ISSN 2412-4338

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Є ЧЛЕНОМ МІЖНАРОДНОГО СОЮЗУ ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ

Т Е Л Е К О М У Н І К А Ц І Й Н І Т А І Н Ф О Р М А Ц І Й Н І Т Е Х Н О Л О Г І Ї

Науковий журнал

Виходить щоквартально

Засновано в січні 2003 р.

№ 2(55) 2017

Київ
Державний університет телекомунікацій
2017

Телекомунікаційні та інформаційні технології

Свідоцтво про державну реєстрацію № 20746-10546ПР від 30.04.2014 р. (перереєстрація)

До 2013 р. – **Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій**
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 6846 від 04.01.2003 р.

Засновник: Державний університет телекомунікацій

Журнал є науковим фаховим виданням України –
Наказ Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Козелков Сергій Вікторович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА
Бондарчук Андрій Петрович – к.т.н., доцент, Державний університет телекомунікацій, Україна.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР
Торошанко Ярослав Іванович – к.т.н., с.н.с., Державний університет телекомунікацій, Україна.

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:
Беркман Любов Наумівна – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Блаунштейн Натан Олександрович – д.т.н., проф., Університет Бен Гуріона, Ізраїль.
Весоловський Кшиштоф – д.т.н., проф., Познаньський технологічний університет, Польща.
Вишнівський Віктор Вікторович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Гостєв Володимир Іванович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Жураковський Богдан Юрійович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Каток Віктор Борисович – к.т.н., доцент, ПАТ «Укртелеком», Україна.
Климаш Михайло Миколайович – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна.
Конахович Георгій Филимонович – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, Україна.
Козелкова Катерина Сергіївна – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Коршун Наталія Володимирівна – к.т.н., доцент, Державний університет телекомунікацій, Україна.
Кузнецов Олександр Петрович – д.т.н., проф., Білоруський Держ. унів-т інформатики та електроніки, Білорусь
Куртєв Іван – д.т.н., проф., Вище училище-коледж телекомунікацій та пошт, Болгарія.
Лунтовський Андрій Олегович – д.т.н., проф., Державна академія Саксонії «Беруфсакадемія», Німеччина.
Отрох Сергій Іванович – к.т.н., доцент, ПАТ «Укртелеком», Україна.
Попов Валентин Іванович – д.ф.-м.н., проф., Ризький технічний університет, Латвія.
Поповський Володимир Володимирович – д.т.н., проф., Харківський нац. унів-т радіоелектроніки, Україна.
Сайко Володимир Григорович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Семенко Анатолій Іларіонович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.
Смирнов Микола Ісаакович – д.т.н., проф., Московський технічний університет зв'язку та інформатики, Росія.
Сундучков Костянтин Станіславович – д.т.н., проф., Національний технічний унів-т України «КПІ», Україна.
Толубко Володимир Борисович – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, Україна.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР З АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ
Танцюра Людмила Іванівна – Державний університет телекомунікацій, Україна.

Рекомендовано до друку Вченою радою Державного університету телекомунікацій
(протокол № 23 від 22 травня 2017 р.)

Редакція може не поділяти думок авторів. Відповідальність за зміст наданих матеріалів несуть автори.

Передплатний індекс:
86479

Журнал індексується в наукометричних базах
Google Scholar, РИНЦ.
Реферативна інформація видання представлена у
загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова»
та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ «Джерело»

Адреса редакції та видавця: ДУТ. Вул. Солом'янська, 7, м. Київ, 03680
Тел.: +380 (50) 555 51 14, +380 (44) 249 25 88
E-mail: tit@dut.edu.ua . **Сайт:** http://www.journal.dut.edu.ua

© Державний університет телекомунікацій, 2017
© Телекомунікаційні та інформаційні технології, 2017

З М І С Т

Сайко В. Г., Казіміренко В. Я., Лисенко Д. О., Грищенко Л. М. Нейро-нечітка модель вибору параметрів вікон прозорості в терагерцовому діапазоні ..…….. 5

Наконечный В. С., Терещенко А. И. Метод синтеза функции качества для оптимизации данных о параметрах процесса и продукции при реализации стратегии «качество на этапе разработки» …… 12

Заєць В. М., Бондарчук А. П., Сеньков О. В. Необхідність використання конвергентних білінгових систем ..…… 20

Отрох С. І., Ярош В. О., Власенко В. О., Зіненко Ю. М. Методи забезпечення стійкості мережі майбутнього до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів ……..……... 24

Круліковський О. В., Галюк С. Д., Політанський Л. Ф. Особливості вибору хаотичних систем для побудови генераторів псевдовипадкових послідовностей ….31

Андреева Н. А., **Дружинин В. А., Зуев В. А.** Приемник для волоконно-оптических сетей коммуникаций с высокой фоточувствительностью …….. 41

Недашківський О. Л. Інтернет – нове світове телекомунікаційне середовище …… 45

Лазаренко С. В. Использование некоторых математических закономерностей при обработке радиолокационной информации в интересах предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера ……... 51

Лебідь Є. В., Бєляков Р.О., Шишацький А.В. Метод компенсації фазових шумів системи фазового автопідстроювання частоти …… 58

Шефер О. В. Проблема формування геометрії плазмового середовища імпульсних засобів телекомунікацій ……... 69

Бабійчук А. А., **Сирота О. П.** Аналіз методів візуального відстеження об’єктів для використання в системах реального часу …….. 76

Кириченко В. О., Трофименко І. В., Шапран Ю. Є. Метод підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту на основі автоматизації процесу ….. 82

Ткачов В. М. Модифікація моделі підсистеми проміжного зберігання в умовах відсутності апріорної інформації про характер BigData …….. 87

Лабжинський В. А. Сучасні механізми побудови хмарних технологій як пріоритетний напрямок вдосконалення розподілених систем обробки даних …….. 97

CONTENTS

Saiko V. H., Kazimirenko V. Ya., Lysenko D. O., Hryshchenko L. M. Neuro-fuzzy model for selection of transmission windows parameters in terahertz range ……. 5

Nakonechnyi V. S., Tereshchenko A. I. A method for synthesizing a quality function to optimize data about process and product parameters when implementing a «Quality by Design» strategy …….. 12

Zayets V. M., Bondarchuk A. P., Senkov O. V. Need to use converged for billing systems …… 20

Otrokh S. I., Yarosh V. O., Vlasenko V. O., Zinenko Yu. M. Methods of future network support resistance to external destabilizing factor ..…… 24

Krulikovskyi O. V. , Haliuk S. D. , Politanskyi L. F. Features of choosing the chaotic systems for constructing generators of pseudo-random numbers …….. 31

Andreieva N. O., Druzhynin V. A., Zuiev V. O. The detector for fiber optical communication systems with high photosensitivity ……... 41

Nedashkivskyi O. L. Internet – a new global telecom environment …… 45

Lazarenko S. V. Use of some mathematical regularities in processing radar information in the interest of prevention of emergency situations of terrorist character ……... 51

Lebid Ye. V., Beliakov R. O., Shyshatskyi A.V. Method of indemnification phase noises the system PLL of frequency ……. 58

Shefer O. V. The problem of plasma's environment geometry of pulsed media telecommunications formation …… 69

Babiichuk A. A., Syrota O. P. Object visual tracking methods analysis for usage in real time systems …….. 76

Kyrychenko V. O., Trofymenko I. V., Shapran Yu. Ye. A method of increasing the efficiency of means of transport on the basis of automation of processes ……... 82

Tkachov V. M. Modification of intermediate storage subsystem models in the absence of a priori information on the nature of BigData …… 87

Labzhynskyi V. A. Modern mechanisms of cloud technologies construction as a priority to improve distributed data processing system ……... 97

УДК 621.391:579.72; 621.371

Сайко В. Г., Казіміренко В. Я., Лисенко Д. О., Грищенко Л. М.
Державний університет телекомунікацій, Київ

НЕЙРО-НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ВІКОН ПРОЗОРОСТІ В ТЕРАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ

На основі розробленої функціональної моделі процесів вибору значень параметрів вікон прозорості для безпровідних мереж 4-го і 5-го поколінь запропоновано методику побудови нейро-нечітких систем з застосуванням алгоритмів нечіткого висновку Сугено 0-го і 1-го порядків для оптимального вибору значень параметрів вікон прозорості в терагерцовому діапазоні.

Ключові слова: нейро-нечіткі системи, терагерцовий діапазон, вікна прозорості, алгоритми нечіткого висновку.

Saiko V. H., Kazimirenko V. Ya., Lysenko D. O., Hryshchenko L. M. Neuro-fuzzy model for selection of transmission windows parameters in terahertz range In this paper the functional model of rational choice processes of the **transmission windows** parameters of a terahertz range from the system approach positions is given. It presents the interrelations reflecting the influence of various processes and factors to the values characterizing: the probabilities of the correct reception of aa multi frequency radio communication system for each value of the threshold value; channel capacity; communication range for these windows; the bandwidth widths of the transmission windows. The proposed model allowed to validate the application of the neuro-fuzzy systems for new generation mobile networks to select the values of the transmission windows parameters.

Neuro-fuzzy systems that are used to select the values of the transmission windows parameters of the terahertz range for new-generation wireless networks are proposed to be created on the basis of the application of the 0th and 1st ordersSugenofuzzy logicalgorithms.

Keywords: neuro-fuzzy systems,terahertz range, transmission windows,fuzzylogic algorithms.

1. Вступ. Основними вимогами, що пред'являються до мобільних систем радіозв'язку нового покоління, є висока швидкість і надійність передавання даних великій кількості користувачів в складних умовах поширення сигналів. Для практичної реалізації цих вимог розробники здебільшого приділяють велику увагу найбільш перспективним шляхам побудови мереж мобільного зв'язку 4Gi5G з використанням телекомунікаційних систем цифрового радіозв'язку терагерцового діапазону [1,2].

Найбільш придатними для мобільних телекомунікаційних систем в терагерцовому діапазоні є вікна прозорості, які можна визначити за певним рівнем загасання. Згідно з [3] таким граничним рівнем може бути 100 дБ/км. Тоді можна створити п’ять вікон прозорості,у смугах яких пропускна здатність терагерцового діапазону може досягати сотеньГбіт/с. Причому, чим менша відстань радіотраси, тим меншого впливу зовнішніх факторів і тим більшої пропускної здатності можна досягати.

У [4] запропоновано спосіб вибору вікон прозорості на основі оцінювання коефіцієнта перепускання середовища шляхом позбавлення від молекулярної абсорбції. Він дозволяє знайти компроміси між відношенням сигнал/шум, пропускною спроможністю каналу і пропускною здатністю. Суттєвім недоліком визначення вікон прозорості у такий спосіб є те, що за фіксованого граничного рівня порогу коефіцієнт використання радіоканалу, який визнач**а**ється відношенням часу передавання даних в переривчастому зв'язку до загального часу сеансу зв'язку, буде змінним і, відповідно, ефективність використання вікна прозорості також буде змінною.

У [5] на основі ймовірної моделі запропоновано спосіб зниження ймовірності помилкового приймання даних в радіоканалах терагерцового діапазону, який дозволить забезпечити оптимальний вибір частотних діапазонів або вікон прозорості. У залежності від вимог необхідних додатків можна зробити раціональний вибір параметрів радіосистем, які відповідатимуть критеріям пропускної здатності і дальності зв'язку цих додатків. Однак автори приділили дуже мало уваги питанням моделювання на основі розробленого способу.

© Сайко В. Р., Казіміренко В. Я., Лисенко Д. О., Грищенко Л. М., 2017

Метою статті є розробка моделі управління вибором оптимальних вікон прозорості для підвищення ефективності їх використання в терагерцовому діапазоні багаточастотної системи радіозв'язку при забезпеченні необхідної якості приймання.

2. Функціональна модель процесів вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління. Виділити об'єкт розробки із зовнішнього середовища, визначити набір його функцій і описати взаємодію його елементів дозволяє функціональна модель процесів вибору параметрів вікна прозорості для мереж нового покоління, блок-схема якої представлена на рис. 1.

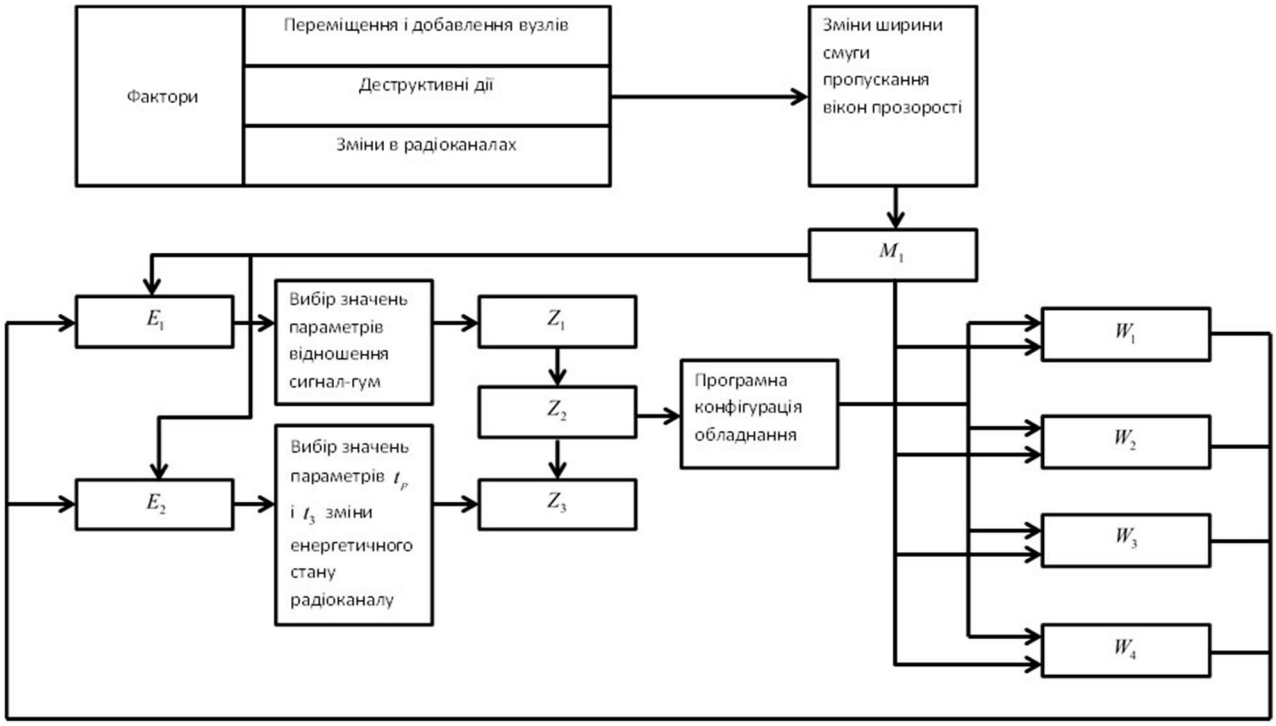


Рис. 1. Блок-схема функціональної моделі процесів вибору параметрів вікна прозорості для мереж нового покоління

Специфіка вибору параметрів вікна прозорості в першу чергу визначається наступними процесами [5]:

1. Вибір параметрів вимірювання відношення сигнал-шум Z_o для кожного активного в даний момент часу радіоканалу.

2. Вибір параметрів вимірювання квазіперіодів t_p і $t_з$ зміни енергетичного стану радіоканалу, де t_p і $t_з$ відповідно середні тривалості інтервалів стійкої роботи каналу і завмирань сигналу на граничному рівні *Агр* (*Агр*– граничне значення рівня сигналу, що приймається, відносно величин чутливості приймача та рівня зовнішніх адаптивних радіозавад).

3. Вибір оптимального значення порогової величини k_{opt} як порогової величини, за якої значення результуючої *ймовірності правильного приймання пакету* багато частотної системи радіозв'язку є максимальним.

Вказані процеси є елементами модельованого об'єкту. Інші процеси в моделі постають в якості зовнішнього середовища по відношенню до досліджуваного об'єкту. Процеси вибору значень параметрів ширини вікна прозорості терагерцового діапазону безпосередньо не

взаємодіють один з одним. Їх взаємний вплив проявляється через взаємодію з іншими процесами.

Відповідно до принципу невизначеності системного підходу дана функціональна модель враховує вплив на досліджуваний об'єкт невизначеностей і випадковостей, обумовлений наявністю зовнішніх чинників:

– мобільності вузлів;

– деструктивних зовнішніх дій;

– динамічних змін характеристик терагерцового радіоканалу.

Динамічність топології мобільних мереж нового покоління, зовнішні деструктивні дії і зміни характеристик частотно-селективних властивостей каналу призводять до випадкової зміни пропускної спроможності і характеристик частотного спектру, що також є важливою особливістю мереж LTEAdvanced і Інтернет речей.

Вплив перелічених вище чинників на процеси вибору параметрів вікон прозорості в мобільних мережах нового покоління враховує наступні величини множини G **:**

μ_1 – величини, що характеризують зміни характеристик каналу в мобільних мережах нового покоління, обумовлені впливом зовнішніх і внутрішньо системних чинників.

У процесах при виборі параметрів вікна прозорості каналу в мережах нового покоління використовується множина вхідних величин $\varnothing$:

ε_1 – величини, що характеризують динамічний діапазон зміни відношення сигнал/шум;

ε_2 – величини, що характеризують середні тривалості інтервалів стійкої роботи каналу і завмирань сигналу на граничному рівні.

Вибір значень параметрів вікон прозорості зводиться до отримання наступних вихідних величин Z :

z_1 – значення відношення сигнал/шум;

z_2 – значення квазіперіодів t_p і $t_з$ зміни енергетичного стану радіоканалу;

z_3 – значення порогової величини k_{opt} ,де $k = A / A_o$; A, A_o – відповідний поточний (що приймається) і середній рівень сигналу.

Ефективність вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж 4-го і 5-го поколінь характеризує наступний набір величин W (приватні показники):

w_1 – величини, що характеризують значення ймовірності *правильного приймання пакета багаточастотної* системи радіозв'язку для кожного значення порогової величини;

w_2 – *величини*, що характеризують значення пропускної здатності каналу;

w_3 – величини, що характеризують значення дальності зв'язку для цих вікон;

w_4 – величини, що характеризують значення ширини смуги пропускання вікон прозорості.

Наявність в моделі великого числа зв'язків, взаємних залежностей і замкнутих контурів свідчить про складний характер взаємодії аналізованих процесів.

Значення показників *w1... w4 залежать* від численних чинників:

– мобільності вузлів;

– деструктивних зовнішніх дій;

– оперативного додавання до мережі нових вузлів;

– особливості реалізації процесів вимірювання рівнів відношення сигнал/шум;

– особливості реалізації процесів вимірювання середньої тривалості інтервалів стійкої роботи радіоканалу і завмирання сигналу на граничному рівні;

– особливості динаміки зміни характеристик терагерцового радіоканалу.

З часом вплив вказаних чинників випадковим чином посилюється або послаблюється, стохастичним чином змінюються значення перелічених вище характеристик. Зважаючи на наявність в даній моделі численних складних і випадкових взаємозв'язків, виявити і

формалізувати закономірності, що точно відображають залежності шуканих вихідних величин *w1… w4* від наявних значень вхідних величин,не є можливим. Тому велике значення має правильний вибір наукового апарату, на основі якого доцільно здійснювати вибір значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління.

Ефективним засобом в таких умовах є застосування систем нечіткого висновку[6]. Основна перевага таких систем полягає в здатності використовувати умови і методи вирішення завдань, описаних на мові, близькій до природної. Центральне місце в процедурах нечіткого висновку займає база правил нечітких продукцій. Однак, відомо, що класичним системам з нечіткою логікою, не здатним автоматично навчатися, властивий істотний недолік, який полягає в тому, що набір нечітких правил, вид і параметри функцій приналежності, що описують вхідні і вихідні змінні системи, а також вид алгоритму нечіткого висновку вибираються суб'єктивно експертом-людиною, тому вони можуть бути не достатньо адекватними дійсності.

Для усунення зазначених недоліків використовують апарат нейро-нечітких систем[7,8]. Нечітка нейронна мережа – це багатошарова мережа, в якій шари виконують функції елементів системи нечіткого висновку. Фактично це є гібридна мережа, що об'єднує в собі переваги нейронних мереж і систем нечіткого висновку. Тому доцільно застосувати ці гібридні інтелектуальні системи з метою вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління.

Тоді основними функціями, що виконуються в процесі нейро-нечіткого вибору значень вікон прозорості терагерцового діапазону, будуть: вимірювання значень вхідних величин процесів вибору значень параметрів вікон прозорості, обчислення значень змінних систем нейро-нечіткого вибору значень вікон прозорості, нейро-нечіткий висновок, обчислення значень вихідних величин процесу вибору значень вікон прозорості для мереж нового покоління. Найбільш складною функцією нейро-нечіткого виснову, що включає процедури фазифікації, агрегації, активізації і дефазифікації.

3. Узагальнені моделінейро-нечітких систем вибору значень вікон прозорості

В процесі нейро-нечіткого вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління повинні виконуватися наступні функції:

$$U = \left\{ U, U^x, U^y, U^z \right\}, \tag{1}$$

де U^ε – вимірювання вхідних величин $\varnothing = \left\{ Z\varepsilon_b \right\}$ процесу вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління (b – номер вхідної величини, b = 1,2 ., B); U^x – обчислення величин $X = \left\{ X_m^l \right\}$, тобто вхідних змінних систем нейро-нечіткого вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління (m – номер системи нейро-нечіткого висновку, m = 1,2 ., M; l – номер вхідної змінної, l = 1,2 ., $\boldsymbol{n_m}$); U^y – отримання величин $Y = \left\{ Y_m \right\}$, тобто вихідних змінних систем нейро-нечіткого вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління (нейро-нечіткий висновок); U^z – обчислення вихідних величин $Z = \left\{ Z_m \right\}$ процесу вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління.

Найбільш складною функцією є U^y функція нейро-нечіткого висновку. Склад процедур, що виконуються в процесі нейро-нечіткого висновку, залежить від використовуваного алгоритму нечіткого висновку. Одними з найбільш простих алгоритмів нечіткого висновку є алгоритми Сугено нульового і першого порядків [9]. Відповідно до цих алгоритмів виконання нейро-нечіткого висновку в процесі вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління основане на застосуванні бази нечітких правил. Структура узагальненої моделі нейро-нечітких систем вибору значень параметрів вікон прозорості для

мереж нового покоління, основана на застосуванні алгоритму нечіткого висновку Сугено нульового порядку (модель СУГЕНО-О),буде складатись з чотирьох шарів:

– *Шар 1* здійснює фазифікацію. Фазифікація (приведення до нечіткості) полягає в тому, що для конкретних значень вхідних змінних X_m^l обчислюються величини $\mu_m^{1,1},\ldots,\ \mu_m^{1,2},\ldots,\ \mu_m^{1,j},\ldots,\ \mu_m^{1,k_m^1},\ldots,\ \mu_m^{2,1},\ldots,\ \mu_m^{2,2},\ldots,\mu_m^{2,j},\ldots,\mu_m^{2,k_m^2},\ldots,\mu_m^{l,1},\ldots,\ \mu_m^{l,2},\ldots,\ \mu_m^{l,j},\ldots,\mu_m^{l,k_m^1},\ldots,\mu_m^{n_m,1},\ldots,\ \mu_m^{n_m,2}$ значення функції приналежності вхідних змінних відповідним термам. Тут $\mu_m^{l,j}$ – значення функції приналежності вхідної змінної X_m^l терму номер j .

– *Шар 2* виконує процедуру агрегування. Агрегування – обчислення ступеня істинності умов кожного нечіткого правила при конкретних значеннях вхідних змінних:

$$\begin{cases} G_m^1 = \mu_m^{1,2} \Lambda \mu_m^{2,1} \Lambda \ldots \Lambda \mu_m^{/,1} \Lambda \mu_m^{n_m,1}; \\ G_m^2 = \mu_m^{1,2} \Lambda \mu_m^{2,1} \Lambda \ldots \Lambda \mu_m^{/,1} \Lambda \mu_m^{n_m,1}; \\ G_m^r = \mu_m^{1,2} \Lambda \mu_m^{2,/} \Lambda \ldots \Lambda \mu_m^{/,j} \Lambda \mu_m^{n_m,j}; \\ G_m^{R_m} = \mu_m^{1,k_m^1} \Lambda \mu_m^{2,k_m^2} \Lambda \ldots \Lambda \mu_m^{/,k_m^1} \Lambda \mu_m^{n_m,k_m^{n_m}}; \end{cases} \tag{2}$$

де Λ – позначення операції логічного мінімуму.

