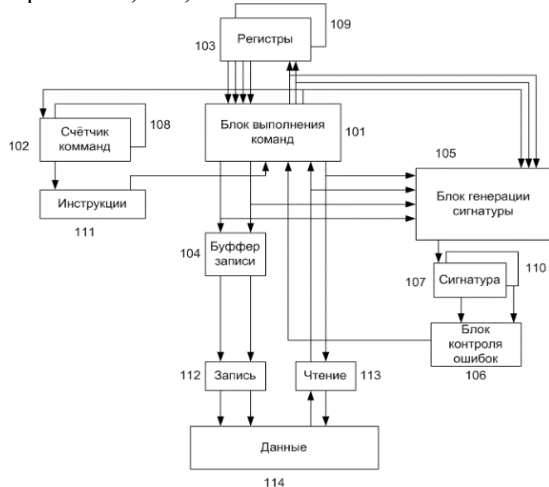


Рис. 1. Структура процесора

Файл-регістр 103 має контрольний регістр 109, який може зберігати поточний стан файл-регістра (створення контрольної точки) і може відновлювати значення файл-регістра з контрольної точки. Лічильник команд 102 має контрольний регістр 108, здатний зберігати поточний значення лічильника команд і відновлювати його значення. Блок виконання команд 101 виконує інструкції, що містяться в пам'яті 111, на які вказує лічильник команд 102. Інструкції зчитуються і змушують блок виконання команд 101 оперувати вмістом файл-регістра 103. Блок виконання команд 101 також може зберігати дані 112 і завантажувати 113 з пам'яті 114. Буфер запису 104 містить дані, які повинні бути записані в пам'ять. Ця операція виконує дві

функції. По-перше, буфер запису 104 звільняє процесор від зупинок під час операцій запису. По-друге, буфер запису 104 містить дані, які можуть бути використані або відкинуті в разі виникнення помилки. Зауважимо, що буфер запису 104 не може бути джерелом даних, якщо адреса даних при завантаженні збігається з адресою даних, записаних у буфері запису 104. Це обмеження необхідне для досягнення відмовостійкості даної архітектури. Блок генерації сигнатур 105 приймає всі результати обчислені блоком виконання команд 101. До них також відносяться всі завантажені дані. Спосіб обчислення сигнатури в даній роботі не розглядається. Блок генерації сигнатур 105 зберігає обчислену сигнатуру до відповідного регістру 107. Регістр сигнатури 107 має свій контрольний регістр 110, в який записується поточне значення сигнатури, при цьому контрольна копія сигнатури 110 ніколи не записується назад в регістр сигнатур 107. Блок контролю помилок 106 контролює запис в контрольні регістри 108, 109, 110, контролює очищення буфера запису 104 і порівнює поточну сигнатуру 107 з попередньою 110.

У стані "0" процесор виконує інструкції для формування сигнатури, яка буде використовуватися в наступному стані для виявлення помилки.

У стані "1" заново виконуються всі команди для визначення наявності помилки. Якщо сигнатури збігаються, то помилки не було. Процесор переходить в стан "0". Якщо поточна сигнатура не збігається з попередньою, значить виявлена помилка і процесор переходить в стан "2".

Стан "2" починається з очищення буфера запису. Це робиться у зв'язку з тим, що була виявлена помилка і дані, що зберігаються в ньому, можуть бути невірними. Після всіх дій в стані "2", процесор переходить в стан "0".

Архітектура 2. Внесемо невеликі зміни в вихідну архітектуру і алгоритм функціонування, а саме змінимо алгоритм в стані "2".

Відмінність від початкової архітектури тільки в одному з блоків і в кінцевому переході в стан "1". Таким чином, якщо перехід в стан "2" не був здійснений (не було помилки), то відмінностей між даною архітектурою та початковою не буде. Якщо ж перехід в стан "2" був здійснений (була помилка), то очищається буфер запису. Стан "1" буде починатися в тих самих початкових умовах, що і в попередній раз за винятком того, що в контрольному регістрі сигнатури 110 буде зберігатися нове значення сигнатури. Внесена зміна призвела до того, що блок контролю помилок вважатиме результат вірним, якщо його сигнатура збігається з сигнатурою попереднього результату.

Архітектура 3. Архітектуру процесора можна додатково модифікувати, шляхом додавання контрольного регістра сигнатури 2 і мажоритарного елементу та відповідною зміною станів "1" і "2".

Після підрахунку сигнатури виконується її порівняння з сигнатурами, що зберігаються в контрольних регістрах за допомогою мажоритарного елементу. У контрольному регістрі на момент порівняння зберігається сигнатура попереднього

результату. Контрольний регістр на момент першого порівняння проініціалізовано, а при наступних порівняннях буде містити сигнатуру, отриману на попередньому кроці.

Таким чином, блок контролю помилок вважатиме результат правильним, якщо його сигнатура збігається з однією з двох попередніх сигнатур.

III. ПОРІВНЯННЯ АРХІТЕКТУР

Визначимо ймовірності отримання помилкового результату (помилковою сигнатури) для трьох розглянутих архітектур процесорів.