– *Шар 3* виконує процедуру активізації і частину процедури дефазифікації – зважене підсумовування результатів агрегування:

$$\circ \quad \sum_{r,1}^{R_m} G_m^r J_m^r, \tag{3}$$

а також підсумовування результатів агрегування: $\sum_{r,1}^{R_m} G_m^r$; де J_m^r – індивідуальний висновок нечіткого правила номер r нейро-нечіткої системи номер m.

При цьому $r = 1,2,...,R_m$, де кількість нечітких правил $R = k^1, k^2,...,k^m$.

Якщо для кожної вхідної змінної використовується однакова кількість термів, тобто $k_m^1 = k_m^2 = ... = k_m^{n_m} = k_m$, то $R_m = (k_m)^{n_m}$.

– *Шар 4* призначений для здійснення завершальної частини процедури дефазифікації ділення результатів функціонування 3-гошару. Дефазифікація – визначення чіткого значення вихідний змінної. Відповідно до методу центру тяжіння для одноточкових множин результат дефазифікації визначається за формулою:

$$Y_m = \frac{\sum_{r,1}^{R_m} G_m^r J_m^r}{\sum_{r,1}^{R_m} G_m^r}. \tag{5}$$

На основі вище запропонованих моделей пропонується здійснювати синтез нейро-нечітких систем вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління. Для цього рекомендується використовувати наступні етапи:

1. Визначення вхідних і вихідних величин нечіткої нейронної мережі.
2. Вибір алгоритму нечіткого висновку.
3. Визначення функцій приналежності для вхідних величин:
   - вибір кількості функцій приналежності:
   - вибір форми функцій приналежності.
4. Вибір алгоритму навчання нечіткої нейронної мережі.

5. Створення навчальної вибірки для налагодження параметрів нечіткої нейронної мережі.

6. Вибір кількості циклів для навчання нечіткої нейронної мережі.

7. Налагодження параметрів (навчання) нечіткої нейронної мережі.

4. Висновки:

1. Нейро-нечіткі системи, що служать для вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління, запропоновано створювати на основі застосування алгоритмів нечіткого висновкуСугено 0-го і 1-го порядків. Залежно від вибору алгоритму нечіткого висновку узагальнені моделі систем, що синтезуються, структурно складаються з чотирьох або п'яти нейронних шарів.

2. Алгоритм побудови нейро-нечітких систем, що служать для вибору значень параметрів вікон прозорості для мереж нового покоління, включає наступні етапи: визначення вхідних і вихідних величин нечіткої нейронної мережі, вибір алгоритму нечіткого висновку, визначення функцій приналежності для вхідних величин, вибір алгоритму навчання нечіткої нейронної мережі, створення навчальної вибірки для налагодження параметрів нечіткої нейронної мережі, вибір кількості циклів для навчання нейро-нечіткої системи, налагодження параметрів (навчання) нейро-нечіткої системи.

Список використаної літератури

1. Сайко, В. Г. Використання розподілених транспортних радіомереж терагерцового діапазону в рамках побудови мереж мобільного зв’язку нового покоління [Текст] / В. Г. Сайко, Т. М. Наритник, В. Я. Казіміренко, Л. В. Дакова, Л. М. Грищенко, В. І. Кравченко // Зв’язок. – 2016. – № 6. – С. 16-21.

2. Ильченко, М. Е. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами [Текст] / М. Е. Ильченко, С. Г. Бунин, А. П. Войтер, В. А. Романюк. – Київ : «Наукова думка». – 2013. – С. 444.

3. Grigat, M. Link budget considerations for THz Fixed Wireless links [Текст] / M. Grigat // IEEE Trans. on Terahertz science and technology. – 2012. – Vol. 2, No. 2. – P. 567-572.

4. Боронин, П. Н. Анализ пропускной способности и характеристик частотного спектра в сетях связи сверхмалого радиуса действия в терагерцовом диапазоне [Текст] / П. Н. Боронин, Е. Ф. Кучерявый, Д. Ф. Молчанов // Электросвязь. – 2014. – № 11. – С. 18-21.

5. Сайко, В. Г. Метод визначення оптимальних параметрів вікон прозорості в терагерцовому діапазоні [Текст] / В. Г. Сайко, Д. О. Лисенко, Л. М. Грищенко, Л. В. Дакова, В. І. Кравченко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017. – № 1. – С. 10-17.

6. Гостев, В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / В. И. Гостев. – Київ : «Радіоаматор», 2008. – 972 с.

7. Рудковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рудковская, М. Пилиньский, Д. Рудковский. – Москва: Горячая линия – Телеком. – 2006. – 452 с.

8. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и FuzzyTech [Текст] / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

9. Тархов, Д. А. Нейросетевые модели и алгоритмы [Текст] / Д. А. Тархов. – Москва : Издательство «Радиотехника», 2014. – 352 с.

References

1. Saiko V. H., Narytnyk T. M., Kazimirenko, V. Ya. Dakova, L. V. Hryshchenko L. M., and Kravchenko V. I. (2016). Using of distributed transport radio networks of the terahertz rage under the new generation mobile networks construction. Zviazok, no.6, pp. 16-21.

2. Ilchenko M. E., Bunin S. G., Voiter A. P., and Romanyuk V. A. (2013). Self-organizing radio networks with ultra-wideband signals. Kyiv : Publishing house "Naukova Dumka", Ukraine, 444 p.

3. Grigat M. (2012). Link budget considerations for THz Fixed Wireless links. IEEE Trans. on Terahertz science and technology, vol. 2, no. 2, pp. 567-572.

4. Boronin P. N., Kucheryavyj E. A., and Molchanov D. A. (2014). Analysis of the bandwidth and characteristics of the frequency spectrum in the communication networks of ultra-short range in the terahertz range. Elektrosvyaz, no. 11, pp. 18-21.

5. Sayko V. H., Lysenko D. O., Hryshchenko L. M., Dakova L.V., and Kravchenko V. I. (2017). The method for determining optimal parameters of the low-loss transmission windows in terahertz range. Telekomunikatsiyni ta informatsiyni technolohii, no. 1, pp. 10-17.

6. Gostev V. I. (2008). Fuzzy regulators in automatic control systems. Kiev: Publishing house "Radiomator", Ukraine, 972 p.

7. Rudkovskaya D., Pilińskij M., and Rudkovskij D. (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moskva: Goryachaya Liniya-Telecom, Russia, 452 p.

8. Leonenkov A. V. (2003). Fuzzy modeling in MatLab and FuzzyTech. St. Petersburg: Publishing house "BHV-Petersburg", Russia, 736 p.

9. Tarhov D. A. (2014). Neuronetwork models and algorithms. Moskva: Publishing house "Radiotekhnika", Russia, 352 p.

Автори статті

Сайко Володимир Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (44) 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

Казіміренко Валерій Якович – кандидат технічних наук, доцент кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (67) 409 71 83. . E-mail: vkazim2@gmail.com

Лисенко Дмитро Олександрович – аспірант кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (67) 959 02 38. E-mail: lysenko@ucrf.gov.ua.

Грищенко Людмила Миколаївна – завідувач лабораторії, кафедра мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (93) 672 65 40. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Authors of the article

Saiko Volodymyr Hryhorovych – doctor of sciences (technical), professor, head of mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (44) 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

KazimirenkoValerii Yakovych – candidate of sciences (technical), associate professor of mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 409 71 83. . E-mail:vkazim2@gmail.com.

Lysenko Dmytro Oleksandrovych – postgraduate student of mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 959 02 38. E-mail: lysenko@ucrf.gov.ua.

Hryshchenko Liudmyla Mykolaivna – manager of laboratory, mobile and video informative technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (93) 672 65 40. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Дата надходження
в редакцію: 27.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. А. Дружинін
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 004.94:658

Наконечный В. С., Терещенко А. И.
Государственный университет телекоммуникаций, Киев

МЕТОД СИНТЕЗА ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДАННЫХ О ПАРАМЕТРАХ ПРОЦЕССА И ПРОДУКЦИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ «КАЧЕСТВО НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ»

Статья относится к области информационных технологий и систем обработки цифровых данных при решении задач менеджмента качества производства по требованиям стандартов (ISO, GMP, ICH). В статье предложен метод синтеза функции и определения параметров качества продукции на основе равномерно-наилучшего чебышевского приближения к заданной многомерной функции качества обобщёнными многочленами по системе линейно независимых базисных функций. Задача чебышевской аппроксимации на множестве точек пространства разработки (Design Space) согласно стратегииQbD позволяет получить для функции качества наименьшее возможное значение меры равномерного приближения, устойчивое к отклонениям определяющих параметров процесса – параметрам проектирования.

Ключевые слова: система менеджмента качества, функция качества, пространство разработки, многомерные данные, стратегия QbD, процессный подход, структурирование функции качества (QFD), обобщённые многочлены, параметры проектирования, чебышевская аппроксимация, мера равномерного приближения, последовательная чебышевская интерполяция, модифицированный симплекс-метод

Nakonechnyi V. S., Tereshchenko A. I. A method for synthesizing a quality function to optimize data about process and product parameters when implementing a «Quality by Design» strategy.

The subject of the article is the area (space) of product quality development – Design Space (QbDstrategy), when a certain combination of several process parameters affecting the desired property (quality) of the product is considered. Based on the results of a multifactorial experiment / simulation of the proposed process function, the permissible ranges of variability of each process parameter are established on the basis of degree of its influence on the expected specification of product quality. The above corresponds to the third stage of QFD Quality Management System.

The article refers to the field of information technology and digital data processing systems when solving the tasks of quality management in accordance with the requirements of standards (ISO, GMP, ICH). The article suggests a method for synthesizing a function and determining product quality parameters based on the uniformly-best Chebyshev approximation to a given multidimensional quality function by generalized polynomials in a system of linearly independent basis functions. The problem of the Chebyshev approximation on the set of points in the Design Space according to the QbD strategy makes it possible to obtain for the quality function the smallest possible value of the uniform approximation measure, which is resistant to deviations of the defining parameters (process-design parameters).

Keywords: quality management system, quality function, design space, multidimensional data, QbD strategy, process approach, quality function deployment (QFD), generalized polynomials, design parameters, uniform approximation measure, sequential Chebyshev approximation, modified simplex method

1. Введение

Постановка проблемы в общем виде. При численном моделировании систем менеджмента качества (СМК) в рамках процессного подхода [1-3] управления производством все более востребованными становятся решения не только прямых задач, – где требуется моделировать процесс при известных исходных данных, но и решения обратных задач, – когда необходимо найти определяющие параметры, при которых наблюдается то или иное значение на выходе процесса [4].

Такая постановка требует многократного решения прямых задач с последующим оптимизационным анализом. Результатом решения при этом являются многомерные массивы дискретных величин, выражающие зависимость искомой функции (управляющего параметра) от определяющих параметров рассматриваемой задачи. Полученные таким образом многомерные численные результаты (данные) нуждаются в дальнейшей обработке и анализе.

© *Наконечный В. С., Терещенко А. И., 2017*

Анализ литературных источников. В настоящее время исследование многомерных данных является ключевым разделом современной математической статистики с обширными приложениями в различных отраслях экономики [4-9]. Одним из наиболее известных методов анализа многомерных данных (АМД) является метод главных компонент и его обобщения для нелинейных случаев [4, 5]. Методы анализа многомерных данных реализуются в тесной взаимосвязи и взаимодействии с методами факторного и кластерного анализа [6].

Нерешенные задачи. Количество точек оценивания в алгоритмах АМД определяется как M^n, если принять M точек разбиения в каждом измерении n-мерного пространства. С этим числом связано и количество однотипных прямых и обратных задач, что приводит к необходимости понижения размерности из-за большого объёма данных при вычислениях. Кроме этого, вызывает определённые трудности выбор начальных приближений параметров проектирования с точки зрения оптимизации функции качества и робастности (устойчивости к изменчивости параметров и воздействию помеховых факторов) [10].

Цель и задачи исследования. В статье предложен метод синтеза функции и определения параметров качества продукции на основе равномерно-наилучшего чебышевского приближения к заданной многомерной функции качества обобщёнными многочленами по системе линейно независимых базисных функций [11]. Решение чебышевской задачи производится по аналогии с методом последовательных чебышевских интерполяций (п.ч.и.) Ремеза и сводится к задаче линейного программирования. При решении реализуется прямая и двойственная задачи линейного программирования, причем, ведущая – двойственная, которая решается модифицированным симплекс-методом (м.с.-м.), который можно рассматривать как инжиниринговое построение функции сложной системы из блоков или модулей определённого типа.

Задача чебышевской аппроксимации на множестве точек пространства разработки позволяет получить наименьшее возможное значение меры равномерного приближения к заданной функции качества процесса, устойчивое к отклонениям определяющих параметров процесса (параметрам проектирования). Под синтезом будем понимать инжиниринговое построение функции сложной системы из блоков или модулей определённого типа.

Актуальность предлагаемого метода. Метод соответствует доминирующей тенденции: смещения акцентов достижения качества продукции на этап проектных разработокQbD (Quality-by-Design) при «процессном подходе» к СМК – структурировании функции качества производства– QFD (Quality Function Deployment) [12, 13].

Актуальность такого подхода получает подтверждение в концепциях QbD фармацевтической системы качества ICHQ8 [14], а также HACCP (Hazard Analysisand Critical Control Points) [7-9], которая находит применение в стандартах ISO серий 9000 и 22000 [8, 15].

2. Изложение основного материала исследования

Предметом рассмотрения статьи является область (пространство) разработки качества продукта – Design Space согласно стратегии QbD [12, 13].

2.1. Место рассматриваемой задачи в системе менеджмента качества производственного процесса. Предметом рассмотрения статьи является область (пространство) разработки качества продукта – Design Space [12, 13], когда рассматривается комбинация нескольких параметров (данных) процесса, влияющих на желаемое свойство (качество) продукта. По результатам многофакторного эксперимента/моделирования предложенной функции процесса устанавливаются допустимые диапазоны изменчивости каждого параметра процесса исходя из степени его влияния на ожидаемую спецификацию качества продукта. Отмеченное в большей степени соответствует 3 этапу QFD СМК[1, 2].

На этом этапе свойства (параметры качества) продукта и его компонентов трансформируются в конкретные технологические процессы, обеспечивающие изготовление

продукта с заданными свойствами. Этот этап QFD также предусматривает идентификацию важнейших (критичных) параметров каждой операции и выбор методов их контроля – Рис.1.

При оценивании функции качества предполагается использовать особенность процессной методологии HACCP – управление малым, т.е. критическим количеством аспектов (параметров) системы (процесса), при котором достигается эффект, превышающий результат одновременного воздействия на все (или большинство) параметры системы (процесса) [7, 8, 9].

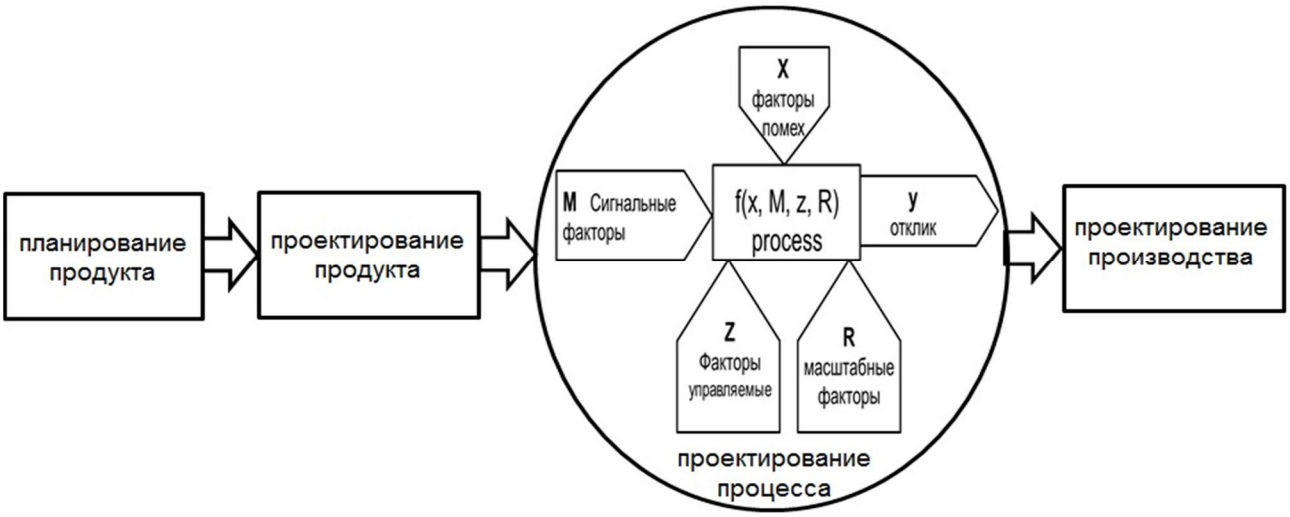


Рис.1. Четыре этапа QFD и место функции качества
на этапе проектирования производственного цикла

Метод QbD предполагает описание пространства разработки (область проектных решений) – Design Space как некую комбинацию (функциональную зависимость) одного или нескольких параметров процесса, влияющих на качество продукта [12, 13, 14]. Область проектных решений выражается либо в виде математической зависимости и/или в виде диапазона параметров соответствующего процесса, влияющих на качество продукта.

Цель проводимого анализа – идентифицировать не только значения параметров проектирования (процесса), но и их функциональную связь с выходным значением – откликом (ожидаемой спецификацией качества продукта), при которой влияние отклонений параметров проектирования минимально.

2.2. Система менеджмента качества по методу Тагути. Известный метод решения задачи определения требуемых параметров производственного процесса и менеджмента качества [1, 2] – подход Тагути (Genichi Taguchi), вводит квадратичную функцию потерь (Quality Loss Function – QLF), когда уменьшение отклонения отклика процесса от заданного приводит к снижению потерь и соответственно к улучшению качества.

$$l(y) = k(y-\tau)^2, \tag{1}$$

где – k константа; y – выходная характеристика (отклик); – заданное (желаемое) значение y; $l(y)$ – потери, выраженные, например, в денежных единицах, которые несет потребитель в течение срока службы изделия из-за отклонения y от τ.

При этом зависимость отклика процесса от параметров проектирования (2) представляется в виде суммы, так называемой прогнозируемой и непрогнозируемой функциональными зависимостями отклика процесса от параметров проектирования – рис.1, (3).

$$y = f(x, M, z, R). \tag{2}$$

$$y = g(M, z, R) + e(x, M, z,). \tag{3}$$

Функция (2) состоит из двух частей:

$g(M;z,R)$ – прогнозируемое и желаемое функциональное отношение y и M,z,R;

$e(x,M;z,R)$ – непрогнозируемая и нежелательная часть отношение y и M,z,R.

Факторы, влияющие на отклик, представлены в виде четырёх следующих классов: сигнальные факторы – M, управляемые факторы – z, масштабно выравнивающие факторы – R, факторы помех – x.

Значения параметров z по Тагути определяются путем систематического и планомерного варьирования значениями их определённых наборов в эксперименте/моделировании и дальнейшего сравнения результатов влияния факторов помех для каждого такого тестового набора на выходную величину y (характеристику) процесса. То есть результирующая выходная характеристика оценивается для всех промежуточных значений, полученных при воздействии помеховых факторов для каждого из тестовых наборов. Такое исследование Тагути рекомендует выполнить с помощью статистического планирования экспериментов при использовании ортогональных планов.

Таким образом, вариация множества значений выходной характеристики имитирует вариацию выхода изделия (или процесса) для заданных значений параметров проектирования и позволяет сделать вывод о оптимальном наборе параметров проектирования, устойчивых к воздействию помеховых факторов.

2.3. Предлагаемый метод решения задачи синтеза функции качества. В статье предложен метод, когда связь выхода процесса с входом описывается (моделируется, синтезируется) функцией, значения которой при воздействии помех наименее отклоняются от заданного в определённых (стандартных) пределах.

Оптимальные значения параметров процесса при этом находятся, например как корни полинома, аппроксимирующего заданную функциональную зависимость выхода от входа процесса $-f(X)$ либо как переменные многомерного пространства, где достигается наилучшее по выбранному критерию приближение. Требуется также, чтобы значения функции-аппроксиманта наименее отклонялись от заданного значения в определённом интервале, а её параметры были ограничены областью значений (допусков). Подобная постановка проблемы полностью соответствует аппроксимационной трактовке по Чебышеву [11, 16].

В случае равномерного приближения функций $f(X)$ k переменных $X=\{x_1,x_2,\ \ldots,x_k\}$ наилучшее приближение обобщёнными многочленами по системе линейно независимых базисных функций [11]:

$\varphi_1(X),\ldots,\varphi_n(X)$ на множестве $E_n=\left\{X^{(1)},\ldots,X^{(N)}\right\}$, $F_n(X;Z)=\sum_{j=1}^{n}Z_j\varphi_j(X)$, а именно:

$$\max_{x\in E}\left|f(X)-\sum_{j=1}^{n}Z_j\varphi_j(X)\right|=L(z_1,z_2,\ldots,z_n)=min\,, \tag{4}$$

где $Z=(z_1,z_2,\ldots,z_n)$, находится как решение частного случая задачи построения равномерно-наилучшего приближения к решению систем несовместных линейных уравнений

$$\Phi_i(Z)=\sum_{j=1}^{n}Z_j\varphi_j\left(X^{(i)}\right)-f\left(X^{(i)}\right),\left(i=\overline{1,N}\right) \tag{5}$$

относительно таких значений параметров $Z=(z_1,z_2,\ldots,z_n)$, чтобы значение величины $\max\limits_{1\le i\le 2N}\left|\Phi_i(Z)\right|$, было наименьшим возможным, т.е. $\max\limits_{1\le i\le 2N}\left|\Phi_i(Z)\right|\equiv L(Z)\to\min\limits_{Z}=\rho$.

Присоединяя к каждой функции $\Phi_i(Z) == \sum_{j=1}^{n} a_{ij} z_j + b_i$ её «симметричную копию»: $\Phi_{N+i}(Z) = -\Phi_i(Z) = -\sum_{j=1}^{n} a_{ij} z_j - b_i$, задачу (4)-(5) представляем в виде задачи алгебраического минимакса:

$$\Phi_i(Z) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} z_j + b_i \approx 0 \quad \left(i = \overline{1,2N}; a_{i\pm N,j} = -a_{ij}; b_{i\pm N} = -b_i\right), \tag{6}$$

$$\max_{i=\overline{1,2N}} \Phi_i(Z) = \max_{i=\overline{1,2N}} \left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij} z_j + b_i \right) \equiv L(Z) = min = \rho. \tag{7}$$

Задачи (4)-(5) и (6)-(7) эквивалентны задаче линейного программирования:

$$\Lambda = min,\ \xi = \Lambda - \Phi_i(Z) = -\sum_{j=1}^{n} a_{ij} z_j - b_i + \Lambda \geq 0, \left(\overline{i = 1,2N}\right). \tag{8}$$

Алгоритм решения чебышевской задачи (7) реализует аналог метода последовательных чебышевских интерполяций (п.ч.и.) Ремеза для случая сведения к задаче линейного программирования. В алгоритме реализуется прямая и двойственная задачи линейного программирования, причем, ведущая – двойственная, которая решается модифицированным симплекс-методом (м.с.-м.).

В результате получаем на практике число уравнений N значительно больше числа неизвестных n, и таблица «расширенного базиса» размера $(n+2,\ n+4)$ при м.с.-м. существенно меньше опорной таблицы $(n+2, N)$ при использовании прямого (с.-м.).

Для определения того, насколько полученное приближенное решение близко к точному, подставим найденные значения $z_1, z_2, \ldots, z_n$ в линейные функции $\Phi_{i_\nu}(Z)$ $\left(\overline{\nu = 1, n+1}\right)$ и получим значения $\Phi_{i_1}(Z), \Phi_{i_2}(Z), \ldots, \Phi_{i_{n+1}}(Z)$.

Наименьшее и наибольшее по модулю значения полученных функций $\Phi_{i_\nu}(Z)$ $\left(\overline{\nu = 1, n+1}\right)$ дают величины:

$A = \min_{\nu=\overline{1,n+1}} \left|\Phi_{i_\nu}(Z)\right|$ и $L = \max_{\nu=\overline{1,n+1}} \left|\Phi_{i_\nu}(Z)\right|$, которые являются нижней и верхней границами величины наилучшего приближения ρ, т.е. $A \leq \rho \leq L$.

Критерием конца работы алгоритма является неравенство $L - \rho \leq L - A$.

В предлагаемом методе, оптимальные значения параметров проектирования определяются как параметры (аргументы) оптимальной по Чебышеву функции-аппроксиманта желаемой функции качества процесса представляющую собой зависимость выходной характеристики (отклика) от управляемых, сигнальных и масштабно-выравнивающих параметров.