Припустимо ймовірність отримання помилкової сигнатури на кожному циклі (кроці) рівноймовірної та рівній p , тоді ймовірність отримання вірної сигнатури $q = 1 - p$. Виконання команди менш ніж за два цикла неможливо ні в одній з трьох розглянутих архітектур. Позначимо через $P_i(n)$ ймовірність виконання команди на n -му кроці в i -й архітектурі. Виконання команди менш ніж за 2 кроки в розглянутих архітектурах неможливо і тому $P_i(n)=0$, при $n < 2$ для будь-якого i . Також відзначимо, що $P(2) = q^2$ для будь-якої архітектури, тому що відмінності в них спостерігаються тільки при виявленні помилки, а прийняття результату на другому кроці свідчить про її відсутність.

В архітектурі 1.

$$P_1(n = 2k) = q^2(1 - pq)^{k-1} \quad (1)$$

В архітектурі 2.

$$P_2(n) = p(p-1)^2(1 - F(n-3)) \quad (2)$$

де $F(n) = \sum_{i=1}^n P(i)$ – функція розподілу, що дорівнює ймовірності отримання правильного результату за n -менш циклів.

В архітектурі 3 з використанням мажоритарного елемента.

$$P_3(n) = (1 - F(n-4))(pq)^2 + (1 - F(n-5))p(pq)^2 \quad (3)$$

або

$$P_3(n) = (1 - F(n-4) + pF(n-5))(pq)^2 \quad (4)$$

де $F(n) = \sum_{i=1}^n P(i)$ – функція розподілу, що дорівнює ймовірності отримання правильного результату за n -менш циклів.

Середня кількість циклів (фактично інструкцій), за які буде виконана поодинокі інструкція для будь-якої архітектури визначається математичним очікуванням функції $P_i(n)$ відповідної архітектури, і безпосередньо залежить від ймовірності помилки p :

$$N_{cp} = \sum_{i=1}^{\infty} iP(i)$$

На Рис. 2, 3 наведені залежності середнього числа виконуваних циклів від ймовірності помилки p . Вихідній архітектурі відповідають графіки 1, модифікованої - 2, архітектурі з використанням мажоритарного елемента - 3.

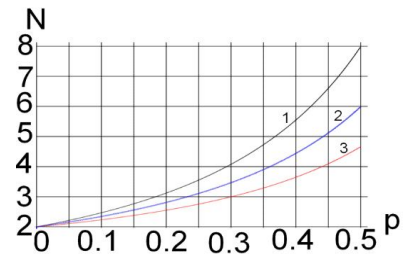


Рис. 2. Среднее число циклов при $p < 0,5$

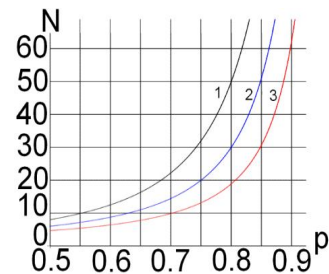


Рис. 3. Среднее число циклов при $p > 0,5$

Як видно з Рис. 2, 3, при будь-якій ймовірності помилки p для архітектури 3 з мажоритарним елементом середня кількість циклів (виконання інструкцій) для отримання результату мінімальна, а для вихідної архітектури 1 - максимальна.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано принципи побудови завадостійких архітектур процесорів для сучасних обчислювальних систем. Описано функціонування і особливості модернізації для трьох архітектур, показані їх переваги та недоліки, наведені залежності швидкості роботи (кількості виконуваних інструкцій) від ймовірності помилки обчислень

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Затуливетер Ю.С., Фищенко Е.А., Ходаковский И.А. Разработка и исследование методов повышения надёжности распределённых вычислений. Журнал "Надёжность" 2009г. Вып.1, с. 42-49.
- [2] Матушевский В.В., Гунченко Ю.А. Вычислительные системы (учебное пособие). – Одесса: ВМВ, 2011. 204 с.
- [3] Donald E. Steiss, Single event upset tolerant microprocessor architecture – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph/Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=ALL&p=1&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=6,571,363.PN.&OS=PN/6,571,363&RS=PN/6,571,363>.
- [4] Гнеденко Б.В. Курс теории вероятности: Издание шестое, Москва "Наука" 448с.
- [5] Иванов М.А., Чугунков И.В., Теория, применение и оценка качества генераторов, М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003.
- [6] Пат 67752 Україна, МПК(2006.01) G06F 12/08. Пристрій підвищення завадостійкості систем з програмним управлінням / Гунченко Ю.О., Мартинюк С.М., Ленков С.В., Омельченко О.С., Купрацевич А.В.; власник Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова. - № u201107423, заявл. 14.06.2011, опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
- [7] Омельченко А.С., Мигов И.В., Гунченко Ю.А. Архитектура процессора для отказоустойчивых вычислительных систем. // Восьма Региональна конференція студентів і молодих науковців. 2011р. с.17-18.
- [8] Пат 76984 Україна. МПК (2006.01) G06F 11/27. Відмовостійкий процесорний пристрій з підвищеною швидкістю / Гунченко Ю.О., Ленков С.В., Кобозева А.А., Мартинюк С.М., Борисенко І.І.; власник Одеський національний політехнічний університет. - №u2012 07958, заявл. 27.06.2012, опубл. 25.01.2013, Бюл. №2.
- [9] Гунченко Ю.О., Омельченко А.С., Пенко О.А. Завдастійкий процесорний пристрій з підвищеною швидкістю. // Тези доповідей Третьої Міжнародної науково-практичної конференції «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації» 2011р с. 42

Широтно-імпульсна модуляція сигналу живлення фотодіода на ATmega 328P для неінвазивних пристроїв вимірювання рівня глюкози в крові

М. В. Котик, І. Т. Когут
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна. E-mail: igorkohut2202@gmail.com

Pulse-width modulation signal power on the photodiode ATmega328P for noninvasive blood level glucose meters

М. Kotyk, I. Kogut
Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine. E-mail: igorkohut2202@gmail.com

Анотація — В роботі наведено результати моделювання та проектування пристрою широтно-імпульсного моделювання (ШИМ) сигналу на базі мікроконтролера (МК) ATmega328p. Такі пристрої можуть забезпечувати елементи стабільною напругою живлення, і маючи високий ККД вони можуть знайти широке практичне застосування.

Abstract — In this paper presents the results of the simulation and design of device simulation pulse width (PWM) signal based microcontroller (MCU) ATmega328p. These devices can provide stable voltage supply elements, and with high efficiency they can find wide application.

Ключові слова— широтно-імпульсна модуляція (ШИМ), ATmega328p, неінвазивні глюкометри, живлення фотодіода.

Keywords — pulse width modulation (PWM), ATmega328p, noninvasive blood glucose meter, power of photodiode.

I. ВСТУП

Важливим первинним елементом для неінвазивних пристроїв контролю рівня глюкози в крові людини є фотодіоди і фотоприймачі, які функціонують на довжині хвилі $\lambda=940$ нм. Стабільність і точність роботи таких пристроїв в значній мірі залежить від стабільності напруги живлення фотоелементів. Тому в даній роботі досліджено і промодельовано ШИМ (широтно-імпульсна модуляція, англ. Pulse Width Modulation або PWM) сигналу для живлення пари – випромінюючого

світлодіода та чутливого фотоелемента з використанням мікроконтролера ATmega328p.

II. Широтно -Імпульсна Модуляція

Широтно-імпульсна модуляція - наближення бажаного сигналу (змінного або постійного в часі) до дійсних бінарних сигналів (з двома рівнями - вкл / викл), так, що в середньому, за деякий відрізок часу, їх значення рівні (рис. 1).

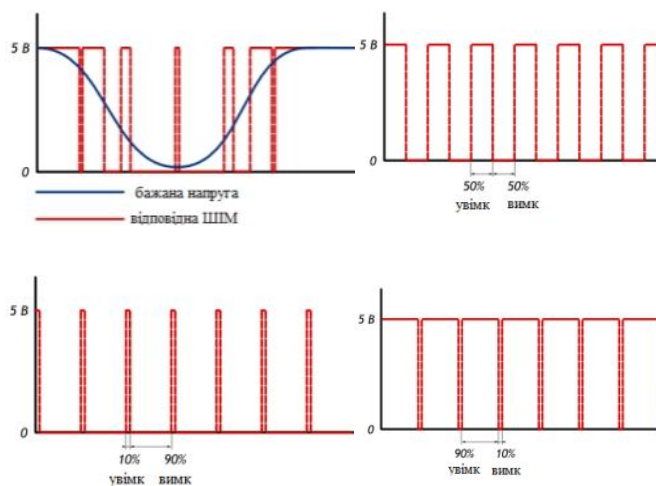


Рис. 1. Різні шпаруватості ШИМ: а) –еквівалент кривої; б) - 10% — еквівалент 0,5 В; в) - 50% — еквівалент 2,5 В; г) - 90% — еквівалент 4,5 В.

Результатом ШІМ є імпульсний сигнал постійної частоти і змінної шпаруватості, тобто відношення періоду проходження імпульсу до його тривалості. Змінюючи величину шпаруватості (відношення часу увімкнення і вимкнення, англ. duty cycle), можна міняти середню напругу на виході ШІМ. У цифрових логічних пристроях, на виходах яких можуть бути тільки логічні рівні «0», «1» або невизначений стан, наближення бажаного середнього рівня виходу за допомогою ШІМ є абсолютно звичним.

III. РЕЖИМИ АПАРАТНОЇ ШІМ

Апаратно ШІМ може бути здійснена в декількох режимах із зазначеними кодами МК ATmega328p (рис.2):

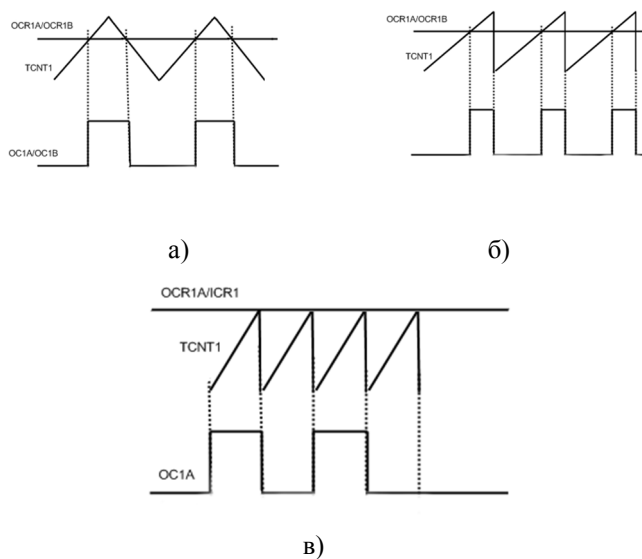


Рис. 2. Режими генерації ШІМ: а) – симетрична ШІМ; б) – швидка ШІМ; в) – скидання при збігу.