Эту функцию процесса предлагается считать своего рода передаточной функцией ожидаемого (желаемого) преобразования воздействия управляемого параметра в отклик процесса при определённых значениях сигнальных и масштабно-выравнивающих параметров. При этом принципиально потребовать, чтобы передаточная функция процесса – аппроксимант была устойчива к воздействию разного рода помеховых воздействий и наименее отклонялась от ожидаемой.

3. Отличия и преимущества предложенного метода

Одним из недостатков метода Тагути можно считать «трудности» (неопределённость) в определении вида функции потерь – $l(y)$. Предлагаемый метод лишён этого недостатка т. к. базируется на понятии «точности приближения» по Чебышеву к заданной (стандартной, например) функциональной зависимости выходного значения (отклика) от параметров проектирования.

Предложенный метод (согласно концепции QbD) позволяет сфокусировать внимание на готовом продукте и его потребителе. Сначала определяются возможные риски для потребителя (HACCP), связанные с применением продукта, а затем в обратном порядке по ходу разработки устраняются все возможные критические опасности, связанные, например, с используемым сырьем и параметрами производственного процесса наиболее подверженными помеховому влиянию путем синтеза передаточной функции.

Предложенный подход к проектированию процесса, дополнительно включает следующие элементы:

- Определение свойств составляющих продукта, которые могут оказать влияние на критические свойства продукта с помощью углубленной оценки рисков;
- Определение степени влияния изменчивости свойств составляющих и параметров технологического процесса на критические свойства продукта с помощью полнофакторного математического моделирования;
- Формирование стратегии контроля исходя из результатов комплексной оценки рисков и проведенных экспериментов. Например, определение пространства разработки (DesignSpace);
- Смещение акцентов с эпизодической ревалидации на непрерывное подтверждение пригодности параметров процесса и организацию выпуска по параметрам.

4. Выводы

Преимущества предлагаемого метода решения задачи оптимизации параметров процесса к воздействию помеховых факторов с целью достижения желаемого качества продукта заключаются в сдедующем:

1. На этапе проектных разработок могут быть заданы адекватные и устойчивые к помехам (робастные) функциональные зависимости входов и выходов процессов, параметры которых находятся в результате решения задачи чебышевской аппроксимации.

2. Решение задачи может быть связано с управлением малым количеством параметров системы (процесса), которые целесообразно определять также на этапе проектных разработок на основе методов, реализующих HACCP.

3. Методика решения сформулированной задачи оптимизации предполагает реализацию стратегии «результат за один шаг» (Филипп Кросби, Philip Crosby) [17], что способствует снижению производственных расходов как на достижение требуемого качества продукта производства, так и на устранение причин и последствий его неудовлетворительного качества.

4. Методика описания устойчивых (наименее отклоняющихся от заданных значений) функций процессов по Чебышеву предлагает и практически ориентированную трактовку атрибутов: передаточных функций, параметров этих функций, допусков отклонений параметров и т.д.

Предложенный метод предполагается использовать в тесной связи с принципами управления рисками для качества QRM (Quality Risk Management). В рамках внедрения риск-ориентированного подхода к СМК требуется уделять больше внимания внутренним и внешним заинтересованным сторонам, а также иметь в виду важность внедрения системы менеджмента качества как стратегического решения для организации (ISO 9001:2015).

Список использованной литературы

1. Пономарев, С. В. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: учебное пособие [Текст] / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, В. Я. Белобрагин, В. А. Самородов, Б. И. Герасимов, А. В. Трофимов, С. А. Пахомова, О. С. Пономарева. – Москва: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с

2. Кане, М. М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества [Текст] / М. М. Кане, Б. В. Иванов, В. Н. Корешков, А. Г. Схиртладзе. – Санкт-Петербург: Питер, 2008. – 560 с.

3. Руководство по концепции и использованию процессного подхода для систем менеджмента [Електронний ресурс] // ISO/TC 176/SC 2/N 544R3. – Режим доступу: www.iso.org/tc176/sc2.

4. Бондарев, А. Е.Анализ многомерных данных в задачах многопараметрической оптимизации [Текст]/ А. Е. Бондарев, В. А. Галактионов, Т. Н. Михайлова, И. Г. Рыжова. – Москва: Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН, 2012. – 16 с.

5. Зиновьев, А. Ю. Визуализация многомерных данных [Текст] / А. Ю. Зиновьев. – Красноярск, Изд. КГТУ, 2000. 180 с.

6. Ким, Дж. Факторный, дискриминантный и кластерныйанализ [Текст] / Дж. Ким, Ч. Мюллер и др. – Москва :«Финансы и статистика», 1989. – 216 с.

7. Мейес, Т. Эффективное внедрение НАССР. Учимся на опыте других. [Текст] / Т. Мейес, С. Мортимор. – Москва : Профессия, 2005. – 288 с.

8. Системы управления безопасностью пищевых продуктов. Требования для любых организаций пищевой цепи [Електронний ресурс] // ISO 22000:2005. – Режим доступу: http://www.iso.org.

9. U. S. Food & Drug administration. Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/HACCP/

10. Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагути [Текст] / под ред. А. М. Талалая. – Москва : ООО «Сейфи», 2002. – 384 с.

11. Каленчук-Порханова А. А.Наилучшая чебышевская аппроксимация функцій одной и многих переменных [Текст] / А. А. Каленчук-Порханова // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – Т. 45, № 6. – С. 155-164.

12. Schweitzer, Mark. Implications and Opportunities of Applying QbD Principles to Analytical Measurements. Pharmaceutical Technology [Електронний ресурс] / Schweitzer Mark et al. – February 2010. – No. 34(2). – P. 52–59. – Режим доступу: http://www.pharmtech.com/implications-and-opportunities-applying-qbd-principles-analytical-measurements.

13. Food and Drug Administration. Final Report on Pharmaceutical cGMPs for the 21st Century – A Risk Based Approach. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – http://www.fda.gov/cder/gmp/gmp2004/GMP_finalreport2004.htm

14. Q8 (R2): Pharmaceutical Development, Revision 1, ICH Harmonized Tripartite Guidelines, International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use, 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ich.org/products/guidelines/quality/quality-single/article/pharmaceutical-development.html

15. ISO 9000:2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.iso.org.

16. Бахвалов, Н. С. Численные методы: учебное пособие [Текст] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 636 с.

17. Кросби, Ф. Б. Качество и я. Жизнь бизнесмена в Америке [Текст] / Ф. Б. Кросби. – Москва : РИА «Стандарты и качество», 2003. – 264 с.

References

1. Ponomaryov S. V., Mishhenko S. V., Belobragin V. Ya., Samorodov V. A., B. I. Gerasimov, Trofimov A. V., Pahomova S. A., Ponomaryova O. S. (2005). Product quality management. Tools and methods of quality management: Moskva, RIA «Standarty` ikachestvo», Russia, 248 p.

2. Kane M. M., Ivanov B. V., Koreshkov V. N., Shirtladze A. Г. (2008). Systems, methods and tools of quality management: textbook. Sankt-Peterburg: Piter, Russia, 560 p.

3. Guidance on the concept and use of the process approach. ISO/TC 176/SC 2/N 544R3. Available at: www.iso.org/tc176/sc2.

4. Bondarev A. E., Galaktionov V. A., Mihajlova T. N., Ryzhova I. G. (2012). Analysis of multidimensional data in multiparametric optimization problems. Moskva, 16 p. Available at: http://sv-journal.org/2012-2/01/index.html

5. Zinov`ev A. Yu. (2000). Visualization of multidimensional data. Krasnoyarsk, Russia, 180 p.

6. Kim Dzh., MyullerCh. et. al. (1989). Factor, discriminant and cluster analysis. Moskva, Russia, 216 p.

7. Mejes T., Mortimor S. (2005). Effective implementation of HACCP.Learning from the experience of others. Moskva, 288 p.

8. Food safety management systems. Requirements for any food chain organization. (2005). ISO 22000:2005. Available at: http://www.iso.org.

9. U.S. Food & Drug administration. Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP). Available at: http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/HACCP/

10. Quality management. Robust Design. MetodTaguti (2002). At ed. A.M. Talakhaia. Moskva, 384 p.

11. Kalenchuk-Porhanova A. A. (2009). The best Chebyshev approximation of functions of one and many variables. Kibernetika i systemnyi analiz, Russia, vol. 45, no 6, pp. 155-164.

12. Schweitzer Mark; et al. (February 2010). Implications and Opportunities of Applying QbD Principles to Analytical Measurements. PharmaceuticalTechnology, 34 (2), pp. 52–59.

13. Food and Drug Administration. Final Report on Pharmaceutical cGMPs for the 21st Century – A Risk Based Approach. Available at: http://www.fda.gov/cder/gmp/gmp2004/GMP_finalreport2004.htm

14. Q8 (R2): Pharmaceutical Development, Revision 1, ICH Harmonized Tripartite Guidelines, International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use. (2007). Available at: http://www.ich.org/products/guidelines/quality/quality-single/article/pharmaceutical-development.html

15. Quality management systems. Basic provisions and vocabulary (2015). ISO 9000:2015. Available at: http://www.iso.org.

16. Bahvalov N. S., Zhidkov N. P., Kobel`kov G. M. (2004). Numerical methods. Moskva, Russia, 636 p.

17. Krosbi F. B. (2003). Quality and I. The life of a businessman in America. Moskva, Russia, 264 p.

Автори статті

Наконечний Володимир Сергійович – доктор технічних наук, с.н.с, директор навчально-наукового інституту захисту інформації, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (68) 937 37 32. E-mail: nvc2006@mail.ru

Терещенко Антон Ігорович – аспірант, кафедра управління інформаційною безпекою, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (68) 749 73 67. E-mail: arisen001@gmail.com

Authors of the article

Nakonechnyi Volodymyr Serhiyovych – doctor of sciences (technical), senior researcher, director of educational-scientific institute of information security, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (68) 937 37 32. E-mail: nvc2006@mail.ru

Tereshchenko Anton Ihorovych – post-graduate student, department of information security management, State University of Telecommunications, Kyiv. Тел.: +380 (68) 749 73 67. E-mail: arisen001@gmail.com

Дата надходження
в редакцію: 12.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. А. Дружинін
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 621.396.662.072.078

Заєць В. М., Бондарчук А. П., Сеньков О. В.
Державний університет телекомунікацій. м. Київ

НЕОБХІДНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОНВЕРГЕНТНИХ БІЛІНГОВИХ СИСТЕМ

Проаналізовано можливості білингових систем, та актуальність їх використання на теперішній час. Досліджено основні функції та мету конвергентних білингових систем. Досліджено використання додатку TAM та моделі eTom в білінгових системах. Визначено роль інтелектуальних підсистем.
Ключові слова: білінг, конвергентна система, додаток TAM, модель eTom.

Zayets V. M., Bondarchuk A. P., Senkov O. V. Need to use converged for billing systems. The possibilities for billing systems, and the relevance of their using at present are analyzed. The basic function and purpose of convergence for billing systems are considered. It is determined the role of intelligent subsystems.
Keywords: billing, convergent system, application TAM, model eTom.

1. Вступ

На теперішній час існування білінгових систем нікого не здивує. Білінгові системи використовуються в усіх підприємствах зв'язку та тих підприємствах, де необхідно розраховувати послуги а також їх тарифікацію. Не є виключенням і оператори мобільного зв'язку України, такі як: «Vodafone-Ukraine», «Lifecell», «Київстар» та багато інших.

Використання конвергентних систем передбачає надання користувачеві одного рахунку за декілька послуг, якими він користується. Наприклад, ви маєте тарифний пакет «0 у мережі», який пропонує вам безкоштовні дзвінки в межах мобільного оператору, безлімітний мобільний Інтернет, 100 безкоштовних SMS та 50 MMS, і т.д.

Таким чином ви і отримуєте єдиний рахунок за всі надані послуги, що входять до вашого тарифного плану. Таке рішення дуже зручне, ніж сплачувати окремо за кожну послугу.

Білінгові системи відносяться до інтелектуальних платформ, так званих Intelligent Network (IN). IN - мережа, яка в рамках телекомунікаційної мережі дозволяє швидко розробляти і впроваджувати в будь-яких масштабах надання нових послуг типу пошукового набору номера, передачі виклику на інший номер, блокування номерів, інтелектуального роумінгу зонального пошуку як на локальному експериментальному рівні, так і на рівні мережі .

2. Дослідження використання додатку TAM та моделі eTom в системах білингу

Використання додатку TAM та моделі eTom обумовлене необхідністю правильного аналізу та обробки даних про використані послуги та їх обсяг. З цього випливає, що без використання цих елементів, будь-яка система білингу не буде виконувати деякі структурні функції. Як відомо, додаток TAM розроблений асоціацією TM Forum. Він надає референтну модель угруповання процесів та класів прикладного програмного забезпечення в рамках концепції NGOSS, що дозволяє, зокрема, вбудовувати в концепцію NGOSS різні прикладні програмні продукти. Також, цей додаток організовує роботу таких напрямків як:

- управління збутом і маркетингом (англ. sales and marketing management);
- управління продуктами і послугами (англ. product management);
- абонентське обслуговування (англ. customer management);
- сервісне обслуговування (англ. service management);
- управління ресурсами (англ. resource management);
- управління взаємовідносинами з постачальниками і партнерами (англ. supplier/ partner management);
- управління підприємством (англ. enterprise management).

© Заєць В. М., Бондарчук А. П., Сеньков О. В., 2017

Модель eTom (Enhanced Telecom Operations Map) являє собою багаторівневу модель бізнес-процесів управління виробництвом. Вона є базою для аналізу і проектування бізнес-процесів в галузі зв'язку та орієнтиром при проектуванні і розробці рішень OSS/BSS. Призначена дана модель для постачальників послуг зв'язку, а також їх партнерів, що працюють в телекомунікаційній галузі. Та є складовою частиною підходу до розробки систем підтримки операційної діяльності для телекомунікаційних корпорацій NGOSS (New Generation Operations Systems and Software), яка нині називається Frameworx.

Особливості архітектури eTom:

1. eTom - це еталонна архітектура, що враховує бізнес-процеси, можливі в діяльності телекомунікаційної компанії;

2. При розробці eTom акцент був зроблений на зв'язках між процесами, визначенні інтерфейсів між ними і спільне використання різними бізнес-процесами інформації про клієнтів, послуги, ресурси і т.д .;

3. В eTom враховані взаємодії із зовнішнім середовищем: клієнтами, партнерами, постачальниками, регулюючими органами і ін .;

4. eTom відрізняється універсальністю та відкритістю, вона може бути застосована до будь-яких мережних технологій, послуг і типам організації бізнесу компанії;

5. Можливість інтеграції з іншими відомими моделями: ITIL (IT Infrastructure Library), RosettaNet і ін .;

6. eTom постійно вдосконалюється вже більше 10 років, в її основі лежить досвід провідних підприємств галузі.

Всього в моделі eTom організовується 4 рівні : 0 - 3. Кожен з яких виконує певну функцію. Архітектура та функціональні блоки цих рівнів показані на рис.1 та на рис. 2.

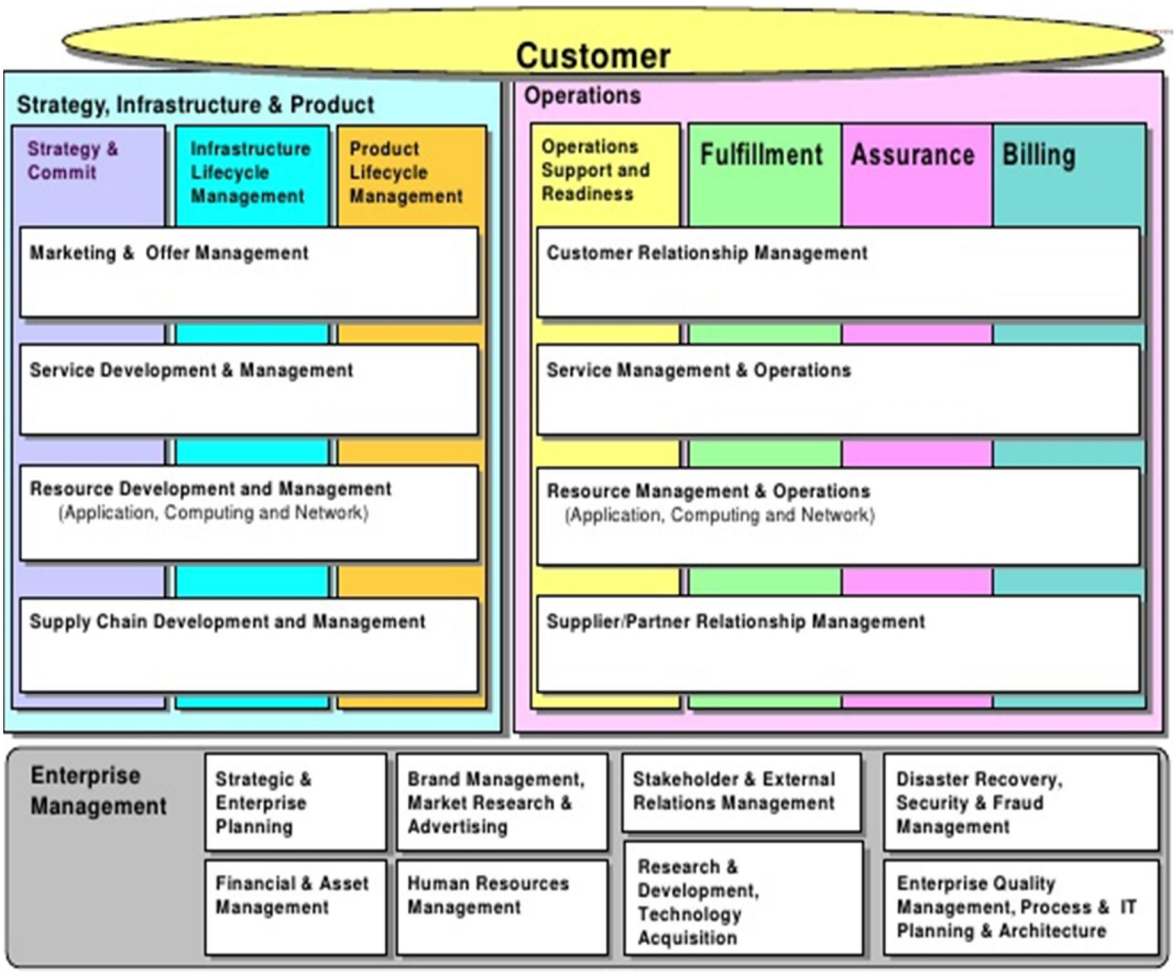


Рис. 1. Архітектура та функціональні блоки eTom рівня 1-3

Для прикладу, на самому верхньому рівні - нульовому (концептуальному) - виділяються три основні області бізнес-процесів: «Стратегія, інфраструктура і продукт», «Операційні процеси» і «Управління підприємством».

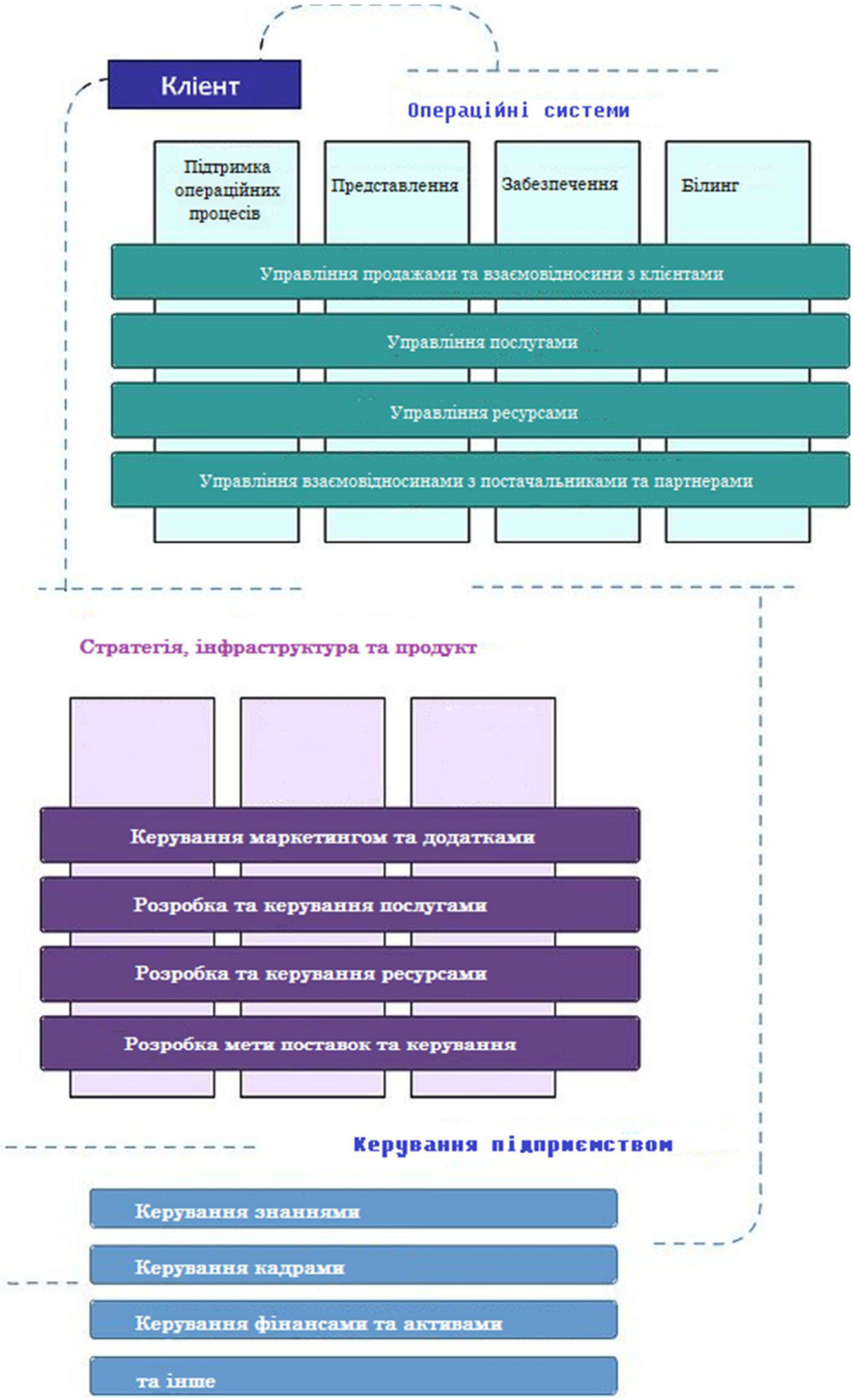


Рис. 2. Архітектура та функціональні блоки eTom концептуального рівня

3. Висновки

Використання інтелектуальних платформ в конвергентних білінгових системах є дуже вигідним та найбільш зручним рішенням, як для оператору зв'язку або будь-якої компанії, що надає свої послуги, так і для звичайного користувача. Більшість компаній користуються їм задля того, щоб повністю автоматизувати процес тарифікації та обліку кількості використання послуг, які вони надають. Це дозволяє складати статистичні дані, які допомагають в вирішенні питань щодо впровадження або усунення послуг, які не

користуються попитом. Оскільки використання додатку TAM та моделі eTom обумовлене необхідністю правильного аналізу та обробки даних про використані послуги та їх обсяг, то без них також неможливо уявити конвергентний білінг.

Список використаної літератури

1. Муссель К. М. Предоставление и биллинг услуг связи. Системная интеграция.
2. Кузьменко В. Н. Тарификация в биллинговых системах // Моб. системы.1998, № 3.
3. Старцев В. Биллинг: в ногу со временем // Мобильные системы. 2000, № 8.
4. Обзор системы GSM. Корпоративный тренинг. Вымпелком. –2004, 125 с.
5. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург,2010. -400с.
6. Recommendation Q.1221. Introduction to Intelligent Network Capability set-2. ITU-T, Geneva, 1998.
7. Интеллектуальные сети 2000: услуги и проблемы конвергенции: доклады 2-ой Международной конференции. Москва, 17-19 октября 2000 г.
8. Аджемов А. С., Кучерявый А. Е. Система сигнализации ОКС No 7.
9. Росляков А. В. ОКС No 7: архитектура, протоколы, применение. -М.: Эко-Трендз, 2008. –320 с.

References

1. Mussel K. M. Providing and billing of communication srvices. System integration.
2. Kuzmenko V. N. Billing systems // Mob. systems.1998, № 3.
3. Startsev V. Billing: в ногу со временем // Mob. systems. 2000, № 8.
4. GSM systems review. Corporate training. Vympelkom –2004, 125 p.
5. Goldshtein B. S., Sokolov N. A., Yanovskii G. G. Telecommunication networks: Textbook for universities. SPb.:BHV- Petersburg,2010. -400 p.
6. Recommendation Q.1221. Introduction to Intelligent Network Capability set-2. ITU-T, Geneva, 1998.
7. Intelligence network 2000: services and convergence problems: reports of 2-nd International conference. Moscow, 17-19 October 2000 .
8. Adzhemov A. S., Kucheriavyi A. S. Alarm system OKS No 7.
9. Rosliakov A. V. OKS No 7: achitecture, protocols, application. -M.: Eko-Trends, 2008. –320 p.