- Симетрична ШІМ: у цьому режимі таймер рахує від нуля до певного значення, залежно від режиму, а потім рахує в зворотному напрямку до нуля. Вивід OCxx при першому збігу з регістром порівняння скидається, при другому встановлюється;

- Швидка ШІМ: у цьому режимі таймер працює так : збільшує змінну TCNTX від 0 до top , при переповненні TCNTX вона скидається в 0 , і рахунок починається знову; при кожному збільшенні TCNTX перевіряє, чи не рівний він регістру порівняння OCRXA / OCRXB, якщо дорівнює, то відповідний йому вивід OCxx встановлюється в нуль, а при обнуленні лічильника цей вивід встановлюється в 1;

- Встановлення при збігу: таймер рахує від 0 до регістру порівняння, при збігу з регістром порівняння скидається в 0. Цей режим добре підходить для регулювання частоти, або коли потрібно відраховувати періоди.

IV. ПРОЕКТУВАННЯ ДЖЕРЕЛА ШІМ СИГНАЛУ НА ATMEGA 328P

На основі мікроконтролера ATmega328p розроблено відкриту програмовану апаратну платформу, для роботи з різними фізичними об'єктами. Нами було використано цю платформу, для проектування джерела ШІМ сигналу (рис 3).

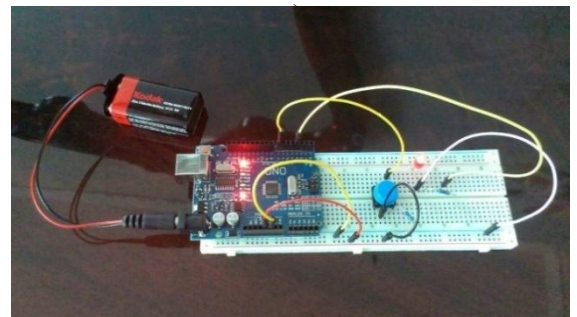
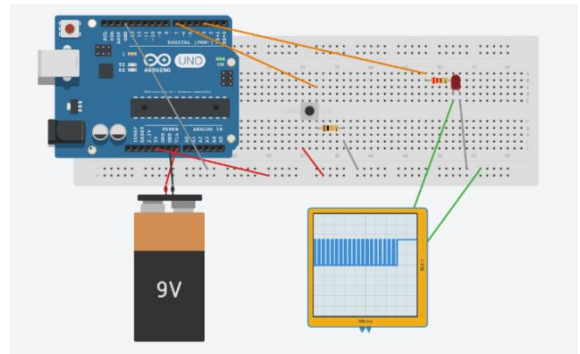


Рис. 3. Програма (а), та практична (б) реалізація джерела ШІМ сигналу на МК ATmega328p

ВИСНОВКИ

Завдяки основній перевазі ШІМ - високому ККД його підсилювачів потужності, який досягається за рахунок використання виключно в ключовому режимі, значно зменшується виділення потужності на силовому перетворювачі. Результати дослідження показують, що програмування і схемна реалізація ШІМ сигналу на МК ATmega328p дозволить отримувати стабільні напруги живлення для оптоелектронної пари – світлодіод – фотоприймач, і окрім цього, цей мікроконтролер одночасно буде використаний для обробки вимірних даних, їх збереження на записуючому пристрої та виведення на дисплей у зручному для читання вигляді.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] А.В. Белов, Микроконтроллеры AVR от азов программирования до создания практических устройств, М., Академия, -2008
- [2] <https://123d.circuits.io/circuits/1979267-fast-pwm-article>
- [3] И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь, Основы микроэлектроники, М., Лань, -2008.
- [4] И.П. Степаненко, Основы микроэлектроники, М., Лаборатория Базовых Знаний, -2001.
- [5] В. И. Марголин, Физические основы микроэлектроники, М., Академия, -2008

Моделювання термодинамічних процесів в сталевих резервуарах за умов пожежі

Чернецький В.В., Семерак М.М., Михайлишин М.Р.
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Львів, Україна

Modelling thermodynamic process in steel tanks during the fire

Chernetskiy V.V, Semerak M.M., Mykhaylyshyn M.R.
Lviv State University of Life Safety
Lviv, Ukraine

Анотація— В роботі досліджено теплові потоки та їх вплив на характер нагріву нафтопродукту. При розв'язанні даної задачі було розглянуто два випадки: теплове випромінювання від бічних стінок резервуара і теплове випромінювання від стаціонарної покрівлі резервуара

Abstract— During fires in tank parks the heat flow from the flame of fire heated surface adjacent tanks. The most intensely heated roof and upper sidewall belt which do not contact with the oil. Heated reservoir elements in turn radiate heat to the surface of the mirror petroleum product which there is in the tank. In the work the heat flows and their impact on the nature of heat of the petroleum product is investigated. To solving this problem we considered two cases: a) thermal radiation from the side walls of the tank; b) thermal radiation from fixed roof tank.

The analysis shows that the increasing of the reservoir radius implies the increasing of the heat flows. Also the increasing the value of h implies the decreasing of the heat flows.

Ключові слова— моделювання теплових потоки, нафтові резервуари

Keywords— modeling of heat flows, oil tanks

I. ВСТУП

При пожежах в резервуарних парках теплові потоки від факелу полум'я пожежі нагрівають поверхні сусідніх резервуарів. Найбільш інтенсивно нагрівається покрівля і верхні пояси бічної стінки яка не контактує з нафтопродуктом. Нагріті елементи резервуара в свою чергу випромінюють тепло на поверхню дзеркала нафтопродукту, що знаходиться в резервуарі.

В роботі досліджено теплові потоки та їх вплив на характер нагріву нафтопродукту. При розв'язанні даної задачі було розглянуто два випадки: а) теплове випромінювання від бічних стінок резервуара; б) теплове випромінювання від стаціонарної покрівлі резервуара (рисунок 1)

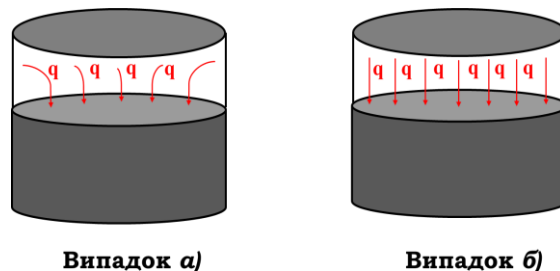


Рис. 1. Схема дії теплових потоків на дзеркало нафтопродукту. *a* – від нагрітої бокової стінки резервуару, *б* – від нагрітої покрівлі

Сумарна інтенсивність теплового потоку визначається за формулою

$$q = q_1 + q_2 \quad (1)$$

де q_1 - інтенсивність теплового потоку яку випромінюють бічні стінки резервуару, $Вт/м^2$; q_2 - інтенсивність теплового потоку яку випромінює покриття резервуару, $Вт/м^2$.

Інтенсивності теплового потоку q_1 і q_2 визначаються за формулою [1]

$$q_{1,2} = \varepsilon_{прн} \psi_{1,2} \cdot 5,67 \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

де $\varepsilon_{прн} = \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1}$ приведений ступінь чорноти системи нафтопродукт-стінка резервуару; ε_1 - ступінь чорноти стінки резервуару 1; ε_2 - ступінь чорноти поверхні нафтопродукту; $\psi_{1,2}$ - кутовий коефіцієнт випромінювання, T_1 - температура дзеркала нафтопродукту, що нагрівається від теплового потоку, К; T_2 - температура внутрішньої стінки резервуару, що нагрівається внаслідок зовнішньої пожежі, К.

Для **випадку а)** кутовий коефіцієнт ψ_1 визначається за формулою [2]

$$\psi_1 = \left(\frac{C^2 + 0,5}{\sqrt{C^2 + 1}} \right) - C \quad (3)$$

де $C = \frac{b}{2 \cdot R}$; R - радіус резервуару, м; $b = h/2$, м.

Для **випадку б)** кутовий коефіцієнт ψ_2 визначається за формулою

$$\psi_2 = 0,5 \left(B - \sqrt{B^2 - 4} \right) \quad (4)$$

де $B = 1 + \frac{1+A^2}{A^2}$; $A = R/h$; R - радіус резервуару, м.

З врахуванням виразу (3) і (4) досліджено зміну інтенсивності теплових потоків в залежності від радіуса резервуару R , і величин b та h . При розрахунку приймалися такі вихідні дані: температура внутрішньої стінки резервуару, що нагрівається внаслідок зовнішньої пожежі $T_2 = 823$ К, температура дзеркала нафтопродукту, що нагрівається від теплового потоку $T_1 = 300$ К. Ступінь чорноти стінки резервуару $\varepsilon_1 = 0,76$, а дзеркала нафтопродукту - $\varepsilon_2 = 0,95$. Результати досліджень зображені графічно на рисунку 2.

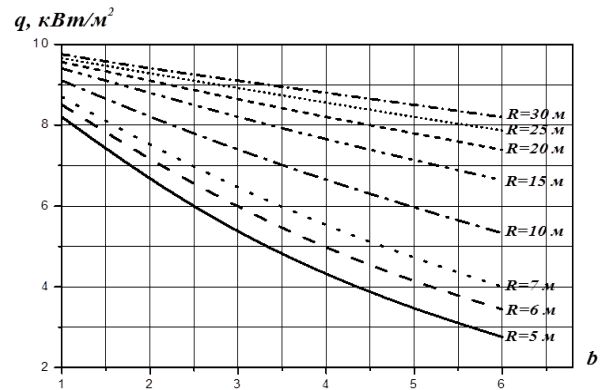


Рис. 2. Залежність інтенсивності теплового потоку від b , при фіксованих радіусах резервуару