Автори статті

Заєць Вікторія Миколаївна – провідний інженер кафедри космічних систем та комплексів і супутникових телекомунікацій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380(50) 935 24 45. E-mail: tori-mey@ukr.net.

Бондарчук Андрій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380(97) 408 61 31. E-mail: 0-99@mail.ru.

Сеньков Олег Вікторович - аспірант, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380(67) 537 02 08 E-mail: oleg@senkov.kiev.ua

Authors of the article

Zaiets Viktoria Mykolayivna – leading engineer of the department of space systems and complexes and satellite telecommunications, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (50) 935 24 45. E-mail: tori-mey@ukr.net.

Bondarchuk Andrii Petrovych – candidate of sciences (technical), associate professor, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (97) 408 61 31. E-mail: 0-99@mail.ru.

Senkov Oleh Viktorovich – aspirant, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380(67) 537 02 08. E-mail: oleg@senkov.kiev.ua

Дата надходження
в редакцію: 03.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. Г. Сайко
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 004.738

Отрох С. І., Ярош В. О., Власенко В. О., Зіненко Ю. М.
Державний університет телекомунікацій, м. Київ

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ МЕРЕЖІ МАЙБУТНЬОГО ДО ДІЇ ЗОВНІШНІХ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

В статті визначено, що підвищення якості функціонування мережі майбутнього можливо за рахунок підвищення стійкості елементів мережі. Наведено методи забезпечення стійкості елементів мережі майбутнього, таких як споруди зв'язку, обладнання зв'язку та лінії зв'язку до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Під стійкістю ми розуміємо здатність елементів мережі майбутнього виконувати свої функції та зберігати параметри у встановлених границях під час або після дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Сформовано можливість знаходження сумарної стійкості мережі майбутнього.

***Ключові слова*:** мережа майбутнього, зовнішні дестабілізуючі фактори,стійкість, коефіцієнт важливості

Otrokh S. I., Yarosh V. O., Vlasenko V. O., Zinenko Yu. M. Methods of future network support resistance to external destabilizing factor. The article is defined that improving the quality of the future network is possible by increasing the stability of network elements. The method of ensuring the stability of the future network elements such as communication facilities, communication equipment and link to external destabilizing factors are adduced. Under the stability we mean the ability of the future network elements perform their functions and save options in established borders during or after the action of external destabilizing factors. It is determined that every element of the future network (buildings, equipment and lines) has its resistance to external destabilizing factors. Thus, the possibility of finding generated total resistance of the future network is moubded. Factor of importance (value) of future network element that determines location of a separate element in the hierarchy of future network architecture gets particular importance

Keywords: future network,external destabilizing factors, stability, rate of the importance

Вступ. В даний час велика кількість робіт присвячено розвитку теоретичних і практичних аспектів вирішення завдань підвищення якості функціонування мереж майбутнього (FN) і разом з тим побудови високонадійних і відмовостійких мереж, які були б стійкі до впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів (ЗДФ). Міжнародним союзом електрозв'язку ведеться робота з вивчення зовнішніх деструктивних впливів (L.392) на телекомунікаційні мережі [1] та відпрацьовуються рекомендації для підвищення сталості функціонування FN шляхом підвищення стійкості елементів мережі майбутнього, таких як: споруди зв'язку, обладнання зв'язку та лінії зв'язку до дії ЗДФ. У зв'язку з цим питання підвищення стійкості мережі майбутнього набувають актуальності та особливого значення.

Під стійкістю ми розуміємо здатність елементів мережі майбутнього виконувати свої функції та зберігати параметри у встановлених границях під час або після дії ЗДФ.

Основна частина. Стійкість мереж майбутнього до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів забезпечується [2]:

– вибором типу споруд об'єктів зв'язку від безпосереднього впливу потужних гармонічних електромагнітних полів, електромагнітних імпульсних полів блискавки та іонізуючого випромінювання;

– захистом обладнання систем передачі мережі зв'язку від безпосереднього впливу електромагнітних полів;

– вибором типів кабелю та параметрів їх прокладки міжстійкових з'єднань обладнання зв'язку на об'єктах кабельних систем передачі FN;

– збільшенням стійкості обладнання на об'єктах кабельних систем передачі FN до взаємодії електромагнітних полів;

– захистом обладнання зв'язку на об'єктах кабельної інфраструктури FN від комплексної взаємодії електромагнітних полів та іонізуючого випромінювання.

Розглянемо кожен пункт забезпечення стійкості мереж майбутнього окремо.

© Отрох С. І., Ярош В. О., Власенко В. О., Зіненко Ю. М., 2017

1. Стійкість мереж майбутнього до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів забезпечується вибором технічних споруд проводових засобів зв'язку, які бувають:

– споруди, в яких розміщуються вузли зв'язку, кінцеві та обслуговуючі підсилювальні (регенераційні) пункти;

– цистерни та контейнери, у яких розміщуються необслуговуючі підсилювальні і регенераційні пункти.

Споруди, в яких розміщуються вузли зв'язку та обслуговуючі підсилювальні (регенераційні) пункти являють собою будівлі чотирьох типів: *бетонні будівлі* з покриттям із залізобетону; *будівлі* з покриттям, стінами та фундаментом із залізобетону; *будівл*і з покриттям, стінами та фундаментом із залізобетону, в якості екрануючого шару застосовується фольгоізол; *цегляні будівлі*.

Захист обладнання зв'язку при взаємодії іонізуючого випромінювання (ІВ) передбачається в тому випадку, якщо рівні зовнішніх впливів ІВ, при яких планується функціонування об'єкта зв'язку, перевищують рівень стійкості обладнання. Захист обладнання зв'язку від впливу іонізуючих випромінювань може бути забезпечений тільки послабленням ІВ шарами захисних матеріалів з бетону, цегли або грунту. Для захисту обладнання мережі майбутнього, розташованого на вузлах зв'язку і необслуговуваних підсилювальних (регенераційних) пунктах, від впливу електромагнітних полів застосовуються будівлі зведені цілком з армованого бетону з гальванічними зв'язками між арматурою стін, підлоги та покриттям. Ці будівлі послаблюють діючі поля електромагнітних імпульсів блискавки на 55 ÷ 58 дБ. Застосування таких споруд полегшує рішення загальної задачі по забезпеченню стійкості обладнання до впливу електромагнітних полів, а також до комплексного впливу різних видів ЗДФ, в тому числі і іонізуючих випромінювань. Забезпечення стійкості обладнання зв'язку до впливу ІВ досягається забезпеченням впливу на обладнання, розміщене в спорудах зв'язку, дози гамма-випромінювання, на яке обладнання повинне бути розраховане при проектуванні.

Якщо рівні гамма випромінювання поза об'єктом зв'язку перевищують рівні ІВ допустимі для обладнання, тоді необхідно послаблювати рівень гамма випромінювання.
Застосування будівлі, яка обладнана суцільним металевим екраном з фольги в якості споруди зв'язку, може призвести до появи небезпечних полів вторинних електромагнітних імпульсів всередині споруди зв'язку, що впливають на станційні кабелі зв'язку. Захисні властивості споруд зв'язку при впливі електромагнітних полів гармонійного характеру також залежать від частоти.

2. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується захистом обладнання систем передачі від безпосереднього впливу електромагнітних полів, які проникають всередину стійки або блоку обладнання. Стійкість обладнання засобів зв'язку до безпосереднього впливу електромагнітних полів, залежить від властивостей електро-радіоелементів, що входять до складу обладнання, а також від властивостей металевих корпусів стійок та блоків, в яких розміщується зазначене обладнання.

Для забезпечення захисту обладнання систем передачі від безпосереднього впливу електромагнітних полів необхідно, щоб наведена в контурі електрорухома сила була менше імпульсної електроміцності елементів схеми. Якщо обладнання встановлене в будівлях і розміщується в типових стійках та блоках то його захист від безпосереднього впливу електромагнітних полів блискавки забезпечується за умови, що конструктивні елементи цих стійок і блоків прилягають один до одного з зазорами не більше 0,5 - 1,0 мм.

Допускається розміщувати обладнання в стійках, що не мають суцільного екрану, за умови укладення всіх окремих його блоків в металеві корпуси і кожухи. У цьому випадку кабелі розташовані на стійках є продовженням станційних з'єднувальних ліній та враховуються при виборі допустимої довжини з'єднувальних кабелів у станційному монтажі апаратурного комплексу.

3. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується вибором типів кабелю та параметрів їх прокладки міжстійкових з'єднань обладнання зв'язку на об'єктах кабельних систем передачі FN**.** Для прокладки внутрішньостанційних з'єднувальних ліній у вузлах зв'язку і обслуговуваних підсилювальних пунктах, до обладнання в яких пред'являються вимоги по стійкості до впливу імпульсних і гармонійних електромагнітних полів, необхідно застосовувати кабелі, що мають екрануючу оболонку.

Напруга, що наводиться електромагнітними полями на станційних з'єднувальних лініях, залежать від типу кабелю, застосований в якості з'єднувальної лінії, його довжини, умов прокладки над стійками з обладнанням і екрануючих властивостей будівель, у яких обладнання розташовується. При типовому способі кабельної розводки прокладка станційних з'єднувальних ліній, на об'єктах зв'язку, здійснюється по кабельростам на висоті 0,3 - 0,5м над поверхнею стійок.

Вибір типу і довжини кабелю для станційної з'єднувально лінії проводиться виходячи з даних до імпульсної електроміцності входів обладнання. При цьому, повинен бути обраний тип споруди зв'язку з необхідними властивостями екранування.

Входи електроживлення стійок обладнання з'єднуються з пристроями електроживлення через токорозподільчу мережу (ТРМ). При типовому виконанні ТРМ являє собою токорозподільчу лінію з магістральними та місцевими ділянками. Магістральна ділянка має вертикальну і горизонтальну частини, виконані шинами з перетином 10 на 100 мм. Місцева ділянка також має горизонтальну частину, виконану шинами перетином 5 на 60 мм то вертикальну частину довжиною близько 0,5м.

Напруга, що впливає на входи живлення стійок апаратурного комплексу, формується наведеннями полів електромагнітних імпульсів (ЕМІ) по всій довжині ТРМ. Через малий омічний опір і сильну неузгодженість з навантаженнями на високих частотах, наведена напруга має характер затухаючих коливань з малим декрементом затухання. Вертикальна частина магістральної ділянки ТРМ застосовується для проведення струмів електроживлення між поверхами будівлі. Напруга, що наводиться полями ЕМІ на цю частину ТРМ, визначається вертикальною складовою напруженості електричного поля електромагнітного імпульсу під час дії. При відсутності у ТРМ вертикальної складової частини магістральної ділянки наведена напруга по всій ТРМ значно зменшується (у два-три рази, в залежності від довжини вертикальної частини).

Для зменшення наведень на ТРМ довжину вертикальних ділянок магістральної частини ТРМ слід обирати мінімальної довжини та розміщувати ці ділянки в екрановані шахти, застосовуючи для цих цілей сталеві труби діаметром понад 0,5м. Коефіцієнт ослаблення поля ЕМІ в екранованій шахті досягає величини більше 30 дБ і наведена на ТРМ напруга при цьому практично визначаються горизонтальними її частинами.

4. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується збільшенням стійкості обладнання на об'єктах кабельних систем передачі FN до взаємодії електромагнітних полів.

Стійкість обладнання об'єктів FN до впливу дестабілізуючих факторів визначається збереженням її працездатності під час і після впливу. Працездатність обладнання визначається здатністю забезпечувати передачу сигналів з заданими спотвореннями.

Обладнання необслуговуваних підсилювальних пунктів розташовується на об'єктах зв'язку, що представляють собою цистерни та контейнери. Амплітуда магнітної складової поля всередині цистерни і контейнера зменшується більш ніж на 35дБ при впливі різних видів полів ЕМІ, що при вибраних критеріях працездатності обладнання, забезпечує її стійкість до впливу зовнішніх електромагнітних полів. Для апаратурного комплексу необслуговуваних підсилювальних пунктів, які розташовуються в цистерні або контейнері, що знаходяться в грунті, вплив електромагнітних полів проявляється тільки через наведення на магістральні кабелі.

Оцінка стійкості обладнання вузла зв'язку або обслуговуємого підсилювального пункту проводиться з урахуванням того, що електромагнітні поля впливають на обладнання проводового зв'язку декількома шляхами. Оцінка стійкості обладнання на об'єкті зв'язку до впливу електромагнітних полів оцінюється окремо за кожним з таких шляхів впливу: *наведень* на магістральні кабелі; *безпосереднього* впливу полів ЕМІ на обладнання; *наведень* на станційні з'єднувальні кабелі.

Стійкість комплексу обладнання до впливу напруги, яка виникає внаслідок дії полів ЕМІ на станційних з'єднувальних лініях, залежить від імпульсної електроміцності станційних входів апаратури і напруги наведень на станційних кабелях. Забезпечення захисту обладнання від впливу полів ЕМІ по даному шляху полягає в тому, щоб наведення на станційних з'єднувальних лініях не перевищували імпульсну електроміцність відповідних входів обладнання.

Оцінка стійкості обладнання до впливів наведень полів ЕМІ на станційні кабелі проводиться в наступній послідовності:

– визначається тип будівлі, в якій розташоване обладнання;

– складається перелік обладнання;

– для апаратурного комплексу який проектується, проводиться попереднє проектування розстановки стійок з обладнанням в ЛАЦ та вибір марок з'єднувальних кабелів;

– для існуючих апаратурних комплексів складається перелік з'єднувальних ліній та їх довжин;

– далі проводиться зіставлення даних, що містять відомості про наведену на станційні кабелі напругу, з даними імпульсної електроміцності станційних входів обладнання систем передачі.

Для з'єднувальних ліній, на яких наведена на кабелях напруга перевищує імпульсну електроміцність входів обладнання, необхідно провести наступні заходи:

– зменшити довжину з'єднувального кабелю шляхом перестановки стійок, які даний кабель з'єднує;

– вибрати інший тип з'єднувального кабелю;

– застосувати додаткове екранування даного кабелю за допомогою металевих рукавів, труб, обплетень, використовуючи дані по внесеному цими екранами ослабленням наведень на з'єднувальні лінії;

– застосувати для зменшення наведень екранування будівлі фольгоізолом.

Для оцінки стійкості апаратури до впливу імпульсних напруг на входи електроживлення необхідно зіставити амплітуди наведені на ТРМ напруги з імпульсною електроміцністю цих входів.

У разі застосування ТРМ, наведені амплітуди напруг які перевищують імпульсну електроміцність, що живлять вхід стійок апаратурних комплексів, необхідно провести наступні заходи:

– застосувати екранування ТРМ за допомогою металевих рукавів, використовуючи дані по внесеному ослабленні наведень;

– застосувати для зменшення наведень екранування будівлі фольгоізолом;

– застосувати додаткові пристрої захисту, що встановлюються на входах обладнання електроживлення.

При розробці заходів по збільшенню стійкості комплексу апаратури до впливу електромагнітних полів у разі, коли забезпечення стійкості обладнання може досягатися за допомогою різних заходів, слід вибирати ті з них, які вимагають менших матеріальних і тимчасових витрат.

Вплив на лінії та обладнання зв'язку електромагнітних полів частотою 50Гц проявляються наведеними в лініях зв'язку напругами і струмами, величини яких можуть

становити небезпеку як для лінійних споруд, так і для підключеного обладнання кабелів зв'язку. Короткочасні небезпечні напруги і струми можуть виникати в ланцюгах зв'язку, які мають зближення з лініями високої напруги при коротких замиканнях фази на землю в трифазних високовольтних лініях з заземленою нейтраллю, при коротких замиканнях контактної мережі електрозалізниць.

Час дії небезпечних напруг, індукованих в лініях зв'язку при їх зближенні з високовольтною лінією (ВЛ), знаходиться в межах від 0,15 до 1,5 с. Тривалі небезпечні напруги і струми можуть виникати при зближенні ліній зв'язку з повністю несиметричними ВЛ, а також з трифазними ВЛ з ізольованою нейтраллю при короткому замиканні на землю однієї з фаз.

Забезпечення стійкості обладнання від дії струмів затікання з металопокриттів лінійних кабелів досягається застосуванням заземлень металопокриттів при введенні кабелю в техбудинок. При цьому конструкція заземлення повинна забезпечувати опір струму затікання не більше 5 - 7 Ом в діапазоні частот від 0 до 10 МГц.

5. Стійкість мереж майбутнього до дії ЗДФ забезпечується захистом обладнання зв'язку на об'єктах кабельної інфраструктури FN від комплексної взаємодії електромагнітних полів та іонізуючого випромінювання.

При комплексному впливі різних видів електромагнітних полів проводиться зіставлення захисних заходів для кожного впливу і вибираються ті заходи, які забезпечують стійкість апаратури від найбільш небезпечного електромагнітного впливу. При одночасному впливі полів з частотою 50 Гц і імпульсних полів EMI спеціальних заходів захисту обладнання проводити немає необхідності якщо заходи забезпечення захисту окремо прийняті як від впливу полів 50Гц, так і від впливу імпульсних електромагнітних полів.

У разі впливу імпульсних гамма-випромінювань на обладнання зв'язку, необхідно враховувати вплив вторинного електромагнітного імпульсу, що виникає у замкнених об'ємах. Для забезпечення стійкості обладнання до впливу вторинного електромагнітного імпульсу необхідно виконувати монтаж міжблокових з'єднань в стійках обладнання екранованими кабелями. В іншому випадку рівнів електромагнітних полів достатньо, щоб наводка на станційних входах обладнання стала небезпечною для чутливих елементів схем.

У випадку застосування в якості екрануючих елементів будівлі об'єкта зв'язку фольгоізола, станційні входи обладнання піддаються впливу наведень вторинного електромагнітного імпульсу на станційні кабелі. Рівні наведених напруг на станційні з'єднувальні лінії порівняні з рівнями наведень від EMI блискавки.

При комплексному впливі іонізуючих випромінювань і електромагнітних полів захисні заходи зводяться до забезпечення стійкості обладнання від впливу кожного окремо. При цьому слід враховувати, що деякі заходи щодо забезпечення стійкості обладнання до дії електромагнітних полів можуть вплинути на стійкість обладнання до впливу ІВ.

Для визначення показників стійкості, можуть використовуватися широко відомі методи, як аналітичний метод вірогідного розрахунку так і метод статистичних випробувань.

Метою цих методів являється визначення числових характеристик закону розподілення вихідного параметра підсистеми N_j, якщо відомі статистичні данні про залежність параметрів елемента мережі, тобто $q_i(R)$, і відповідні показники стійкості [3].

Розглянемо постановку задачі та можливі шляхи її рішення. Для простоти міркування припустимо, що підсистема характеризується вихідними параметрами N_j і відома їх аналітична залежність від значень електричних параметрів електро – радіоелементів q_{i^1}, де i = 1, 2, …; $\boldsymbol{I}$ – число параметрів i- го типу елемента; l – 1, 2, …, L– число типів елементів мережі в підсистемі

$$N_1 = F_1(q_{il});\ N_2 = F_2(q_{il})\ ,\ \dots\ ,\quad N_{\kappa} = F_{\kappa}(q_{il}).$$

Кожен i – й електричний параметр елемента мережі FN l – го типу при фіксованому значенні рівня ІВ являється випадковою величиною. Нехай для всіх параметрів відомі функції ймовірності $P_{il}(q_{il})$, а спільна щільність вірогідності для всіх $\boldsymbol{I}\cdot\boldsymbol{L}$ параметрів (вхідні змінні) $P(q) = P(q_{11},\ q_{21}, \dots, q_{I1};\ q_{12},\ q_{22}, \dots,\ q_{I2};\ q_{1L},\ q_{2L}, \dots,\ q_{IL}.)$. Якщо припустити, що всі вихідні змінні незалежні, то вона дорівнює добутку одновимірних щільностей, тобто

$$P(q) = P_1(q_{11})\,P_2(q_{12})\ \dots\ P_T(q_{IL}),\ T = \boldsymbol{IL}.$$

Значення $N_1, N_2, \dots, N_k$ знаходиться в певних межах, встановлених вихідними обмеженнями, до того ж Γ_N – область допустимих значень цих змінних. Тоді для розрахунку (2) вірогідності збереження працездатності конкретної схеми слід проігнорувати спільну щільність вірогідності вхідних змінних по області, заданої вихідними обмеженнями та межами допусків на вхідні змінні, тобто

$$P\big(N \in N_{\text{доп}}, R\big) = \int\limits_{\Gamma_{N,q}} P(q,R)dp = \int\limits_{\Gamma_{N,q}} P(q)dp$$

при фіксованому значенні R.

Для обчислень прийнято використовувати методи нормальної апроксимації, згортки, прямого відображення і статистичного моделювання (Монте-Карло). Суть методу нормальної апроксимації, зводиться до використання розкладання в ряд Тейлора функції багатьох змінних:

$$N_j = F_j(q_1, q_2, \dots, q_{IL}) =$$

$$=\sum_{K=0}^{\infty}\frac{1}{K!}\left[\left(q1 - {}_{mq_1}\right)\frac{\partial}{\partial q_1} + \left(q_2 - m_{q_2}\right)\frac{\partial}{\partial q_2} + \dots + \left(q_{TL} - m_{q_{TL}}\right)\frac{\partial}{\partial q_{TL}}\right]^K \cdot\ F_j(q_1,\ q_2, \dots, q_{TL}),$$

Де всі похідні обчислюються в точці $(q_1, q_2, \dots, q_{TL}) = (m_{q_1}, m_{q_2}, \dots, m_{q_{TL}})$.

Якщо вхідні змінні кореговані та мають нормальний розподіл, то і щільність ймовірності для N_j буде нормальною із середнім значенням $m_N = F_j(m_{q_1}, m_{q_2}, \dots, m_{q_{TL}})$ і дисперсією $S^2_{N_S} = \sum_{i=0}^{n} B_i^2\,\sigma^2_{q_i}$. Тоді ймовірність збереження N_j у встановлених межах $N_{j\,\text{доп}}$ при взаємодії R може бути легко знайдена за допомогою таблиць нормального розподілу.

Якщо n вхідних змінних кореговані, тоді для випадку лінійної функції можна знайти спільну щільність вірогідності з подальшими обчисленнями вірогідності збереження всіх N_j у встановлених межах:

$$P_j(N_1, N_2, \dots, N_S) = P(q_1, q_2, \dots, q_{TL})/|I|,$$

де

$$|I| = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial q_1} \dots \frac{\partial N_1}{\partial q_{TL}} \\ \vdots \\ \frac{\partial N_j}{\partial q_1} \dots \frac{\partial N_j}{\partial q_{TL}} \end{bmatrix}$$ - якобіани.

Однак для цього необхідно знати коваріації між q_1 і q_2 , q_1 і q_3 , … , q_i і q_j , i та j у всьому діапазоні рівнянь ІВ, що практично не можливо.

Отже, можливо впевнено стверджувати про те, що кожен елемент мережі майбутнього (споруди, обладнання та лінії зв'язку) має свою стійкість до дії ЗДФ.

Таким чином, сумарна стійкість мережі майбутнього визначається як сума показників стійкості споруд зв'язку, обладнання зв'язку та ліній зв'язку, а саме:

$$W = k_1\sum_{0}^{n} P_{\text{сп}} + k_2\sum_{0}^{n} P_{\text{обл}} + k_3\sum_{0}^{n} P_{\text{лз}},$$

де, $k_{1\dots3}$ – коефіцієнт важливості (цінності) елемента мережі майбутнього, $P_{\text{сп}}$ – стійкість споруд зв'язку, $P_{\text{обл}}$ – стійкість обладнання зв'язку, $P_{\text{лз}}$ – стійкість ліній зв'язку.

Коефіцієнт важливості визначає місце окремого елемента в ієрархічній структурі архітектури мережі майбутнього. Зазначений коефіцієнт (k) може приймати значення від 0 до 1.

Висновки. В статті наведено методи забезпечення стійкості елементів мережі майбутнього, таких як споруди зв'язку, обладнання зв'язку та лінії зв'язку до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Визначено, що кожен елемент мережі майбутнього (споруди, обладнання та лінії зв'язку) має свою стійкість до дії зовнішніх дестабілізуючих факторів. Таким чином, сформовано можливість знаходження сумарної стійкості мережі майбутнього. Особливого значення набуває коефіцієнт важливості (цінності) елемента мережі майбутнього, який визначає місце окремого елемента в ієрархічній структурі архітектури мережі майбутнього.

Список використаної літератури

1. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource unit // Recommendation ITU-T L.392. – 2016.

2. Рекомендации по обеспечению стойкости аппаратурных комплексов объектов проводной электросвязи к воздействию дестабилизирующих факторов // РД 45.083-99.

3. Мырова Л. О., Чепиженко А. З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям // Радио и связь. – 1988. – С. 296.

References

1. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource unit // Recommendation ITU-T L.392. – 2016.

2. Recommendations for ensuring the durability of hardware complexes of wire telecommunication facilities to the effect of destabilizing factors // РД 45.083-99.

3. Myrova L. O., Chepizhenko A. Z. Ensuring the durability of communication equipment to ionizing and electromagnetic radiation // Radio i svyaz. – 1988 - S.296

Автори статті

Отрох Сергій Іванович – доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 93 439 89 32. E-mail:sotrokh@ukrtelecom.ua

Ярош Володимир Олександрович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 93 439 89 32. E-mail: vovayarosh@yandex.ru.

Власенко Вадим Олександрович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 63 413 10 18. E-mail: v.vlasenko@dut.edu.ua

Зіненко Юрій Миколайович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 63 234 01 64. E-mail:u96mode@ukr.net

Authors of the article

Otrokh Serhii Ivanovych – candidate of science (technic), associate professor of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 91 114 02 49. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua

Yarosh Volodymyr Oleksandrovych – post-graduate student of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 93 439 89 32. E-mail: vovayarosh@yandex.ru.

Vlasenko Vadym Oleksandrovych – graduate student of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38(097)241-94-88. E-mail: v.vlasenko@dut.edu.ua.

Zinenko Yurii Mykolayovych – graduate of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38(063)234-01-64. E-mail: u96mode@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 27.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. Ф. Заїка
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 004.056.55

Круліковський О. В., Галюк С. Д., Політанський Л. Ф.
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ХАОТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ ГЕНЕРАТОРІВ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

В роботі виокремлено базові критерії, яким повинні відповідати хаотичні системи для їх застосування при побудові криптографічних додатків. Показано, що для правильної оцінки потужності множини ключів, необхідно уникати значень параметрів за яких мають місце нехаотичні режими, що можна досягнути використанням багатовимірних відображень. Вказано шляхи збільшення періоду хаотичних систем при їх програмній і програмно-апаратній реалізації в умовах обмеженої прецизійності обчислень. Для багатомірних варіантів сімейств відображень Лоці та гіперхаотичної системи Тратаса встановлено існування хаотичних режимів неперервних за параметрами керування.

Ключові слова – хаотичні системи, простір ключів, рівномірний розподіл, періодичність розв'язків.

Krulikovskyi O. V. , Haliuk S. D. , Politanskyi L. F. Features of choosing the chaotic systems for constructing generators of pseudo-random numbers. In the paper are emphasized the basic criteria which the chaotic systems must pass for their use in the constructing of cryptographic applications. On example of logistic map it is shown, that to estimate the power of the set of keys properly, is necessary to avoid parameter values for which nonchaotic modes exist, what can be achieved by using the multidimensional maps. It is shown, that for software implementation of one-dimensional chaotic maps are observed collapse of chaos and short lengths of cycles in dependence from parameters and precision of calculations. It is noted methods of increasing the period of chaotic systems at their software and software-hardware implementation in conditions of limited precision calculations. It is shown that need use the ring-coupled maps to avoid collapse of chaos and short lengths of time series. For multidimensional variants of Lozi families maps and Tratas hyperchaotic system is determined the existence of chaotic modes continuous in control parameters.

Keywords – chaos, key space, continuous bifurcation diagram, uniform distribution, periodicity of solutions, precision of calculations, PRNG, rind-coupled maps.

1. Вступ. Починаючи з другої половини 80-х років XX ст. системи цифрового зв'язку на базі детермінованого хаосу є активним полем наукових досліджень, що обумовлено необхідністю вирішення багатогранної складності питань інформаційної безпеки, які виникли внаслідок швидкого розвитку і тотального впровадження новітніх технологій [1-3]. Як відомо найбільш ефективним засобом для захисту даних є їх криптографічне зашифрування. Постійне збільшення можливостей ЕОМ призводить до систематичного підвищення вимог до криптографічних додатків. Ці обставини вимагають розвитку і дослідження нових областей в криптології. Детерміновані хаотичні системи за типом генерованих коливань поділяють на два класи: системи з дискретним і неперервним часом [4]. Системи з дискретним часом описуються рекурсивними рівняннями, а системи із неперервним часом – нелінійними диференційними рівняннями (цілого або дробового порядку) [5]. Неперервні хаотичні сигнали генеруються аналоговими схемами, а їх спектральні і статистичні характеристики визначаються параметрами схеми (номіналами лінійних і нелінійних елементів).

Аналогові генератори дискретних сигналів є неавтономними, що працюють під дією тактового сигналу. Шириною спектру генерованих сигналів можна керувати шляхом зміни тактового сигналу. Однак, у силу впливу теплових шумів та технологічних обмежень на прецизійність елементів електричних кіл хаотичні системи набули популярності в якості генераторів випадкових чисел [6].

Іншим широким класом генераторів є генератори псевдовипадкових послідовностей (ГПВП) на базі програмних реалізацій детермінованих динамічних систем. Як відомо, ЕОМ характеризуються обмеженою точністю обчислень при розрахунках [7]. Тому програмно реалізовані детерміновані хаотичні системи з плином часу володітимуть властивістю циклічності, що обумовлено переходом від безмежної до скінченої множини.

© *Круліковський О. В., Галюк С. Д., Політанський Л. Ф., 2017*

Чисельно отримані розв'язки зберігатимуть спектр, розмірність, ергодичність та властивості атрактора [8]. Наприклад, довжина циклу одномірного хаотичного відображення (логістичного, кубічного, квадратичного або ін.), реалізованого на ПЛІС з фіксованою комою і точністю $n = 32$ двійкових розряди, матиме теоретично максимальний період 2^n.

З точки зору інформаційної безпеки висуваються вимоги до точності обчислень та статистичних властивостей ГПВП і простору ключів. На відміну від систем неперервного часу, що описуються диференційними рівняннями, пріоритетним для розробки криптографічних засобів є використання хаотичних систем дискретного часу, які оперують простими математичними операціями [9].

В роботі розглянуто критерії вибору дискретних хаотичних систем з метою побудови ГПВП на ПЛІС та обґрунтовано перехід до багатовимірних відображень на прикладі логістичного відображення. Показано, що не всі системи можуть бути використані в якості генератора часових рядів для формування ПВП, та підтверджено доцільність застосування хаотичних систем, що характеризуються суцільною діаграмою біфуркацій без вікон періодичності.

2. Періодичність хаосу. Загальновідомо, що детермінований хаос має місце в безмежному полі дійсних чисел [4]. При переході до програмної реалізації на базі ЕОМ внаслідок зменшення множини можливих станів хаотичні системи втрачають «хаотичність», а їх реалізації є псевдохаотичними і циклічними. Для мінімізації впливу цього фактору необхідно використовувати максимально можливу точність обчислень з урахуванням кросплатформеності та швидкодії. Неповна відповідність базових програмно-апаратних носіїв часто призводить до неможливості відтворення ідентичних псевдохаотичних реалізацій на різних платформах (різні ОС, мови програмування, компілятори, різні виробники ПЛІС).

При виконанні арифметичних операцій над дійсними числами у арифметиці з плаваючою комою має місце фактор різних значень похибки заокруглення, яка внаслідок чутливості нелінійних систем призводить до розбігання траєкторій для різних програмно-апаратних засобів та компіляторів. Використовуючи арифметику з фіксованою комою при заданому типі заокруглення можна уникнути різних похибок заокруглення [3]. Іншим варіантом є перехід до скінчених автоматів – аналогів хаотичних систем над скінченим кільцем Z_{p^k} (де p – просте число, а k – натуральне число) [10-11].

До переваги програмної реалізації арифметики з фіксованою комою варто віднести можливість рознесеного точного відтворення хаотичних сигналів (у тому числі з довільними часовими затримками), що відкриває можливості для розроблення криптографічних алгоритмів.

Для достатньо великого періоду повторення розв'язки хаотичної системи зберігатимуть розмірність, ергодичність та властивості справжнього атрактора. Це дає змогу досліджувати хаотичні системи шляхом їх моделювання. В [8] показано, що довжина циклу для логістичного рівняння становить $\sim 2^{10} \div 2^{16}$ для арифметики Q32.29, що значно менше теоретичного максимуму в 2^{32} ітерацій. Кількість циклів при одному значенні параметру є обмеженою, внаслідок того що велика кількість траєкторій, формованих при різних початкових умовах, після закінчення перехідного процесу виходять на однакові дискретні періодичні орбіти. Внаслідок циклічності псевдохаотичної послідовності об'єм інформації, що підлягає за шифруванню та простір ключів методу є обмеженими.

Вирішення проблеми усунення повторюваності псевдохаосу можливе за рахунок збільшення середньої довжини циклу і тривалості перехідного процесу шляхом збільшення прецизійності обчислень та введення псевдовипадкових періодичних збурень а також переходом до багатовимірних систем.

Апаратне збільшення точності обчислень уможливлене при використанні дороговартісних пристроїв. Це є суттєвим стримуючим фактором, а програмна реалізація вимагає збільшення часових затрат.

Ефективність періодичних збурень залежить від властивостей системи, до якої вони застосовуються, характеру збурень та частоти їх дії. Для прикладу розглянемо логістичне відображення, що задається ітераційною залежністю:

$$x_{n+1} = r x_n \left(1 - x_n\right) \tag{1}$$

де r — параметр керування, n – номер ітерації, x_{n+1} – змінна, яка може приймати значення з діапазону [0; 1].

У випадку якщо тривалість циклу хаотичної системи становить одну ітерацію [12], збурення з періодом повторення більшим за середню тривалість перехідного процесу є недоцільні, оскільки вони призведуть до періодичного повторення частини однієї і тієї ж траєкторії. Реалізацію системи (1) у арифметиці Q12.9 під впливом випадкового періодичного збурення через кожні 50 ітерацій приведена на рис. 1. Із рис. 1 випливає, що дія збурення викликає короткий перехідний процес, після якого система колапсує або виходить на періодичну орбіту. Подібна ситуація матиме місце, у випадку, якщо середня тривалість циклів менша за період впливу збурення.

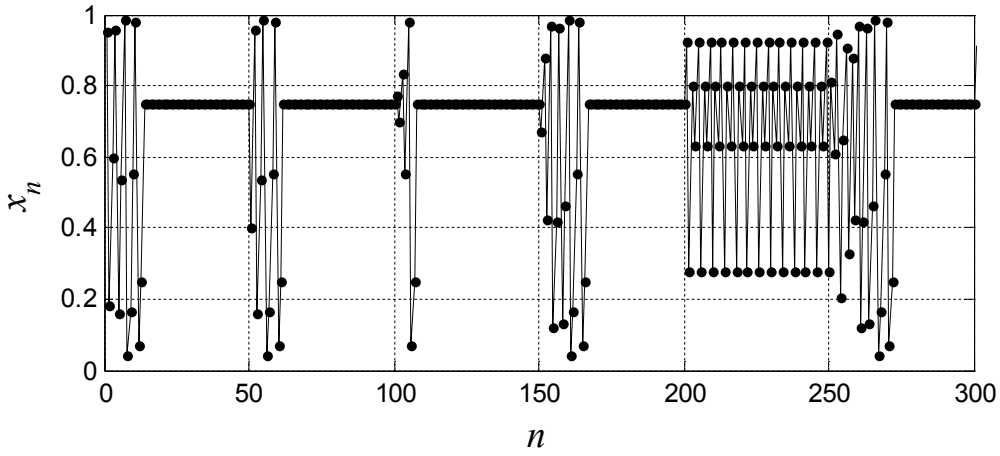


Рис. 1. Повторюваність колапсу при випадкових періодичних збуреннях через кожні 50 ітерацій

Використання багатовимірних систем є найбільш доцільним, оскільки кількість циклів повторення псевдохаосу, середня тривалість циклу та перехідного процесу перед виходом траєкторії на цикл пов'язані з кореляційною розмірністю d, як [13-14].

$$\langle L \rangle \sim \varepsilon^{-\frac{d}{2}}. \tag{2}$$

де $\langle L \rangle$ – позначає середнє значення.

Кореляційна розмірність не перевищує розмірності фазового простору хаотичної системи. Тому збільшення розмірності призведе до збільшення періоду повторення псевдохаотичної послідовності.

Варто зазначити, що у багатовимірних системах також можливі явища колапсу хаосу, проте середній час до виходу на одиничний цикл буде більшим в порівнянні з одно- та двовимірними хаотичними системами.

3. Розподіл хаотичних реалізацій. Особливістю хаотичних систем є різна частота відвідування їх траєкторіями різних областей фазового простору, що характеризується дробовими значеннями фрактальних розмірностей. Наслідком цього є нерівномірний розподіл значень послідовностей, генерованих такими системами.

Гістограма розподілу значень часових рядів, отриманих за допомогою (1) на (рис. 2.) є нерівномірною у всьому діапазоні значень параметру , що є небажаним для реалізації якісних криптографічних засобів. Безпосереднє використання розв'язків (1) як псевдовипадкових чисел, обумовлює їх нестійкість до статистичних атак [15].

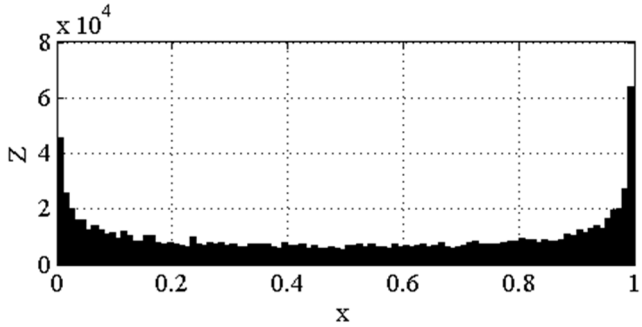


Рис. 2. Гістограма значень часових рядів генерованих (1) при $r = 3.999,\ n = 1000000.$

Найпростішим способом отримання за допомогою (1) псевдовипадкової послідовності є пороговий метод, згідно якому фазовий простір системи поділяється на дві незалежні області, що відповідають двійковим символам «0» або «1»:

$$X(n) = \begin{cases} 0, & x_n \le x_П \\ 1, & x_n > x_П \end{cases}, \tag{3}$$

де $x_П$ – порогове значення.

Отримана згідно (2) ПВП $X(n)$ є грубою оцінкою хаотичної траєкторії . Недоліком порогового методу є залежність статистичних характеристик послідовності від вибору порогового значення $x_П$. В [16] пропонується вибирати $x_П = 0.5$. Проте в роботах [17] показано, що внаслідок нерівності розподілу $x(n)$ такий вибір порогу $x_П$ не може забезпечити отримання збалансованих послідовностей. На рис. 3 приведено залежність відсотка «1» у послідовності, отриманій згідно (1) і (2) від значення параметру керування . Як бачимо, частки символів «0» і «1» при виборі порогу $x_П = 0.5$ значно різняться, що вказує на незбалансованість послідовності $X(n)$.

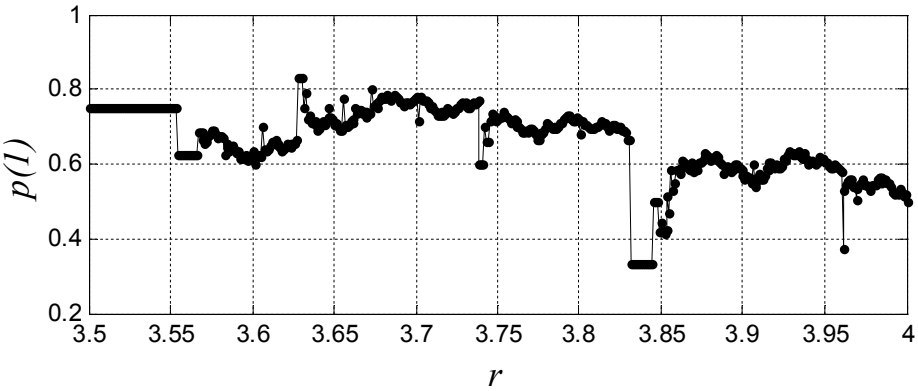


Рис. 3. Залежність ймовірності отримати символ «1» пороговим методом при $x_П = 0.5$ від параметру керування *r*.

Усунути недолік порогового методу можна динамічним вибором порогу, як медіани розподілу при заданому значені параметру керування (рис. 4).

Недоліком порогового методу також є низька швидкість генерування ПВП, оскільки за одну ітерацію можливо отримати тільки один біт послідовності. Збільшити швидкість генерування ПВП можна шляхом бітового представлення хаотичних чисел.

Гістограму будь-якої хаотичної системи при програмній реалізації на ЕОМ формують значущі біти двійкового представлення даних. Відкинувши частину біт, що не відповідають критерію збалансованості, можна отримати послідовності з рівномірним розподілом.

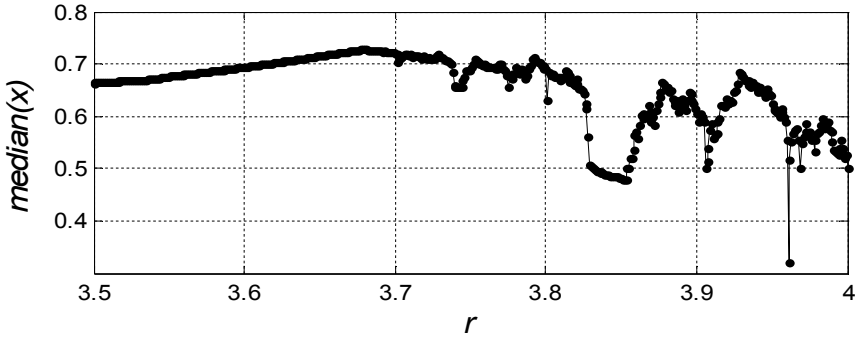


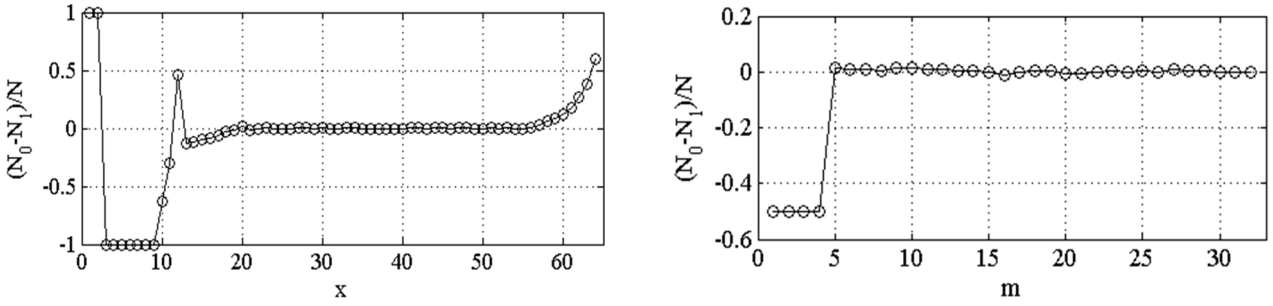
Рис. 4. Залежність медіани розподілу реалізацій системи (1) від параметру керування *r*.

Розглянемо особливості бітового представлення чисел при розрахунках з фіксованою та плаваючою комою і подвійною точністю. Сформуємо матрицю з розмірністю $n \times m$ з елементами $l_{n,m}$.

$$\begin{cases} l_{11} \; . \; l_{12} \; \ldots \; l_{1,\,m} \\ l_{21} \; . \; l_{22} \; \ldots \; l_{2,\,m} \\ \quad . \quad . \quad \ldots \quad . \\ l_{n,1} \; . \; l_{n,2} \; \ldots \; l_{n,\,m} \end{cases} \tag{4}$$

де n – номер ітерації x_n, а m – порядковий номер біта в бінарному представленні дійсного числа.

Для кожного стовпця обчислюється кількість нулів “0” - N_0 та одиниць “1” - N_1, $(N_0 + N_1 = N)$. Залежності відносної різниці кількості «0» і «1» від номера двійкового символу у числі приведено на рис. 5.



а *б*

Рис. 5. Збалансованість послідовностей для логістичного рівняння при *r* = 3.999 для подвійної точності – *а*; арифметики Q3.29 – *б*.

Як випливає із рис. 5 *а*, для подвійної точності найбільш значущі біти, які формують хаотичний атрактор (1) є незбалансованими. Відхилення в пропорції «0» і «1» для найменш значущих бітів обумовлена особливостями округлення в арифметиці з плаваючою комою. Молодші біти збалансовані при реалізації логістичного відображення на ПЛІС та у комп’ютерних обчисленнях з використанням арифметики з фіксованою комою (рис. 5*б*).

Приклад отримання рівномірного розподілу чисел, отриманих на основі реалізацій (1) шляхом відкидання старших 15 біт, приведено на рис. 6 .

4. Ключовий простір. Під простором ключів в методах шифрування на базі детермінованого хаосу розуміють множину значень параметрів та початкових умов, за яких мають місце хаотичні режими. Дуже часто при зміні параметрів хаотичні коливання можуть

переходити в періодичні. Наприклад, для логістичного рівняння хаотичні коливання можуть мати місце при $r \geq 3,57$.

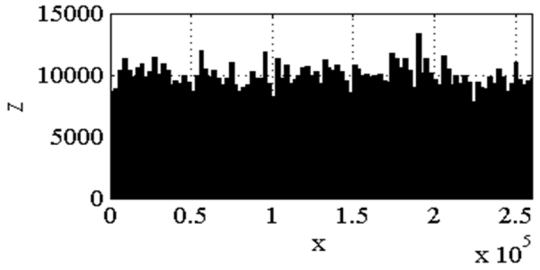


Рис. 6. Гістограма значень часових рядів генерованих (1) при r = 3.999, n=1000000 при відкиданні старших 15 біт при Q3.29.

З діаграми біфуркацій (рис. 7) випливає, що для деяких значень параметру r існують вікна періодичності, внаслідок чого точна оцінка простору ключів унеможливлена.

Тому при виборі хаотичних систем перевагу надавати таким, що характеризуються суцільною діаграмою біфуркацій без вікон періодичності.

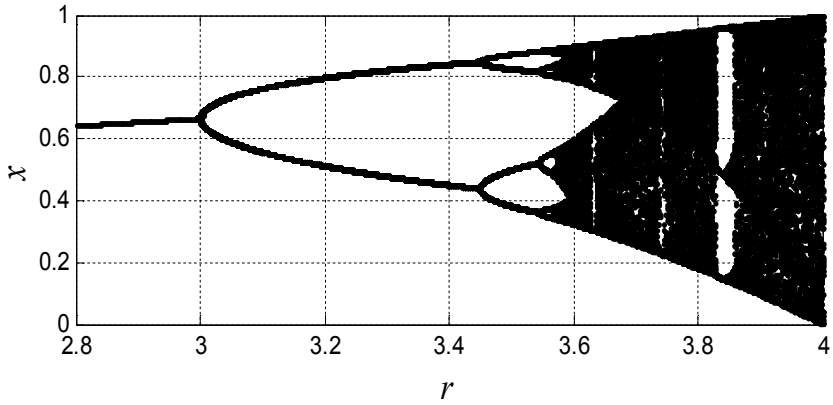


Рис. 7. Біфуркаційна діаграма (1).

Використання всієї множини початкових умов з області притягування атрактора при виборі простору ключів є некоректним і призводить до неправильної оцінки його обсягу. Для системи (1) допустимі значення початкових умов належного діапазону [0, 1], і не залежать від значень параметру r. Розмах хаотичних реалізацій після закінчення перехідного процесу не виходитиме за межі інтервалу (x_{min}, x_{max}) (див. рис 8). При зміні параметру r буде змінюватися розмах реалізацій та обсяг ключового простору початкових умов.

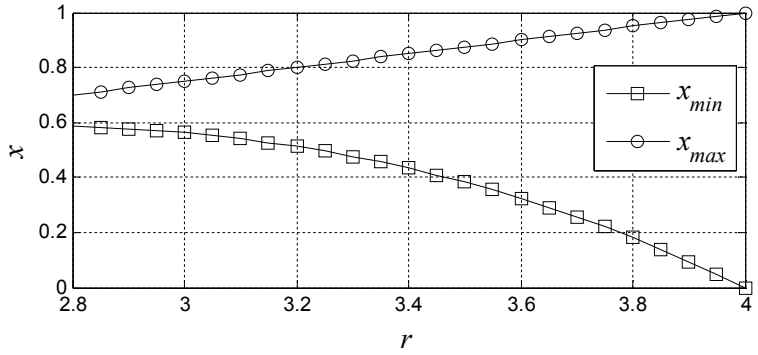


Рис. 8. Обмеження області значень реалізацій логістичного рівняння після перехідного процесу

Легко показати, що послідовність розв'язків (1), що стартують при довільних початкових умовах з області (0,1) з часом обмежиться діапазоном $\left[\frac{r^2}{4}\left(1-\frac{r}{4}\right), \frac{r}{4}\right]$, що і буде ключовим

простором для системи (1). Залежність простору від параметра ускладнює оцінку надійності шифру.