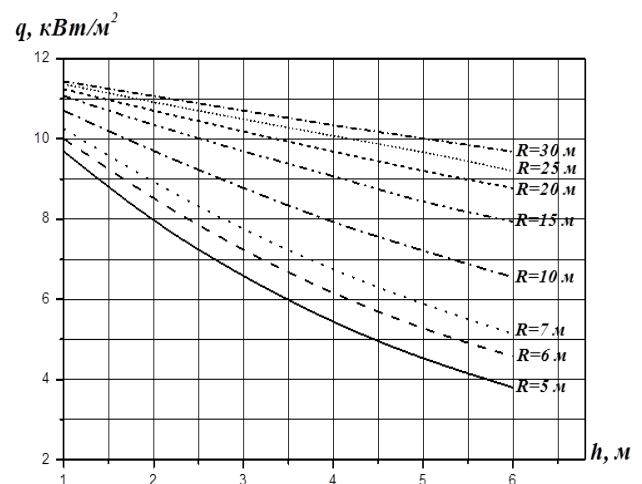


Рис. 3. Залежність інтенсивності теплового потоку від відстані нагрітої поверхні резервуару до дзеркала нафтопродукту, при фіксованих радіусах резервуарів

Аналіз графічних залежностей показує, що при збільшенні величини радіуса резервуару R тепловий потік збільшується. При збільшенні величини h тепловий потік зменшується.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Р. Зигель, Дж. Хауэлл, Теплообмен излучением, М.: Мир, 1975.

З М І С Т

СЕКЦІЯ 1.....3 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

<i>Визначення дефектів друкованих плат з допомогою особливих точок скелетону зображення</i>	4
Р.А. Мельник, В.Я. Кончук	
<i>Радіовимірjuвальний перетворювач тиску з MEMS чутливим елементом</i>	7
О.В. Осадчук, Я.О. Осадчук	
<i>Засоби аналізу процесів перетворення інформації в системах управління</i>	10
О.О. Ушкаренко	
<i>Безпроводна передача даних з використанням мікроконтролера PSoC 4 BLE</i>	12
М. М. Собко, Б. Я.Благітко	
<i>Формування масиву вхідних даних в інтелектуальній системі мобільного робота</i>	14
О.В. Харченко	
<i>Метод класифікації масиву вхідних даних в інформаційній технології багаторівневого кризового моніторингу</i>	16
С.В. Голуб, А.С. Авраменко	
<i>Інтелектуальний пошук відомостей технічними системами інформаційного моніторингу</i>	18
М.С. Голуб	
<i>Гібридний еволюційний алгоритм формування топології глибокої нейромережі</i>	20
Д.Ю. Коваль, О.І. Чумаченко	
<i>Метод побудови прогнозуючої моделі з динамічними параметрами</i>	23
В.М.Синеглазов, О.І. Чумаченко, В.С. Горбатюк	
<i>Покращення ефективності структури навчального контенту шляхом використання баз знань</i>	27
Т.Р. Стисло, М.С. Чесановський, Р.В. Рошак	
<i>Особливості визначення коефіцієнта теплопровідності металеві пластини</i>	31
Ю.Й. Стрілецький, В.А. Ровінський	
<i>Система верифікації топології VLSI</i>	34
С.П. Новосядлий, Л.В. Мельник	

СЕКЦІЯ 2.....346 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СОЦІУМІ, ОСВІТІ, МЕДИЦИНІ, ЕКОНОМІЦІ ТА ЕКОЛОГІЇ

<i>Застосування кластерного аналізу та багатофакторних моделей для визначення основних психофізіологічних функцій школярів</i>	37
Н. І. Осадчук	
<i>Новий підхід до формування бази модельних знань</i>	40
С.В. Голуб, І.А. Жирякова	
<i>Мінімізація ризику лікарської помилки в системах підтримки прийняття рішень в медицині</i>	43
А.І. Поворознюк, О.А. Поворознюк	
<i>Географічна інформаційна система яка зберігає дані про графіті в місті Лодзь</i>	45
Я. Роговський	
<i>Аналіз і оцінка екологічного стану регіонів з використанням grid-технологій</i>	47
О.М. Гладка, Л.В. Зубик, І.М. Карпович, В.О. Савич	
<i>Розробка веб-інтерфейсу системи інформаційного забезпечення аграрного виробництва</i>	49
О.С. Демчук, В.П.Ковальчук	
<i>Геометричний метод розпізнавання облич: характерні ознаки</i>	51
І.В. Голу'як	
<i>Розробка комунікаційної стратегії із застосуванням аналізу даних соціальних медіа</i>	53
О.М. Степанова, А.А. Волков	
<i>Практика використання теорії масового обслуговування в курсі предмету «Архітектура обчислювальних систем»</i>	58
Петришин Л.Б., Вашкелевич В.	
<i>Соціальні інтернет-сервіси як інструмент масової комунікації</i>	60
К.В. Молодецька	
<i>Застосування інтелімедійних інформаційних технологій в навчальному процесі</i>	62
В.Д. Мельник, В.І. Шекета, Ю.Л. Романишин, О.Б. Гургула	
<i>Проблема реформування ІТ-освіти в Україні</i>	65
О.М. Дудка, Я. Я. Никорак	
<i>Формування ІКТ-компетентності учнів початкової школи</i>	67
О. О. Власій, О.М. Дудка, Ю. А. Минай	