Слід зауважити, що при комп'ютерних обчисленнях різні початкові умови призводять до однакових циклів. Тобто при шифруванні великих обсягів інформації (відносно до середньої тривалості перехідного процесу), початкові умови є слабшим ключем в порівнянні зі значенням параметру керування. Тому при оцінюванні криптостійкості хаотичних шифрів до врахування всієї множини допустимих початкових умов, як простору ключів необхідно підходити з обережністю.

5. Приклади систем з хаотичними режимами неперервними за параметром. Гіперхаотична система Тратаса [5] допускає збільшення розмірності шляхом кільцевого з'єднання підсистем, і у багатовимірному випадку описується наступними рівняннями [18]

$$\begin{cases} x_{n+1}^{(1)} = a_1 \left| x_n^{(1)} \right| - b_1 \left| x_n^{(2)} \right| + 1 \\ x_{n+1}^{(2)} = a_2 \left| x_n^{(2)} \right| - b_2 \left| x_n^{(3)} \right| + 1 \\ \quad \dots \\ x_{n+1}^{(p)} = a_6 \left| x_n^{(p)} \right| - b_6 \left| x_n^{(1)} \right| + 1, \end{cases} \tag{5}$$

де a, b – параметри керування, p – розмірність системи, позначення $\left| x_n^{(i)} \right|$ є операцією отримання абсолютного значення $x_n^{(i)}$, $i = [1 \dots p]$.

Для побудови ПВП запропоновані сімейства систем Лоці, що належать до класу систем з дискретним часом і неперервною множиною значень [19-20]. Одна із таких систем аналітично описується наступними рівняннями [4]:

$$\begin{cases} x_{n+1}^{(1)} = 1 - r \left| x_n^{(1)} \right| + r \left(\left| x_n^{(2)} \right| - \left(x_n^{(1)} \right)^2 \right) \\ x_{n+1}^{(2)} = 1 - r \left| x_n^{(2)} \right| + r \left(\left| x_n^{(3)} \right| - \left(x_n^{(2)} \right)^2 \right) \\ \quad \dots \\ x_{n+1}^{(p)} = 1 - r \left| x_n^{(p)} \right| + r \left(\left| x_n^{(1)} \right| - \left(x_n^{(p)} \right)^2 \right) \end{cases}, \tag{6}$$

$$\begin{cases} \text{якщо} \quad 1 - r \left| x_n^{(i)} \right| + r \left(\left| x^{(i-1)} \right| - (x_n^{(i)})^2 \right) < -1, \quad x_{n+1}^{(i)} = x_{n+1}^{(i)} + 2, \\ \text{якщо} \quad 1 - r \left| x_n^{(i)} \right| + r \left(\left| x^{(i-1)} \right| - (x_n^{(i)})^2 \right) > 1, \quad x_{n+1}^{(i)} = x_{n+1}^{(i)} - 2, \end{cases} \tag{7}$$

де r – параметр керування, p – розмірність системи, позначення $\left| x_n^{(i)} \right|$ є операцією отримання абсолютного значення $x_n^{(i)}$, $i = [1 \dots p]$.

Як слідує з біфуркаційних діаграм та значень показників Ляпунова, приведених на рис. 9, для систем (5) і (6), існують області значень параметрів керування, в яких відсутні вікна періодичності. Розмах реалізацій системи Лозі знаходиться в межах [-1, 1] і при значеннях параметру $r \in [1.2,\ 2]$ спостерігається неперервні за зміною параметра гіперхаотичні коливання. Перевагою системи (6) в порівнянні з (5) є майже рівномірний розподіл реалізацій [20].

6. Висновки. В роботі проаналізовано критерії вибору детермінованих хаотичних систем для розробки ГПВП. Досліджено збалансованість послідовностей при використанні арифметики з фіксованою або плаваючою комою. Запропоновано використання багатовимірних відображень з суцільною біфуркаційною діаграмою, що дає змогу уникнути

використання слабких ключів. Показано, що при розробці криптографічних засобів на базі хаотичних систем необхідно враховувати взаємозв'язки між періодичністю, точністю та платформою реалізації.

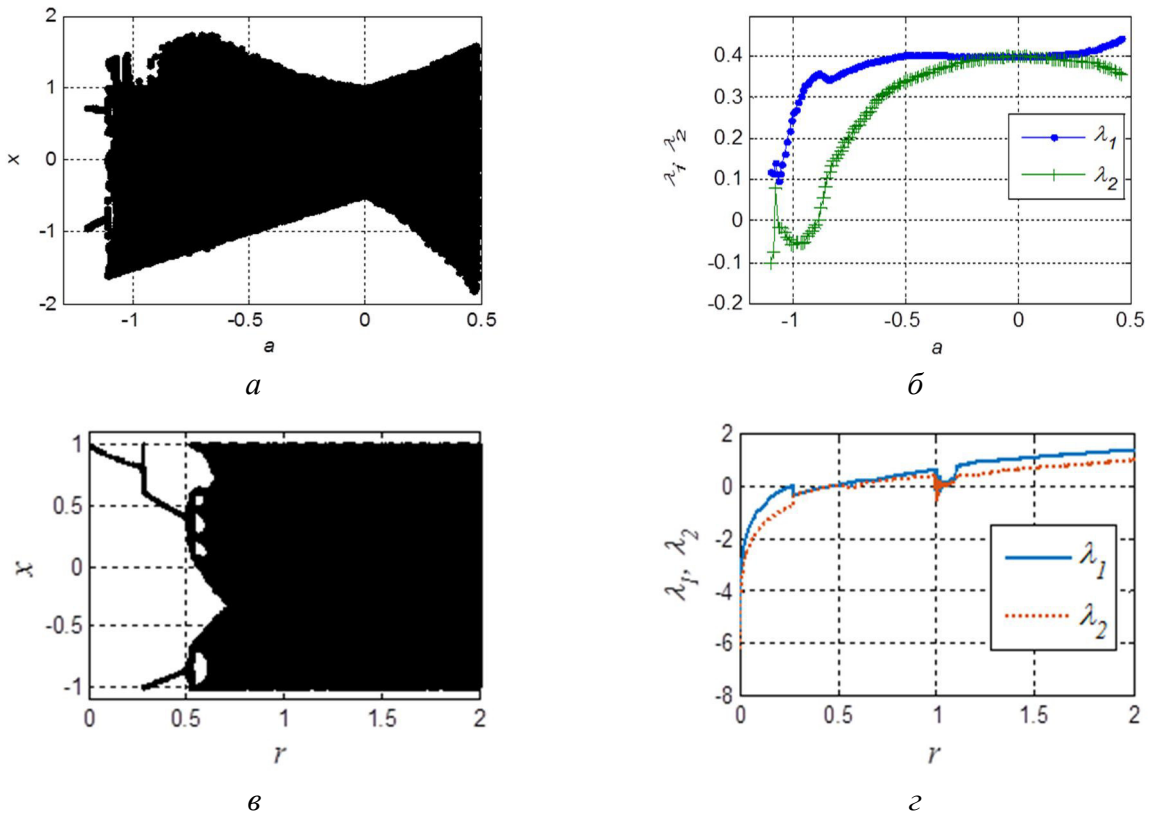


Рис. 9. Характеристики багатовимірних дискретних систем: біфуркаційна діаграма – (*а*), діаграма показників Ляпунова – (*б*) для двовимірної системи Лозі; біфуркаційна діаграма – (*в*), діаграма показників Ляпунова – (*г*) для двовимірної системи Тратаса при $b = 1,493$.

Список використаної літератури

1. Rodriguez-Vazquez A. Chaos from Switched-Capacitor Circuits: Discrete Maps / A. Rodriguez-Vazquez, J. Huertas, A. Rueda, B. Perez-Verdu, and L. O. Chua // Proc. of the IEEE, Special Issue on Chaotic Systems. - Aug. 1987. - PP. 1090-1106

2. Pecora Louis M / Synchronization in chaotic systems / Louis M. Pecora and Thomas L. Carroll // Phys. Rev. Lett. – 1990. - 64, - C. 821.

3. Ljupco Kocarev Chaos-Based Cryptography Theory, Algorithms and Applications / L. Kocarev, S. Lian. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. - 397 pp.

4. Птицын Н. Приложение теории детерминированного хаоса в криптографии / Н. Птицын. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 80 с.

5. Шахтарин Б.И. Генераторы хаотических колебаний / Б.И. Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кондратьэв, С.В. Митин. Москва: Галилеос АРВ. –2007. – 247 с.

6. Stojanovski Toni Chaos-Based Random Number Generators—Part I: Analysis / Toni Stojanovski, Ljupco Kocarev // IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—I: FUNDAMENTAL THEORY AND APPLICATIONS. 2001. - Vol. 48, № 3, - C. 281.

7. IEEE, "IEEE standard Floating-Point Arithmetic," IEEE Std 754-2008, pp. 1-58, Aug., 2008.

8. Чорний А.О. Періодичність розв’язків хаотичних систем при обчисленнях з фіксованою комою / А.О. Чорний, С.Д. Галюк. // Проблеми інформатики та комп’ютерної

техніки: Праці IV-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 26 – 29 травня 2015р.: тези доп. – Чернівці, 2015. – С. 157-158.

9. Krulikovskyi O.V. Testing timeseries ring-coupled map generated by on FPGA / O.V. Krulikovskyi, S.D. Haliuk, L.F. Politanskyi // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. - № 4.

10. Скобелев В.Г. Анализ системы Лоренца над кольцом Z_{p^k} / В.Г. Скобелев // Вестник Томского государственного университета. Приложение. – 2006. – № 17. – С. 134–139.

11. Скобелев В. Г. Комбинаторно-алгебраические модели в криптографии / В.Г. Скобелев // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2009. № 2. С. 74–114.

12. Yuan G. Collapsing of chaos in one dimensional maps / G. Yuan, J. A. Yorke // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 2000. - №136. – pp. 18-30.

13. Celso Grebogi Roundoff-induced periodicity and the correlation dimension of chaotic attractors / Celso Grebogi, Edward Ott, and James A. Yorke // Phys. Rev. – 1988. - A 38, 3688.

14. Harris Bernard Probability Distributions Related to Random Mappings / Bernard Harris // Ann. Math. Statist. – 1960. - Volume 31, Number 4. – PP. 1045-1062.

15. Alvarez G. Some basic cryptographic requirements for chaos-based cryptosystems / G. Alvarez, Li S.J. // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2006. - 16 (8). - PP. 2129-2151.

16. Zhang Xuefeng Extended Logistic Chaotic Sequence and Its Performance Analysis / Zhang Xuefeng, Fan Jiulun // Tsinghua science and technology. – 2007. - Volume 12, Number S1. – PP. 156-161.

17. Галюк С.Д., Генерування псевдовипадкових послідовностей на базі дискретних хаотичних систем / С.Д. Галюк, Л.Ф. Політанський // Міжнародна науково-практична конференція «PREDT-2014 ». – Чернівці: 23-25 жовтня 2014 р. – С. 85-86.

18. Krulikovskyi O.V. PRNG BASED ON MODIFIED TRATASHYPERCHAOTIC SYSTEM FPGA / O.V. Krulikovskyi, S.D. Haliuk, L.F. Politanskyi // Сучасний захист інформації. – 2016. - №2.

19. Garasym Oleg Application of observer-based chaotic synchronization and identiability to original CSK model for secure information transmission / Oleg Garasym, Ina Taralova, Rene Lozi. // Indian Journal of Industrial and Applied Mathematics. – 2015. - № 6 (1). - PP.1-26.

20. Oleg Garasym Exploring some topologies of coupled chaotic networks / Oleg Garasym, Ina Taralova, Rene Lozi. // International Workshop on Nonlinear Maps and their Applications «NOMA-2015». - Dublin, Ireland: Jun 2015. - PP. 34-39.

References

1. Rodriguez-Vazquez A. Chaos from Switched-Capacitor Circuits: Discrete Maps / A. Rodriguez-Vazquez, J. Huertas, A. Rueda, B. Perez-Verdu, and L. O. Chua. // Proc. of the IEEE, Special Issue on Chaotic Systems. - Aug. 1987. - PP. 1090-1106

2. Pecora Louis M / Synchronization in chaotic systems / Louis M. Pecora and Thomas L. Carroll // Phys. Rev. Lett. – 1990. - 64, - C. 821.

3. Ljupco Kocarev Chaos-Based Cryptography Theory, Algorithms and Applications / L. Kocarev, S. Lian. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. - 397 p.

4. Pticzy'n N. Application of the theory of deterministic chaos in cryptography / N. Pticzy'n. – Moscow: MGTU N.E'. Baumana, 2002. – 80 p.

5. Shahtarin B.I. Generators of chaotic oscillations / B.I. Shahtarin, P.I. Koby'lkina, Yu.A. Sidorkina, A.V. Kondrat"e'v, S.V. Mitin. Moscow: Galileos ARV. –2007. – 247 p.

6. Stojanovski Toni Chaos-Based Random Number Generators—Part I: Analysis / Toni Stojanovski, Ljupco Kocarev // IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—I: FUNDAMENTAL THEORY AND APPLICATIONS. 2001. - VOL. 48, № 3, - C. 281.

7. IEEE, "IEEE standard Floating-Point Arithmetic," IEEE Std 754-2008, pp. 1-58, Aug., 2008.

8. Chornyi A.O. Periodicity of chaotic systems solutions at calculations with fixed point / Chornyi A.O. , S.D. Haliuk. // Informatics and Computer Technics Problems: Proceedings of the IV-th International scientific and practical conference, 26 – 29 may 2015: Chernivtsi, 2015. – PP. 157-158.

9. Krulikovskyi O.V. Testing timeseries ring-coupled map generated by on FPGA / O.V. Krulikovskyi, S.D. Haliuk, L.F. Politanskyi // Telekomunikatsiini ta informatsiini tehnolohii. – 2016. - № 4.

10. Skobelev V.G. Analysis of the Lorentz system over the ring Z_{p^k} / V.G. Skobelev // Bulletin of Tomsk State University. Application. – 2006. – № 17. – PP. 134–139.

11. Skobelev V.G. Combinatorial-algebraic models in cryptography / V.G. Skobelev // Applied Discrete Mathematics. Supplement. - 2009. - № 2. pp. 74–114.

12. Yuan G. Collapsing of chaos in one dimensional maps / G. Yuan, J. A. Yorke // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 2000. - №136. – PP. 18-30.

13. Celso Grebogi Roundoff-induced periodicity and the correlation dimension of chaotic attractors / Celso Grebogi, Edward Ott, and James A. Yorke // Phys. Rev. – 1988. - A 38, 3688.

14. Bernard Harris Probability Distributions Related to Random Mappings / Bernard Harris // Ann. Math. Statist. – 1960. - Volume 31, Number 4. – PP. 1045-1062.

15. Alvarez G. Some basic cryptographic requirements for chaos-based cryptosystems / G. Alvarez, Li S.J. // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2006. - 16 (8). - PP. 2129-2151.

16. Zhang Xuefeng Extended Logistic Chaotic Sequence and Its Performance Analysis / Zhang Xuefeng, Fan Jiulun // Tsinghua science and technology. – 2007. - Volume 12, Number S1. – PP. 156-161.

17. Haliuk S.D. Generation of pseudorandom sequences based on discrete chaotic systems / S.D. Haliuk, L.F. Politanskyi // Proceedings of the International scientific and practical conference «PREDT-2014 ». – Chernivtsi: 23-25 october 2014. – PP. 85-86.

18. O. V. Krulikovskyi PRNG based on modified tratashyperchaotic system FPGA / O.V. Krulikovskyi, S.D. Haliuk, L.F. Politanskyi // Suchasnyi zahyst informatsii. – 2016. - №2.

19. Oleg Garasym Application of observer-based chaotic synchronization and identiability to original CSK model for secure information transmission / Oleg Garasym, Ina Taralova, Rene Lozi. // Indian Journal of Industrial and Applied Mathematics. – 2015. - № 6 (1). - PP.1-26.

20. Oleg Garasym Exploring some topologies of coupled chaotic networks / Oleg Garasym, Ina Taralova, Rene Lozi. // International Workshop on Nonlinear Maps and their Applications «NOMA-2015». - Dublin, Ireland: Jun 2015. - PP. 34-39.

Автори статті

Круліковський Олег Валерійович – аспірант кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.. E-mail: o.krulikovskyi@chnu.edu.ua

Галюк Сергій Дмитрович – к.т.н, асистент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Тел.: +380 (66) 148 7945. E-mail: s.haliuk@chnu.edu.ua

Політанський Леонід Францович – д.т.н., професор, завідувач кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. E-mail: l.politansky@chnu.edu.ua

Authors of the article

Krulikovskyi Oleh Valeriiovych – PhD student of radio engineering and information security department, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, E-mail: o.krulikovskyi@chnu.edu.ua

Haliuk Serhii Dmytrovych– PhD, assistant professor of radio engineering and information security department, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,. Tel.: +380 (66) 148 7945. E-mail: s.haliuk@chnu.edu.ua

Politanskyi Leonid Frantsovych – doctor of sciences (technical), professor, head of radio engineering and information security department, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, E-mail: l.politansky@chnu.edu.ua

Дата надходження
в редакцію: 17.03.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. П. Тарасенко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

УДК 621.317.7

Андреева Н. А., Дружинин В. А., Зуев В. А.
Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев

ПРИЕМНИК ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОММУНИКАЦИЙ С ВЫСОКОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

В статье изложены результаты изучения фотодетектирования при барьерной модуляции в Au-CdP_2 структурах. Представлены результаты исследования спектральных и частотных характеристик фотодиода с барьером Шоттки. Показана перспективность использования прибора для оптико-волоконных систем коммуникаций. Предложена физическая эквивалентная схема фотодиода. Рассмотрена комбинация фотодиода и электрического усилителя (макет приемного оптического модуля).

Ключевые слова: волоконно-оптические системы, спектральные и частотные характеристики, фотодиод, барьер Шоттки.

Andreeva N. O., Druzhinin V. A., Zuiev V. O. The detector for fiber optical communication systems with high photosensitivity. The article presents the results of a study of photo detection in barrier modulation of the Au-CdP2 structures. Results of a study of the spectral and frequency characteristics of the photodiode with Schottky barrier are provided. The spectral and frequency characteristics of the FD are studied. Photodiode (PD) Schottky-barrier based on structure of Au-CdP2 are maded. The effect of barrier modulation under illumination of the structure are used. The layout of the receiving optical module are designed. Prospects of device using for fiber-optic communications systems are shown. A physical equivalent circuit of a photodiode are proposed. A combination of photodiode and electrical amplifier (model receiving optical module) are considered.

The aim of the research, the results of which are presented in this work is to increase the sensitivity of photo-detectors for receiving information in optical communication systems under low light flows based on the use of new photosensitive materials and upgrading appliances. A substantial increase of photosensitivity is implemented through the use of the Schottky photodiode when a certain doping profile of a semiconductor substrate are creating.

Key words: fiber optical communication systems, spectrum and frequency characteristics, photodiode, Shottki barrier.

1. Введение

Для приема информации в системах оптической связи (ОС) (в условиях малых световых потоков) необходимо значительное повышение чувствительности фотодетекторов. Для этого важно, как использование новых фоточувствительных материалов, так и модернизация приборов, изготавливаемых на их основе [1-3].

В настоящей работе предлагается использование кристаллов CdP_2 и разработка на их основе фотодиода Шоттки. Наличие инварианта Лифшица, который описывает эти кристаллы со структурой D_4^4, обусловливает флуктационный фазовый переход и возникновение естественной сверхрешётки (СР). В свою очередь наличие СР резко повышает фоточувствительность (ФЧ) этих кристаллов [4].

Далее существенное увеличение ФЧ можно реализовать за счет использования фотодиода Шоттки при создании определенного профиля легирования полупроводниковой подложки [5].

2. Структура фотодиода и его характеристики

Была изготовлена структура Au-CdP_2 с поверхностным компенсированным слоем. Кристаллы обладали дырочной проводимостью (p-CdP_2). Компенсированный слой получали с помощью имплантации на глубину 0,1…0,2 мкм. Концентрация компенсированной примеси (Nd) превышала концентрацию акцепторной примеси (N*a*):

$$Nd > Na \cong 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}.$$

© *Андреева Н. А., Дружинин В. А., Зуев В. А., 2017*

Результирующее распределение потенциала и объемного заряда приведено на рис. 1.

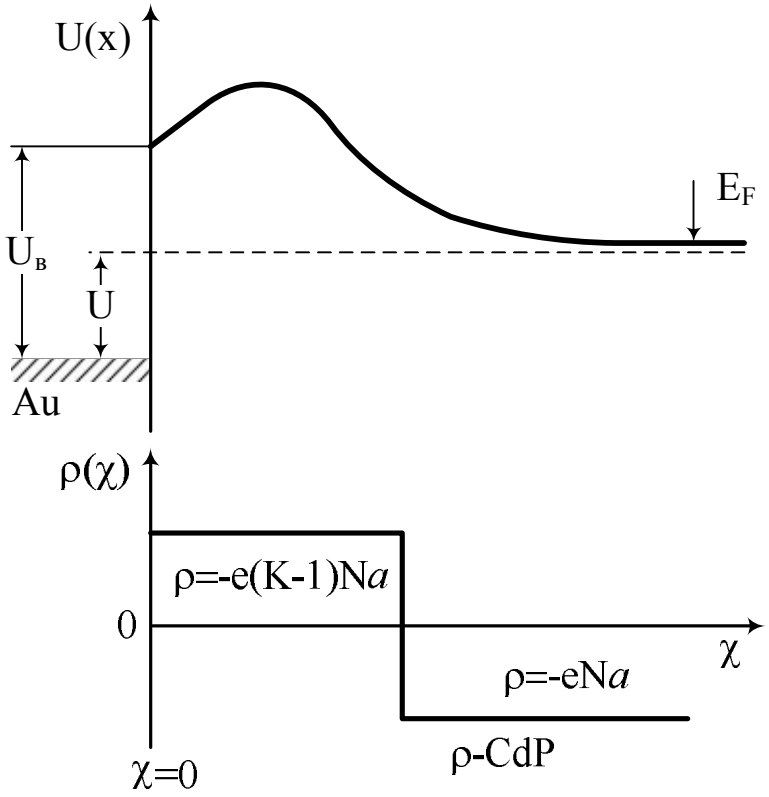


Рис. 1 Распределение потенциала и объемного заряда в системе Au-CdP_2

Высота U_h образующегося потенциального «горба» может быть определена с помощью следующего выражения [5]:

$$U_h = \frac{\varphi_{ii} - Å_F}{K_n - 1}\frac{d^2}{l^2}\left[K_n - \left(\frac{l^2}{d^2} + K_n\right)^{\frac{1}{2}}\right]^2 \qquad (1)$$

где $\varphi_{мп}$ - высота барьера Шоттки;

E_F - энергия Ферми;

l - глубина слоя истощения;

d - глубина компенсированного слоя;

$K_n = \frac{Nd}{Na}$.

При освещении высота U_h уменьшается, что приводит к уменьшению величины K_n. В результате приложения к структуре смещения в прямом направлении происходит усиление фототока, достигающее 10^6.

3. Характеристики прибора

Спектральная характеристика изображена на рис. 2, а частотная - на рис. 3. Пороговая чувствительность составляла $5 \cdot 10^{11}$ фотон/см$^{-2}$. Время релаксации 10^3с. Добротность фотоприемника достигала $2 \cdot 10^8$ с$^{-1}$, что является весьма высоким значение.

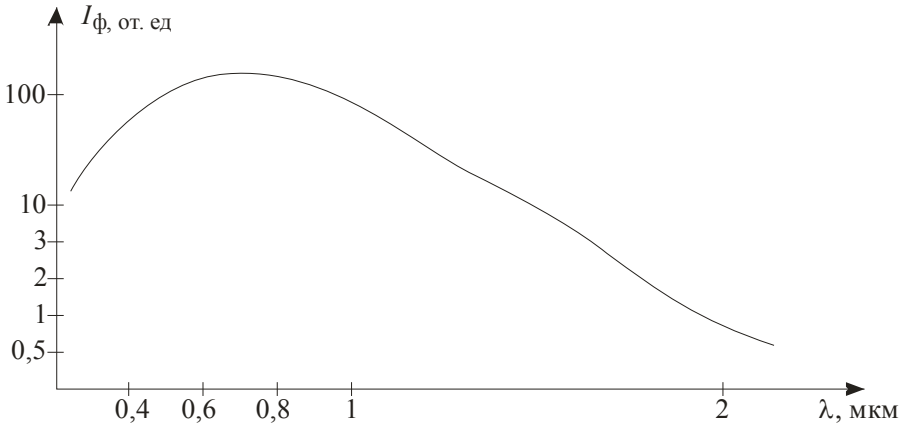


Рис. 2. Спектральная характеристика фотодиода

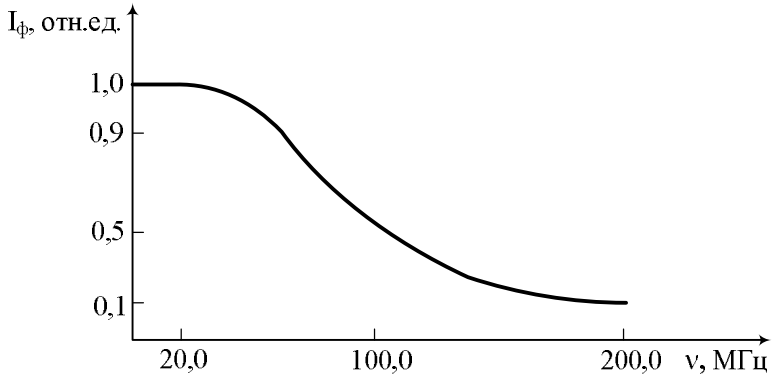


Рис. 3. Частотная характеристика фотодиода

К достоинствам прибора следует отнести малые рабочие напряжения (десятые доли вольта).

4. Эквивалентная схема фотодиода и макет приемного модуля

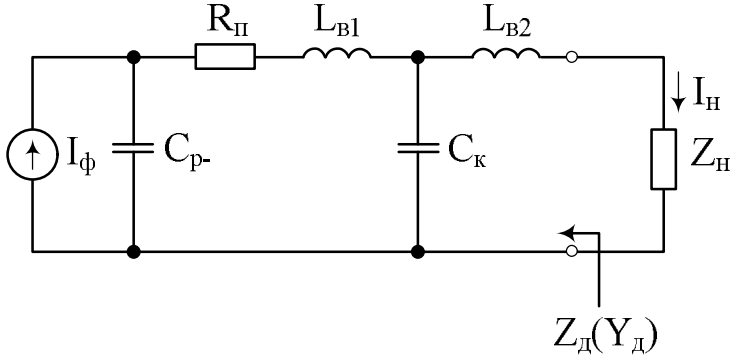


Рис. 4. Эквивалентная схема фотодиода

На рис. 4 приняты следующие обозначения:
$C_{p\text{-}n}$ – емкость p-n перехода; $R_п$ – сопротивление потерь фотодиода;
$L_{в1}$ – индуктивность выводов; $C_к$ – емкость пакетного корпуса;
$L_{в2}$ – индуктивность внешних выводов; $Z_д$ – полное сопротивление структуры;
$Y_д$ – проводимость на клеммах диода; $Z_н$ – сопротивление нагрузки;
$I_ф$ – фототок; $I_н$ – ток в нагрузке.

5. Выводы

Изготовлен фотодиод (ФД) с барьером Шоттки на основе структуры Au-CdP_2. Использован эффект барьерной модуляции при освещении структуры. ФД обладает повышенной фото чувствительностью. Изучены спектральные и частотные характеристики ФД. Предложена физическая эквивалентная схема ФД. Разработан макет приемного оптического модуля.

Список использованной литературы

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман ; пер. с англ. под редакцией Н. Н. Слепова. – Москва : Техносфера, 2006. – 496 с.

2. Андреева Н. А. Частотные характеристики лавинного кремниевого фотодиода с барьером Шоттки / Н. А. Андреева, Е. И. Зингаева, В. А. Зуев, В. М. Муравьев // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №3. – С. 61-65.

3. Foss N. A. Large – area metal – oxide – semiconductor avalanche photodiodes / N. A. Foss, A. Ward // J. Appl. Phys. – 1973. – Vol. 44, №2. – P. 728-731.

4. Зуев В. А. Лавинный фотодиод на основе CdP2 / В. А. Зуев, Л. М. Горыня // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Т.9, №1. – С. 106-109.

5. Bucher H.K., Burkey B.C. Photo detection in by barrier modulation in Cu diffused Au-Cd S junctions. -Apple. Plays. Lett. - 1973. Vol. 23, №11. - P. 617-619.

Reference

1. Friman R. Fiber-optical communication sistems. Per. s angl. pod redakciei N.N. Slepova. – M.: Tehnosfera, 2006. – 496 p.

2. Andreeva N.A. The frequency characteristics of the avalanche silicon photodiode with Shottki barrier./ N.A. Andreeva, E.I. Zingaeva, V.A. Zuev, V.M. Murav'ov // Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnologii. – 2016. – №3. – P. 61-65.

3. Foss N.A. Large – area metal – oxide – semiconductor avalanche photodiodes / N.A. Foss, A. Ward // J. Appl. Phys. - 1973. - Vol. 44, №2. – P. 728-731

4. Zyev V.A., Gory'nia L.M. Avalanche photodiode based on the CdP_2. – Kiev: Visny'k DUIKT, t.9 №1- 2011. S. 106 – 109.

5. Bucher H.K., Burkey B.C. Photo detection in by barrier modulation in Cu diffused Au-Cd S junctions. -Apple. Plays. Lett. - 1973. Vol. 23, №11. - P. 617-619.

Авторы статьи

Андреєва Наталія Олексіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (67) 946 54 30. E-mail: natalii-andreeva@inbox.ru

Дружинін Володимир Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (044) 440 31 86. E-mail: druzhinin@mail.ua

Зуєв Володимир Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ Тел. +380 (44) 440 31 86. E-mail: volodya.zyev2015@yandex.ru

Authors of the article

Andreieva Nataliia Oleksiivna – candidate of sciences (technical), associate professor of physics department, State University of Telecommunications, Kyiv, Tel.: +380 (67) 946 54 30. E-mail: natalii-andreeva@inbox.ru

Druzhynin Volodymyr Anatoliiovych – doctor of sciences (technical), professor of telecommunication technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv, Tel.: + 380 (044) 440 31 86. E-mail: druzhinin@mail.ua

Zuiev Volodymyr Oleksiiovych – doctor of sciences (technical), professor of telecommunication technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv, Tel.: +380 (44) 440 31 86. E-mail: volodya.zyev2015@yandex.ru

Дата надходження в редакцію: 12.04.2017 р.

Рецензент: доктор технічних наук, професор В. Г. Сайко
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 621.391

Недашківський О. Л. *Державний університет телекомунікацій*

ІНТЕРНЕТ – НОВЕ СВІТОВЕ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Досліджена історія перетворення локальної мережі передачі даних до Світової інфокомунікаційної мережі – Інтернет. Зазначено, що на сьогоднішній день, провідну роль у наданні сучасних мультисервісних телекомунікаційних послуг користувачам займає глобальна мережа Інтернет. Інтернет з закритої стала класичною відкритою телекомунікаційною системою, що і визначило її успіх та поширення. Окреслені основні завдання які повинні бути вирішені, адже на сьогодні кількість користувачів по всій Земній кулі складає 3,36 мільярдів і буде зростати далі поповнюючись «Інтернетом речей».

Ключові слова: Інтернет, TCP/IP, ARPANET, World Wide Web, CERNET

Nedashkivskyi O. L. Internet – a new global telecom environment. This article examines the history of the transformation of the local data network to the World information and communication network - the Internet. Snowballing growth of the Internet has led to fundamental changes in the functioning of society. Internet came into every home, has become a universal means of communication between people and getting any information at any point in the world. It is noted that to date, the leading role in providing advanced multiservice telecommunications users holds the global Internet, and based protocol is a protocol IP. In recent years, under the Internet of course, usually the network itself and the entire range of operating it application that transform it into a new economic and social environment. At relatively low cost has become possible using of all the information wealth of mankind. Internet from closed become a classic open telecommunications system, which determined its success and dissemination. The basic problem to be solved are underlined, because today the number of users across the globe is 3.36 billion and will grow further, also due to the Internet of things.

Keywords: Internet, TCP / IP, ARPANET, World Wide Web, CERNET

1. Вступна частина

У відомій пісні 30-х років звучали чудові слова: «Ми народжені, щоб казку зробити дійсністю ...». Рідко “казки” для дорослих стають бувальщиною, а якщо і стають – то в основному для окремих людей. Але є “казка”, яка стала бувальщиною для всього Людства. Ця “казка” називається Інтернетом. В цій статті буде досліджена історія перетворення локальної мережі передачі даних до Світової інфокомунікаційної мережі. Адже лавиноподібне зростання мережі Інтернет привело до фундаментальних змін у функціонуванні всього суспільства. Інтернет увійшов у кожен дім, став універсальним засобом спілкування людей і отримання будь-якої інформації в будь-якій точці світу. За допомогою цієї мережі люди сьогодні спілкуються і переписуються, читають книги і шукають інформацію, вчаться і лікуються, купують товари і замовляють послуги, розважаються і грають в різні ігри. Цей список можна ще довго і довго продовжувати. Немає такої сфери людського життя, яка сьогодні не порушена Інтернетом.

Отже пригадаємо основні віхи становлення і розвитку мережі Інтернет, адже не маючи минулого не буде і майбутнього.

2. Зародження і основні принципи Інтернет

Історія Інтернет починається зі страшної новини, яку дізнався уряд США 4 жовтня 1957 року. Виявляється, головний противник – Радянський Союз – володіє не тільки ядерною зброєю, але і засобами її доставки. Весь науково-технічний потенціал Америки був мобілізований для протидії цій звістці, і в 1958 році при міністерстві оборони США було організовано агентство з перспективних досліджень – Advanced Research Projects Agency (ARPA) [1]. Агентство повинно було здійснити багато різних проектів, в тому числі і мережевих. Одним з них був проект створення телекомунікаційної мережі, що забезпечував взаємодію в режимі реального часу комп'ютерів різних наукових центрів (зокрема, університетських центрів) і дослідницьких груп, які працювали на це агентство.

© *Недашківський О. Л., 2017*

Комп'ютерна мережа розроблялася на випадок ядерної війни, і в той час це не здавалося нісенітницею. Тому потрібно було забезпечити їй надзвичайно високу стійкість та надійність. Керував розробкою один з підрозділів ARPA – управління з технологій обробки інформації, утворене в 1962 році.

Тут в нашій з'являється "мрійник" – Джозеф Ликлайдер з Массачусетського технологічного інституту. У серпні 1962 року він висловив концепцію «Галактичної мережі» [2]. Здавалася нездійсненною його ідея глобальної мережі взаємопов'язаних комп'ютерів, за допомогою якої кожен зможе швидко отримувати доступ до даних і програм, розташованим на будь-якому комп'ютері. У жовтні 1962 року Ликлайдер став першим керівником проекту створення нової комп'ютерної мережі. Далі події розвивалися як в «казці»: мережева концепція Ліклайдера була прийнята за основу, а в якості технології реалізації була вибрана новітня технологія того часу - технологія пакетної комутації, що зумовила подальший розвиток телекомунікацій - технологія пакетної комутації.

"Батьком" технології пакетної комутації називають Пола Берена – співробітника Rand Corporation з Каліфорнії, який в 1962 році запропонував метод комутації пакетів для передачі інформації по мережах електрозв'язку [3]. Називається і його доповідь: «On Distributed Communications Networks» («Про розподілених мережах передачі даних»).

У деяких інших джерелах [4] згадують також ім'я Дональда Девісона з Британської національної фізичної лабораторії. Необхідно зауважити, що в книзі «Мережі зв'язку для обчислювальних машин» в 1976 році [5], сам Девісон віддає пріоритет Берену.

Серед авторів ідей пакетної комутації називається також ім'я Леонарда Клейнорка з Массачусетського технологічного інституту, який в 1964 році видав одну з перших книг з даної проблеми.

Так часто буває в світі телекомунікацій - яскрава ідея одночасно приходить різним фахівцям з різних країн. Досить згадати імена А.С. Попова і Вільгельма Марконі, Олександра Белла і Елайша Грея, В.А. Котельникова і Гаррі Найквіста.

В середині 60-х років наукові роботи по пакетної комутації велися паралельно в декількох наукових центрах, причому при повній відсутності обміну інформацією про діяльність колег. Особисте спілкування фахівців різних центрів відбулося тільки в 1967 році на науковій конференції. З тих пір в термінології мереж передачі даних став загальновживаним термін «пакет».

Суть методу комутації пакетів полягає в тому, що довгі повідомлення розбивають на короткі блоки певних розмірів (пакети), і замість передачі повідомлення цілком здійснюється його передача по частинах (пакетами).

У мережах з комутацією пакетів застосовуються два способи передачі пакетів: передача дейтаграм і утворення віртуальних каналів. Перший спосіб заснований на тому, що пакети обробляються незалежно один від одного. У кожної дейтаграми вказується адреса, і пакети рухаються по мережі по довільних маршрутах. У таких мережах немає підтвердження прийому пакетів, тому ці мережі іноді називаються «ненадійними». Останнім часом застосовуються спеціальні заходи, що забезпечують підвищення якості роботи. Прикладами мереж, що реалізують дейтаграммний спосіб передачі пакетів, є мережі IP або Ethernet.

Механізм віртуальних каналів створює в мережі стійкі шляхи проходження пакетів. Зазвичай між двома кінцевими вузлами мережі встановлюється декілька шляхів слідування трафіку (віртуальних каналів), як збігаються між собою, так і відрізняються. Які саме потоки будуть передаватися по цих шляхах, вирішують самі кінцеві вузли (наприклад, для електронної пошти може бути один шлях, а з точки зору трафіку реального часу - інший). Прикладами мереж, що реалізують спосіб передачі пакетів по віртуальним каналам, є мережі, побудовані за протоколами X.25, ATM, MPLS.

3. Втілення основних принципів Інтернет

З 1965 року проводилися експерименти по взаємодії комп'ютерів по традиційній комутованій телефонній мережі. Ці дослідження показали, що розділені комп'ютери можуть працювати разом, але традиційна телефонна мережа непридатна для цих цілей, і що метод пакетної комутації досить ефективний. У 1967 році виник план побудови мережі ARPANET. У 1968 році був оголошений відкритий конкурс на розробку одного з ключових компонентів мережі - комутатора пакетів, що отримав назву Інтерфейсний процесор повідомлень (Interface Message Processor, IMP). Конкурс виграла компанія «Bolt», «Beranek and Newman» (BBN). У вересні 1969, компанія «BBN» встановила в Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі перший Інтерфейсний процесор повідомлень і підключила до нього перший комп'ютер.

29 жовтня 1969 була зроблена найперша спроба дистанційного з'єднання з ним комп'ютера дослідного центру Стенфордського університету. Віддалені один від одного на відстань 500 кілометрів, університети стали першими вузлами майбутньої мережі ARPANET. В історії зберігся запис про цю подію в робочому журналі. Вона опублікована в Інтернеті і наводиться на рисунку 1.

І хоча спроба виявилася не зовсім вдалою (система «зависла»), ця дата назавжди увійшла в історію світових телекомунікацій. Може коли-небудь 29 жовтня стане днем Інтернету, як 7 травня (25 квітня за старим стилем), коли А.С. Попов вперше продемонстрував прототип радіоприймача, стало днем Радіо.

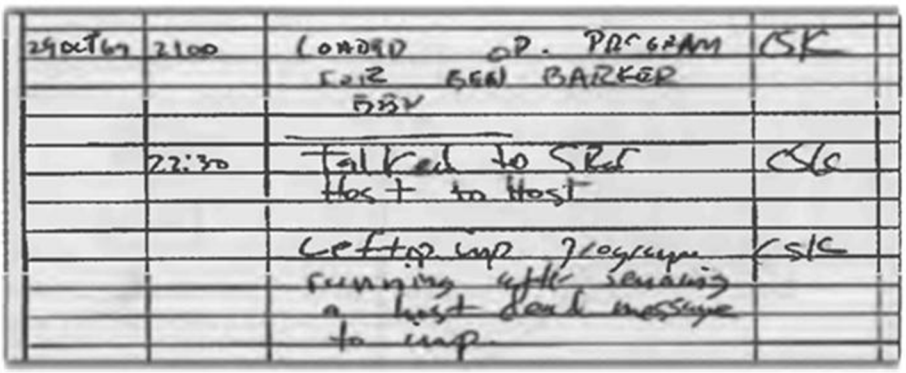


Рис. 1. Запис в робочому журналі про найпершау спробу дистанційного з'єднання

Напевно, дата народження Інтернету - поняття досить умовне. Вся діалектика наукової думки органічно вела до створення комп'ютерних мереж. І віддаючи належне конкретним творцям мережі ARPANET, ми можемо назвати імена безлічі інших вчених і фахівців, чия наукова і практична діяльність послужила створенню Інтернету.

Восени 1969 року продовжилися активні випробування мережі ARPANET, але вже з 4 вузлами: до двох раніше названих були підключені Каліфорнійський університет Санта-Барбари і Університет штату Юта.

В Інтернеті опубліковано документальний ескіз цієї мережі (рис. 2). Його можна назвати першим паростком мережі Інтернет. Квадратами були позначені комп'ютери із зазначенням моделі, колами - процесори повідомлень із зазначенням місця установки.

У наступні роки число комп'ютерів, підключених до ARPANET, швидко зростало. Одночасно велися роботи по створенню протоколу міжкомпьютерної взаємодії і такий протокол, який отримав назву Протокол управління мережею (Network Control Protocol, NCP), був встановлений в 1971 - 1972 роках на вузлах ARPANET. Після цього стало можливим приступити до розробки додатків.

У жовтні 1972 року на міжнародній науковій конференції з комп'ютерних комунікацій була здійснена перша публічна демонстрація можливостей нової мережевої технології. З

технології для військових мережа все більше і більше перетворювалася в технологію для вчених. Виникає новий додаток – електронна пошта. Те, що сьогодні нам здається звичним і буденним, для початку 70-х років минулого століття було новим способом мислення і стилем життя. Правда, поки тільки вчених.

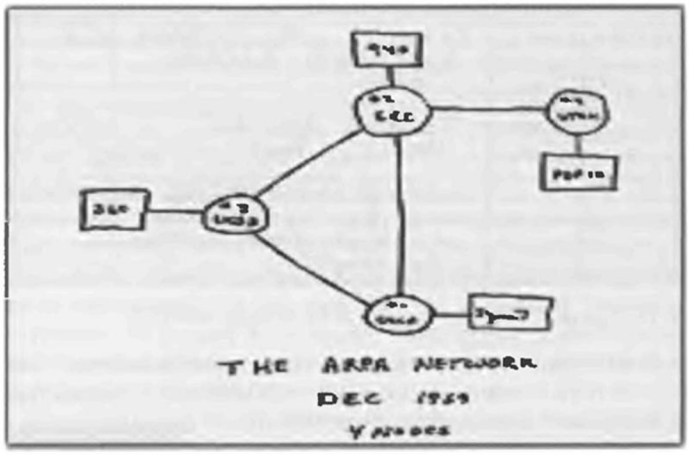


Рис. 2. Документальний ескіз мережі з чотирьох вузлів

Зазначимо, що мережа ARPANET була в той час не єдиною комп'ютерною мережею. Інший «мрійник» - Роберт Канн (Robert Kahn), висловив в 1972 році ідею відкритої мережевої архітектури [6]. Відкрита мережева архітектура має на увазі, що окремі мережі можуть проектуватися і розроблятися незалежно, зі своїми унікальними інтерфейсами, наданими користувачам і/або іншим постачальникам мережевих послуг. При проектуванні кожної мережі можуть бути взяті до уваги специфіка оточення і особливі вимоги користувачів. Але протокол NCP не відповідав вимогам відкритих систем, тому Кан вирішив розробити новий протокол. Разом з Вінтон Серф їм був створений протокол, який згодом буде названий Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP - Протокол управління передачею/Міжмережевий протокол). Цей протокол набув поширення у багатьох мережах і виникло об'єднання мереж, яке сьогодні зветься Інтернет або Мережа.

У 80-х роках минулого століття телекомунікаційна галузь опинилася на роздоріжжі двох доріг. Один шлях - повністю децентралізована архітектура і відсутність єдиного управління. Це був шлях Інтернету. Інший шлях - ієрархічна побудова мережі і централізоване управління - був традиційним шляхом побудови мереж. У мережах передачі даних такий шлях запропонувала компанія France Telecom, що побудувала мережу «Minitel» [7]. У цій мережі застосовувалися найпростіші термінали (безкоштовно надавалися користувачам), які мали доступ до централізованих баз даних. Ці два підходи довгий час конфліктували між собою і навіть отримали назву «війна протоколів» [8].

Широке поширення в 1980-і роки локальних мереж, персональних комп'ютерів і робочих станцій дало поштовх бурхливому зростанню Інтернету. У цій новій реалії потрібно було створити нові підходи до функціонування об'єднання мереж. Цей етап став етапом перетворення мрії на дійсність.

4. Становлення сучасної мережі Інтернет

Сьогодні ми трактуємо термін «Інтернет» значно ширше, ніж це було в 80-х роках. В останні роки під Інтернетом розуміється, як правило, сама Мережа і весь комплекс, функціонуючих в ній додатків, що перетворюють її в нове економічне і соціальне середовище. При відносно невеликих витратах стало можливим використання всього інформаційного багатства Людства.

На початку 90-х років почалося повсюдне поширення графічного способу відображення

інформації в Мережі в вигляді «сторінок», здатних нести не тільки текст, як раніше, а й графіку, і навіть мультимедіа.

У 1989 році, працюючи в CERN (conseil européen pour la recherche nucléaire), Тім Бернерс-Лі запропонував глобальний гіпертекстовий проект, тепер відомий як «Всесвітня павутина» (WWW) [9]. Проект мав на увазі публікацію гіпертекстових документів, пов'язаних між собою гіперпосиланнями, що полегшило б пошук і консолідацію інформації для вчених CERN. Для здійснення проекту Тімом Бернерс-Лі (спільно з його помічниками) були винайдені ідентифікатори URI, протокол HTTP і мову HTML. Ці технології, без яких уже не можна собі уявити сучасний Інтернет.

Так Інтернет з наукової мережі перетворився в мережу для широкого кола користувачів. Завдяки створеній технології World Wide Web, всі наявні в Мережі ресурси перетворилися в єдину гіпертекстову структуру, так звану Єдину Інформаційну павутину.

Попит на послуги Інтернет стрімко зростав як в казці: не по днях, а по годинах. З початку 90-х років число комп'ютерів, підключених до Інтернет, щорічно як мінімум подвоювалося. А в 1995 році почався справжній бум Інтернет, який перетворив Мережу в найбільший, динамічний і доступний засіб масової комунікації. У 1998 році відбувся запуск проекту «Інтернет-2» [10] - мережі, в якій швидкість проходження інформації перевищує на кілька порядків швидкість в минулому, а саме до 10 Гбіт/с. Сьогодні цей проект став надбанням не тільки США, але і багатьох інших країн. У грудні 2004 року в Китаї була представлена мережа CERNET2 (China Education and Research Network 2) [11], що володіє пропускною спроможністю 2,5-10 Гбіт/с і працює по протоколу IPv6. Першими вузлами цієї мережі стали провідні дослідницькі інститути країни. Кожен день приносить все нових і нових користувачів по всій Земній кулі, кількість яких на сьогодні складає 3,36 мільярдів [12] і буде зростати далі поповнюючись «Інтернетом речей».

Висновки

1. Мережа Інтернет розширювалася як вільна і малокерованим складна система. Мережа комерціалізується, і вже повністю припинено її державне фінансування. Інтернет все менше і менше несе дослідницької інформації, але все більше рекламної. Мережа стає індустрією, перш за все - розважальної. Ще зовсім недавно більшість документів WWW містила суху інформацію. Сьогодні такі журнали вже зрівнялися зі своїми паперовими побратимами і випереджають їх за рівнем оформлення та реклами. На їх сторінках є реклама, виноски, вставки, аудіо та відео, анімація і інтерактивність, які недоступні традиційним засобам масової інформації. Це означає наявність величезного нового ринку і комерціалізацію мережі.

2. На сьогоднішній день, провідну роль у наданні сучасних мультисервісних телекомунікаційних послуг користувачам займає глобальна мережа Інтернет, а заснованим протоколом є протокол IP. При цьому найбільш динамічним є сегмент мобільного Інтернет.

3. В останні роки під Інтернетом розуміється, як правило, сама Мережа і весь комплекс, що функціонують в ній додатків, що перетворюють її в нове економічне і соціальне середовище. При відносно невеликих витратах стало можливим використання всього інформаційного багатства Людства.