СЕКЦІЯ 3.....69
ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЇ, КОДУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Динамічна теорія інформації – основа систем реального часу.....</i>	<i>70</i>
В.П.Боюн	
<i>Аналіз Базису Уолша як Перехідної Системи до Систем Функцій із Рекурсивним Впорядкуванням.....</i>	<i>75</i>
Л.Б. Петришин	
<i>Визначення розширеного поля Галуа $GF(dm)$ з найменшою апаратною складністю помножувача.....</i>	<i>80</i>
І.М. Жолубак, В. С. Глухов	
<i>Моделювання процесів ПФІ в позиційних адитивних системах числення на основі методу індикаторних моделей</i>	<i>82</i>
М.Л. Петришин	
<i>Статистичне дослідження генераторів випадкових чисел</i>	<i>85</i>
М.В. Семаньків	
<i>Деякі аспекти програмної реалізації генераторів псевдовипадкових послідовностей</i>	<i>87</i>
О. Гейко, С. Доліновська	

СЕКЦІЯ 4.....90
ЦИФРОВА ОБРОБКА ТА УЩІЛЬНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

<i>An Automatic Face Detection and Gender Classification</i>	<i>91</i>
Piotr Milczarski, Zofia Stawska	
<i>Secure Communication Using SDEx Method</i>	<i>93</i>
Piotr Milczarski, Artur Nłobaż, Krzysztof Podlaski	
<i>Порівняння швидкості потоку запропонованих методів сіткового кодування геометрії</i>	<i>95</i>
Н.С. Самусь, О.В. Ошаровська	
<i>Дослідження комутуючої мережі Бенеша на основі просторово-часових графів</i>	<i>97</i>
В.М. Грига	
<i>Програмна реалізація моделі аналогового генератора за допомогою цифрових хвильових фільтрів</i>	<i>99</i>
В.А. Ровінський, О.В. Євчук	
<i>Аналіз вібраційних характеристик за допомогою мобільного Android-пристрою.....</i>	<i>102</i>
В. О. Горелов	
<i>Алгоритм ортогонального перетворення в системах функцій Галуа</i>	<i>104</i>
Н.В. Превисокова	

СЕКЦІЯ 5.....106
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<i>Контроль доступу віддалених абонентів до ресурсів інформаційних систем.....</i>	<i>107</i>
В.О.Темніков	
<i>Структури операційних пристроїв для реалізації псевдодетермінованих криптографічних перетворень</i>	<i>109</i>
Ю. В. Барішев	
<i>Дослідження атак на відмову в обслуговуванні</i>	<i>111</i>
О. П. Войтович, Е.І. Колібабчук	
<i>Дослідження структури простору опису образів сеансових ключів.....</i>	<i>113</i>
В.Є. Глущенко, М.Л. Петришин	
<i>Про неіснування матриць максимального індексу розгалуження над кільцем лишків за модулем</i>	<i>116</i>
С.В. Яковлев, В.В. Дідан	
<i>Перевірка «випадковості» генерації S-блоків алгоритму шифрування ДСТУ 7624:2014.....</i>	<i>118</i>
М.П. Оксьоненко, С.В. Яковлев	
<i>Метод та спеціалізований процесор для байт-орієнтованого гешування даних</i>	<i>120</i>
В.А. Лужецький, Д.В. Кисюк, А.О.Комаров	
<i>Дослідження примітивів малоресурсної криптографії</i>	<i>123</i>
В. П. Семеренко.....	<i>123</i>

СЕКЦІЯ 6.....128

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

<i>Моделювання динаміки пуску верстата</i>	129
Л.Ф. Дзюба, О.В. Меньшикова, М.І. Кусій	
<i>Implementation of Late Name Binding, Asynchronous Pi-Calculus in Maude</i>	131
Bartosz Zielinski, Paweł Maślanka	
<i>Використання дробових похідних за часом для дослідження фільтрації газу в пористих середовищах</i>	133
Н.Б. Лопух, Я.Д. П'янило, О. Б. Браташ	
<i>Моделювання стаціонарних процесів теплопровідності в тілах випадкової структури з використанням діаграм Фейнмана</i>	135
О.Ю. Чернуха	
<i>До побудови градієнтного типу моделі термопружних тіл</i>	138
О. Р. Грицина	
<i>Використання різних способів аналізу вхідних даних для обчислення цільової функції в задачах комбінаторної оптимізації</i>	140
Н.К. Тимофієва	
<i>Про один метод обчислення мультиплікатора Леонтьєва</i>	142
Мірзоахмедов Ф.	
<i>Аналіз динаміки зміни середньої затримки пакетів на інтерфейсі маршрутизатора телекомунікаційної мережі</i>	147
О. Лемешко, О. Єременко	
<i>Математичне та комп'ютерне моделювання поширення домішки двома шляхами у середовищі з випадковим прошиарком</i>	149
О. О. Власій	
<i>Моделювання процесів гетеродифузії двома шляхами за каскадного розпаду речовин</i>	152
В.Є. Гончарук	
<i>Чисельне інтегрування табличних функцій з використанням многочлена Тейлора</i>	155
Ю.І. Грицюк, М.Ю. Грицюк	
<i>Комп'ютерне моделювання процесу сушіння грануляту у псевдозрідженому шарі</i>	159
А. П. Сафоник, Ю. М. Мартинюк	
<i>Ідентифікація моделі розподілу вологості ґрунту на основі АБК</i>	161
М.П. Дивак, І.А. Мадюдя	
<i>Моделювання розповсюдження зовнішніх впливів у складних систем високого порядку</i>	163
О.Г. Малько, Є.А. Олійник	
<i>Про одну задачу фільтраційної консолідації та контактної суфозії ґрунтів (двовимірний випадок)</i>	165
В.А. Герус, П.М. Мартинюк, О.Р. Мічуга	
<i>Вплив ухилу поверхні на злет і приземлення квадрокоптера в автоматичному режимі польоту</i>	167
Б.Я. Благітко, Ю.С. Мочульський, І.М. Заячук	
<i>Багатошарове моделювання фізіологічного дозрівання людини</i>	170
І.В. Сопко	
<i>Імітаційне моделювання синтезу білків</i>	172
С.В. Беседіна, А.Ю. Кришгаль	
<i>Математичне моделювання солеперенесення в насичено-ненасичених шаруватих ґрунтах з врахуванням інфільтраційних та осмотичних процесів</i>	174
А.П. Власюк, Т.П. Цветкова	
<i>Гістерезисна стратегія для систем з обмеженим числом повторних спроб</i>	177
О.В. Прищепа	
<i>Математичне моделювання при оптимізації телекомунікаційних мереж</i>	180
Л.М. Колечкіна, О.С. Пічугіна	
<i>Моделювання тертя у викривлених нафтовидобувних свердловинах</i>	183
О.В. Євчук, В.А. Ровінський	
<i>Покращений степеневий метод знаходження найбільшого за модулем власного числа матриці</i>	185
Я.І. Кость	
<i>Математична модель та алгоритм розв'язання задачі упаковки опуклих багатогранників</i>	187
Ю. Стоян	
<i>Розробка Марковської Моделі для Оцінки Готовності Хмарної Інфраструктури</i>	189
А. О. Ільків, О. В. Муляк	
<i>Комп'ютерне моделювання кореляційної функції бета-розподілу для випадкових структур</i>	192
А.Є. Давидок	

<i>Комп'ютерне моделювання других моментів випадкового поля концентрації в півпросторі з ерлангівським розподілом шаруватих включень</i>	195
Ю.І. Білушак	
<i>Моделювання та дослідження термопружного стану термочутливого порожнистого циліндра за тепловідведення випаровуванням рідини</i>	198
І. Ракоча, В. Попович	
<i>Математичне моделювання електромеханічних систем з автономним електроживленням</i>	201
Г.Й. Боднар, Т.В. Гембара, О.В. Шаповалов	
<i>Моделювання базового елемента операційного підсилювача на основі матричної комірки для аналітичних мікросистем-на-кристалі</i>	204
В. В. Довгий, І. Т. Когут, В. І. Голота	
СЕКЦІЯ 7.....	206
ПРИКЛАДНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНО-НЕПЕРЕРВНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ	
<i>Загальна перша дискретно-неперервна крайова задача для рівняння гіперболічного типу</i>	207
Р.М. Тацій, О.О. Карабин, О.Ю. Чмир	
<i>Поперечні коливання в 'язкопружних поздовжньо-рухомих гнучких елементах</i>	210
Л.Ф. Дзюба, О.І. Хитряк	
<i>Прямий метод дослідження першої загальної крайової задачі для рівняння теплопровідності в прямокутнику</i>	213
О.М. Трусевич, М.І. Кусій	
<i>Моделювання процесу теплопереносу в багатошаровій плоскій конструкції з урахуванням руйнування довільного шару</i>	216
Р.М. Тацій, М.Ф. Стасюк, О.Ю. Пазен	
<i>Про розв'язність задачі з функціональними крайовими умовами для квазидиференціального рівняння з мірами в коефіцієнтах</i>	219
В. Мазуренко	
СЕКЦІЯ 8.....	221
АРХІТЕКТОНІКА КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ, СИСТЕМ ТА КОМПОНЕНТІВ	
<i>Побудова та аналіз завадостійких процесорних архітектур</i>	222
Ю.О. Гунченко, Е.Ю. Морозова, П.С. Ємельянов, Е.А. Любкевич	
<i>Широтно-імпульсна модуляція сигналу живлення фотодіода на ATmega 328P для неінвазивних пристроїв вимірювання рівня глюкози в крові</i>	225
М. В. Котик, І. Т. Когут	
<i>Моделювання термодинамічних процесів в сталевих резервуарах за умов пожежі</i>	227
Чернецький В.В., Семерак М.М., Михайлишин М.Р.	

Наукове видання

**"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"**

**матеріали
Міжнародної науково-практичної конференції
23–28 травня 2016 року
Івано-Франківськ**

**"INFORMATION TECHNOLOGIES
AND
COMPUTER MODELLING"**
proceedings
of the International Scientific Conference
2016, May, 23th to 28th
Ivano-Frankivsk

Науковий редактор: Л. Б.Петришин
Технічний редактор: В. З.Максимець
Коректор: Ю. Ю. Іляш
Комп'ютерна верстка: О. М. Голіней

Папір офсетний. Друк цифровий.
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 26,97.
Наклад 100 пр. Зам. № 113 від 23.05.2016 р.

Видавець: Супрун В.П.
м. Івано-Франківськ, вул. Володимира Великого, 12а/Х
тел./ф.: (0342) 71-04-40, e-mail: printsv@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовників
і розповсюджувачів видавничої продукції
Серії ІФ № 25 від 17.10.2005 р.

Друк: підприємець Голіней О. М.
76008, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 128
тел.: (0342) 58-04-32, +38 050 540 30 64