4. Інтернет з наукової точки зору - це класична відкрита телекомунікаційна система, яка за визначенням підтримує будь-яке обладнання, будь-якого провайдера, будь-якого користувача і даних будь-якої природи, які підтримуються загальноприйнятими міжнародними стандартами.

5. Основними завданнями які повинні бути вирішені є: розширення зони покриття та збільшення доступності підключення до мережі Інтернет; збільшення пропускної здатності телекомунікаційних мереж і інформаційних систем; підвищення надійності мереж і систем обробки даних; забезпечення інформаційної безпеки; впровадження механізмів наскрізного забезпечення параметрів якості обслуговування “з кінця в кінець”.

Список використаної літератури

1. History and Timeline [Електронний ресурс] // - Режим доступу: http://www.darpa.mil/about-us/darpa-history-and-timeline (17/04/2017).
2. Brief History of the Internet - Internet Timeline Internet Society [Електронний ресурс] // - Режим доступу: http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet (17/07/2017).
3. Мур М. и др. Телекоммуникации. Руководство для начинающих. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
4. Кастельс Мануэль. Галактика Интернет: Размышления об Интернете, бизнесе и обществе. /Пер. с англ. — Екатеринбург: У-Фактория, 2004.
5. Дэвис Д., Барбер Д. Сети связи для вычислительных машин. — М.: Мир, 1976.
6. Oral history interview with Robert E. Kahn [Електронний ресурс] // - Режим доступу: http://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/107387/oh192rek.pdf?sequence=1&isAllowed=y (17/07/2017).
7. Minitel – Wikipedia [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Minitel (17/07/2017).
8. Черняк Л. Юбилей TCP/IP // Еженедельник «Computerworld», 2003, № 2.
9. Tim Berners-Lee's proposal [Електронний ресурс] // - Режим доступу: http://info.cern.ch/Proposal.html (17/07/2017).
10. Internet2 Community Timeline Internet2 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: http://www.internet2.edu/about-us/internet2-community-timeline/ (17/07/2017).
11. China Next Generation Internet - Wikipedia [Електронний ресурс] // - Режим доступу: httphttps://en.wikipedia.org/wiki/China%27s_Next_Generation_Internet (17/07/2017).
12. Internet Users by Country (2016) [Електронний ресурс] // - Режим доступу: http://www.internetlivestats.com/internet-users-by-country (17/07/2017).

References

1. «History and Timeline» // http://www.darpa.mil/about-us/darpa-history-and-timeline.
2. «Brief History of the Internet - Internet Timeline Internet Society» // http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet.
3. M. Moore, Telecommunications. A Beginner's Guide. - St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2003.
4. Castels Manuel. Galaxy Internet: Reflections on the Internet, business and society // Ekaterinburg: U-Faktoriya, 2004.
5. Davis D., Barber D. Communication networks for computers // Moscow: The World, 1976.
6. «Oral history interview with Robert E. Kahn» // http://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/107387/oh192rek.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
7. «Minitel – Wikipedia» // https://en.wikipedia.org/wiki/Minitel.
8. Chernyak L. Anniversary of TCP/IP // «Computerworld», 2003, № 2.
9. «Tim Berners-Lee's proposal» // http://info.cern.ch/Proposal.html.
10. «Internet2 Community Timeline Internet2» // //www.internet2.edu/about-us/internet2-community-timeline.
11. «China Next Generation Internet – Wikipedia» // https://en.wikipedia.org/wiki/China%27s_Next_Generation_Internet.
12. «Internet Users by Country (2016)» // http://www.internetlivestats.com/internet-users-by-country.

Автор статті

Недашківський Олексій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Інформаційно-комунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (67) 506 20 00. E-mail: al_1@ua.fm.

Author of the article

Nedashkivskyi Oleksii Leonidovych – candidate sciences (technical), associated professor of information and communications technology department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 506 20 00. E-mail: al_1@ua.fm.

Дата надходження в редакцію: 19.04.2017 р.

Рецензент: доктор технічних наук, професор Б. Ю. Жураковський *Державний університет телекомунікацій, Київ*

УДК 629.039 : 351.749

Лазаренко С. В.
Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕРЕСАХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА

Рассмотрена возможность использования некоторых математических закономерностей при обработке радиолокационной информации, позволяющая сократить время идентификации опасных целей для предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера. Дан анализ процесса обработки радиолокационной информации. Показано, что интегральные преобразования Радона, лучевые и веерные, дифференциальные и двойственные операторы образуют сопряженные пары. Это позволяет создать математическую модель идентификации опасных целей путем одновременного сопоставления текущих радиолокационных образов с набором образов радиолокационных целей и набором образов радиолокационных помех.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, террористический акт, электромагнитные волны, радиолокационная цель, преобразование Фурье.

Lazarenko S. V. Use of some mathematical regularities in processing radar information in the interest of prevention of emergency situations of terrorist character. The possibility of using some mathematical regularities in the processing of radar information is considered in the work, in order to shorten the time of identification of dangerous targets in order to prevent emergencies of a terrorist nature. The analysis of radar information processing is given. It is shown that it consists of detection, measurement, resolution and recognition of each target for any finite volume of space for a limited period of time. The a priori knowledge of the characteristics of the radar targets expected on the approaches to the protected potentially dangerous object makes it possible to simplify and formalize this process. It is shown that the Radon integral transforms, ray and fan, differential and dual operators with the use of the mathematical apparatus of convolution and the Fourier transform form conjugate pairs. This allows us to create a mathematical model for identifying dangerous targets by simultaneously comparing current radar images with a set of images of radar targets and a set of images of radar interference.

Keywords: emergency situation, terrorist act, electromagnetic waves, radar target, Fourier transform.

1. Введение. Одной из самых актуальных тем современности является защита населения и территорий от террористического воздействия. Известно, что терроризм, как явление, сопровождает историю человечества в течение всего его существования как средство запугивания гражданского населения. Для обеспечения максимального устрашающего эффекта путем увеличения потерь среди мирного населения, а также с целью привести к экономическому кризису в отдельном регионе страны или даже государстве в целом, террористы стремятся вывести из строя, прежде всего, стратегически важные объекты. Поэтому защита потенциально-опасных объектов от несанкционированного вторжения является чрезвычайно важной и актуальной задачей [1, 2].

На территории современной Украины находится 15 атомных реакторов АЭС, десятки гидро- и сотни теплоэлектростанций, а также большое количество стратегически важных объектов различного назначения – потенциальных целей злоумышленников. Анализ существующих систем их физической защиты показал, что они, как правило, оснащаются средствами контроля периметра: оптоэлектронного, инфракрасного и радиолокационного наблюдения [3, 4]. Преимущество радиолокационных средств наблюдения определяется их сравнительно большими дальностями обнаружения опасных целей, большой скоростью обзора наземного и воздушного пространства независимо от условий визуальной видимости и гидрометеорологической обстановки [5-7]. Однако радиолокаторы в своем большинстве имеют аналоговые средства индикации, которые не всегда позволяют однозначно идентифицировать опасную цель в сжатые временные промежутки [8, 9].

© Лазаренко С. В., 2017

2. Постановка цели и задач научного исследования. Цель данной работы – рассмотреть возможность использования некоторых математических закономерностей при обработке радиолокационной информации, поступающей в результате зондирования пространства электромагнитными волнами, чтобы сократить время идентификации опасных целей в интересах предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера.

Для достижения поставленной цели необходимо, во-первых, проанализировать процесс обработки радиолокационной информации, во -вторых, рассмотреть возможность использования некоторых математических зависимостей при обработке радиолокационной информации.

3. Анализ процесса обработки радиолокационной информации. Совокупность сведений о целях, получаемых в результате радиолокационного наблюдения, принято называть радиолокационной информацией. Средства получения радиолокационной информации – радиолокационные станции (РЛС), представляют собой подгруппу радиотехнических систем извлечения информации и относятся к обширной группе информационных радиосистем. Процесс получения и обработки радиолокационной информации состоит из следующих этапов: обнаружение цели, измерение ее координат и параметров движения, разрешение и распознавание цели.

Первый этап – обнаружение цели, состоит в принятии решения о ее наличии или отсутствии в указанный момент времени с минимально допустимой вероятностью ошибочного решения. При этом проводится первичная оценка цели или ее классификация с точки зрения количественной (цель одиночная или групповая, состоящая из двух или более одиночных целей), геометрической (цель точечная или протяженная по углу или по дистанции) и яркостной (оценки интенсивности отраженного сигнала – сильный, средний, слабый).

Второй этап – измерение, сводится к выработке оценок координат цели и параметров ее движения с минимально допустимыми погрешностями. Традиционно в РЛС кругового или секторного обзора используют сферическую систему координат, где обычно измеряют дальность до цели, ее азимут (на суше) или пеленг (на море) и угол места. В качестве параметров движения цели, как правило, используются направление и скорость движения. Могут вводиться производные координат либо другие параметры траектории движения, например, временное изменение расстояния (ВИР), временное изменение пеленга (ВИП) и другое.

Третий этап – разрешение, состоит в выполнении задач обнаружения и измерения параметров выбранной цели при наличии других целей, находящихся в зоне наблюдения, то есть выделение новой цели на фоне отражений от подстилающей поверхности, естественных препятствий, обусловленных местным рельефом, гидротехническими сооружениям, а также естественными и искусственными помехами. В соответствии с характером движения выделяют скоростные, движущиеся и неподвижные цели. Различают разрешение целей по дальности, угловым координатам и скорости. Разрешающую способность по координатам характеризуют элементарным объемом с размерами по дальности Δr, в азимутной плоскости l_a, угломестной l_m, который устанавливают так, что наличие цели в соседнем объеме не ухудшает показателей качества обнаружения и измерения параметров цели, которая расположена в центре выделенного объема. Выделенный элементарный объем принято называть разрешаемым объемом, при импульсном облучении цели – импульсном объемом.

Четвертый этап – распознавание, заключается в установлении принадлежности обнаруженной цели к определенному виду и, как правило, осуществляется с помощью запросно-ответных устройств, которые позволяют оценить ее как “свою” при правильном ответном сигнале, или как “чужую” при не правильном. Если аппаратура радиолокационного опознавания не дает желаемого результата, то необходимо дополнительно классифицировать обнаруженную цель.

В условиях явно враждебных действий в отношении охраняемого объекта решение об обнаружении малоразмерной быстро передвигающейся цели влечет за собой выполнение того или иного набора определенных действий, принципиально отличающихся друг от друга в зависимости от того, как классифицирована цель. В случае беспилотного летального аппарата реакция системы физической защиты происходит по одному алгоритму, в случае быстроходного катера – по другому, а в случае едущего автомобиля – по третьему. Внезапность, сложность и ответственность при решении каждой из задач накладывает свой отпечаток. Априорное знание характеристик радиолокационных целей, ожидаемых на подходах к охраняемому объекту, позволяет упростить и формализовать процесс получения и обработки радиолокационной информации для любого конечного объема пространства за ограниченный промежуток времени.

Таким образом, априорное знание характеристик радиолокационных целей, ожидаемых на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту, позволяет упростить и формализовать процесс получения и обработки радиолокационной информации, состоящий в обнаружении, измерении, разрешении и распознавании каждой цели для любого конечного объема пространства за ограниченный промежуток времени.

4. Некоторые математические закономерности и их использование при обработке радиолокационной информации. Введем ряд базовых определений, позволяющих описать математические закономерности, необходимые для обоснования их использования при обработке радиолокационной информации.

Гиперплоскость – это подпространство с размерностью на единицу меньше, чем объемлющее пространство.

Пространство Шварца $\Psi(\boldsymbol{R}^n)$ – пространство быстро убывающих функций, каждая из которых является бесконечно дифференцируемой вещественной функцией, стремящейся вместе со всеми своими производными к нулю быстрее, чем их аргумент стремится к бесконечности.

Преобразование Радона $\mathbf{R}$ в общем виде *n*-мерное, отображает функцию, определенную в $\boldsymbol{R}^n$ (*n*-мерном евклидовом пространстве), в множество её интегралов по гиперплоскостям в $\boldsymbol{R}^n$, при этом единичный вектор θ принадлежит единичной сфере в $\boldsymbol{R}^n$, то есть $\theta \in \boldsymbol{S}^{n-1}$, и расстояние $s \in \boldsymbol{R}^1$ принадлежит одномерному евклидовому пространству, то

$$\mathbf{R}f(\theta,s) = \int\limits_{x\cdot\theta=s} f(x)dx = \int\limits_{\theta^\perp} f(s\theta + y)dy \tag{1}$$

представляет собой интеграл функции *f*, принадлежащей пространству Шварца $\Psi(\boldsymbol{R}^n)$, по гиперплоскости, перпендикулярной вектору θ и расположенной на расстоянии s от начала координат.

$\mathbf{R}f$ – четная функция, определенная на единичном цилиндре $\mathbf{Z}$ в пространстве $\boldsymbol{R}^{n+1}$, который задается проведением единичной сферы $\theta \in \boldsymbol{S}^{n-1}$ на одномерное евклидовое пространство, то есть справедливы равенства:

$$\mathbf{Z} = \boldsymbol{S}^{n-1} \times \boldsymbol{R}^1, \tag{2}$$

$$\mathbf{R}f(-\theta,-s) = \mathbf{R}f(\theta,s), \tag{3}$$

$$\mathbf{R}_\theta f(s) = \mathbf{R}f(\theta,s), \tag{4}$$

Рассмотрим схему (рис. 1), в центре которой располагается импульсная радиолокационная станция. Зеркало её антенны формирует узкую характеристику направленности в горизонтальной плоскости по азимуту и относительно широкую характеристику направленности, как правило, косекансную – в вертикальной плоскости. За счет кругового вращения антенны РЛС характеристика направленности формирует радиолокационное поле, условные границы которого образуют овальное тело, полученное за счет кругового вращения косекансной характеристики направленности.

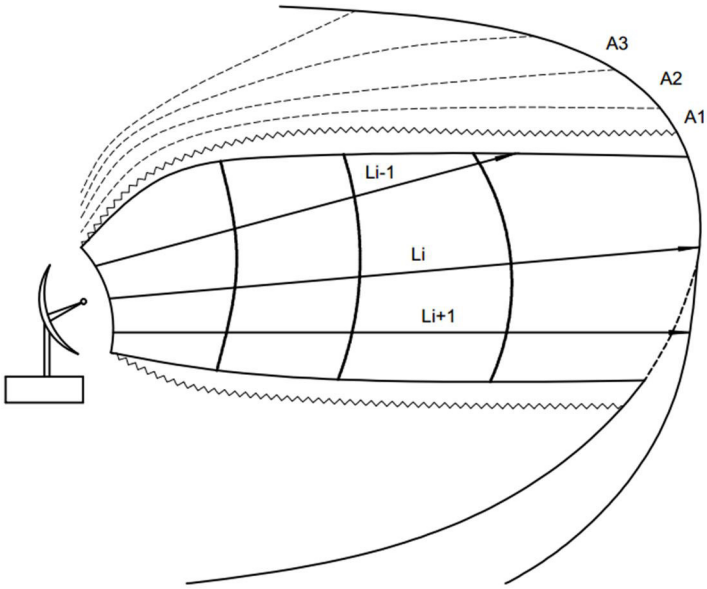


Рис. 1. Схема, поясняющая лучевое и веерное преобразование

Скорость вращения антенны 10-20 оборотов в минуту, то есть один оборот в 360° совершается за 3-6 с, а поворот на один градус – за 0,08-0,15 с. Поэтому при рассмотрении процессов распространения электромагнитных волн, которые исчисляются микро (10^{-6}) и мили (10^{-3}) секундами, можно считать антенну РЛС неподвижной.

Разрез, сделанный в овальном теле, позволяет увидеть косекаснообразную характеристику направленности, в пределах которой распространяются электромагнитные волны. Их фронты обозначены пунктирными линиями. Прямые L_i, ортогональные им, являются электромагнитными лучами.

Допуская, что характеристика направленности антенны РЛС в горизонтальной плоскости стремится к нулю, можно считать её поверхностью, на которой можно применить лучевое преобразование.

Лучевое преобразование $\mathbf{P}$ отображает функцию, определенную в n-мерном евклидовом пространстве $\boldsymbol{R}^n$, во множество линейных интегралов. Другими словами, если единичный вектор θ принадлежит единичной сфере $\boldsymbol{S}^{n-1}$, то есть $\theta \in \boldsymbol{S}^{n-1}$, и x принадлежит евклидовому пространству $\boldsymbol{R}^n$, то есть $\boldsymbol{x} \in \boldsymbol{R}^n$, то

$$\mathbf{P}f(\theta, x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x + t\theta)dt \qquad (5)$$

представляет собой интеграл функции f, принадлежащей пространству Шварца $f \in \Psi(\boldsymbol{R}^n)$, по прямой, проходящий через точку x в направлении θ.

Величина $\mathbf{P}f(\theta,x)$ не изменяется при смещении точки x в направлении θ. Как правило x выбирается из ортогонального подпространства $\theta^{\perp}$, поэтому $\mathbf{P}f$ задается на касательном расслоении сферы $\boldsymbol{S}^{n-1}$, а значит:

$$\boldsymbol{T} = \left\{(\theta,x): \theta \in \boldsymbol{S}^{n-1}, x \in \theta^{\perp}\right\}. \tag{6}$$

Введем обозначение:

$$\mathbf{P}_{\theta} f(x) = \mathbf{P}f(\theta,x), \tag{7}$$

где $\mathbf{P}f(\theta,x)$ проекция функции f на ортогональное подпространство $\theta^{\perp}$. При n=2 (в двумерном евклидовом пространстве) оператор $\mathbf{P}$ (лучевое преобразование) и $\mathbf{R}$ (преобразование Радона) совпадают с точностью до обозначения аргументов, тогда $\mathbf{P}f(\omega,s)$ можно представить в виде интеграла от $\mathbf{P}f$ для любого единичного вектора $\theta \in \boldsymbol{S}^{n-1}$, принадлежащего единичной сфере и ортогонального ω $(\theta \perp \omega)$, то есть

$$\mathbf{R}f(\omega,s) = \int\limits_{x\in\theta^{\perp}, x\cdot\omega=s} \mathbf{P}f(\theta,x)dx\,. \tag{8}$$

Перемещая последовательно (рис. 1) вертикальную поверхность (сечение овального тела) из точки А1 в точку А2 и так далее по кругу или заданному сектору, получим веерное сканирование пространства в определенных пределах.

Математическое веерное преобразование представляет собой интеграл функции f по лучу с началом $a \in \boldsymbol{R}^{n}$ и направлением $\theta \in \boldsymbol{S}^{n-1}$, таким образом:

$$\mathbf{D}f(a,\theta) = \int\limits_{0}^{\infty} f(a+\theta t)dt\,. \tag{9}$$

Введем обозначение:

$$\mathbf{D}_{\mathbf{a}} f(a) = \mathbf{D}f(a,\theta). \tag{10}$$

Отметим, во-первых, что если функция f принадлежит пространству Шварца $f \in \Psi(\boldsymbol{R}^{n})$, то функции $\mathbf{R}_{\theta}f$, $\mathbf{P}_{\theta}f$, $\mathbf{R}f$, $\mathbf{P}f$ точно принадлежит пространствам Шварца, заданным, соответственно, на $\boldsymbol{R}^{1}$ – одномерном евклидовом пространстве, $\theta^{\perp}$ – ортогональном подпространстве, $\mathbf{Z}$ – единичном цилиндре в пространстве $\boldsymbol{R}^{n+1}$ и $\mathbf{T}$ –касательном расположении сферы $\boldsymbol{S}^{n-1}$. Пространства на $\mathbf{Z}$ и $\mathbf{T}$ задаются либо с помощью локальных координат, либо путем ограничения функций из пространства Шварца $\Psi(\boldsymbol{R}^{2n})$ на $\mathbf{T}$.

Приведенные выше интегральные преобразования Радона, лучевое и веерное, обладают рядом свойств, которые реализуются с использованием операции свертки и преобразования Фурье. Эти операции над функциями, определенными на $\mathbf{Z}$ и $\mathbf{T}$, выполняются по второй переменной

Во-вторых, эти свойства реализуются также и с использованием других операторов. Применив проекционную теорему, можно доказать, что

$$\mathbf{R}_{\mathbf{a}}\mathbf{D}^{\mathbf{a}} f = \theta^{a}\mathbf{D}^{|\mathbf{a}|}\mathbf{R}_{\mathbf{a}} f\,, \tag{11}$$

где $\mathbf{D}^{|\mathbf{a}|}$ – дифференциальный оператор, который действует по второй переменной функции $\mathbf{R}f$.

В пространстве Шварца также используются двойственные операторы $\mathbf{R}_\theta^\#$, $\mathbf{R}^\#$, $\mathbf{P}_\theta^\#$, $\mathbf{P}^\#$, причем

$$\mathbf{R}_\theta^\# g(x) = g(x \cdot \theta), \tag{12}$$

$$\mathbf{R}^\# g(x) = \int_{\mathbf{S}^{n-1}} g(\theta, x \cdot \theta) d\theta, \tag{13}$$

$$\mathbf{P}_\theta^\# g(x) = g(\theta, \mathbf{E}_\theta \cdot x), \tag{14}$$

$$\mathbf{P}^\# g(x) = \int_{\mathbf{S}^{n-1}} g(\theta, \mathbf{E}_\theta \cdot x) d\theta, \tag{15}$$

где $\mathbf{E}_\theta$ – ортогональная проекция на $\theta^\perp$.

Главное свойство сопряженных или двойных операторов состоит в том, что они образуют двойственную пару. В смысле интегральной геометрии это означает, что оператор $\mathbf{R}$ задает интегрирование по всем точкам плоскости, а оператор $\mathbf{R}^\#$ задает интегрирование по всем плоскостям, проходящим через данную точку.

Таким образом, интегральные преобразования Радона, лучевые и веерные, дифференциальные и двойственные операторы с использованием математического аппарата свертки и преобразования Фурье позволяют создать математическую модель идентификации опасных целей путем одновременного сопоставления текущих радиолокационных образов с набором образов радиолокационных целей и набором образов радиолокационных помех.

5. Выводы. Априорное знание характеристик радиолокационных целей, ожидаемых на подходах к охраняемому потенциально-опасному объекту, позволяет упростить и формализовать процесс получения и обработки радиолокационной информации, состоящий в обнаружении, измерении, разрешении и распознавании каждой цели для любого конечного объема пространства за ограниченный промежуток времени.

1. Интегральные преобразования Радона, лучевые и веерные, дифференциальные и двойственные операторы с использованием математического аппарата свертки и преобразования Фурье позволяют создать математическую модель идентификации опасных целей путем одновременного сопоставления текущих радиолокационных образов с набором образов радиолокационных целей и набором образов радиолокационных помех.

Список использованной литературы

1. Кодекс Цивільного захисту України (КУЗУ). – 2016. – // www.urist-ua.net

2. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия // Экономика и управление. – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97-101.

3. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, Ю.В. Браславский и др. // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – С. 239 – 245.

4. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Смычков, В.В. Рыбко // Зб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Вип. 1 (41). – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012. – С. 207 – 211.

5. Широков Ю.Ф. Основы теории радиолокационных систем. – Самара: ГАЭУ, 2012. – 128 с.

6. Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 296 с.

7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь,1992. – 304 с.

8. Информационные технологии в радиотехнических системах // Учеб. пособие, 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Васин, И.Б. Власов и др. ; под ред. И.Б. Федорова. –.М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 768 с.

9. Радиовидение. Радиолокационные станции зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под. ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

References

1. The Code of the Civic Zahistu of Ukraine (KTSZU). – 2016. – // www.urist-ua.net

2. Goncharenko Yu.Yu. Structure of the information security management contour of the enterprise / Yu.Yu. Goncharenko // "Economics and Management". - №5. - Simferopol: NAPCS, 2012. - P. 97 - 101.

3. Goncharenko Yu.Yu. Assessment of the effectiveness of emergency management / Yu.Yu. Goncharenko, E.V. Azarenko, Yu.V. Braslavsky and others // Sb. Sci. Tr. SNUEAiP. - Вып. 2 (38). - Sevastopol: SNUNEP, 2011. - P. 239 - 245.

4. Goncharenko Yu.Yu. Information security - as one of the key aspects of prevention of emergency situations / Yu.Yu. Goncharenko, E.E. Smychkov, V.V. Rybko // Zb. Sciences. The praise of SNYAETA. - Vip. 1 (41). - Sevastopol: SNUYNEP, 2012. - P. 207 - 211.

5. Shirokov Yu.F. Fundamentals of the theory of radar systems. - Samara: GAEU, 2012. - 128 p.

6. Bakulev PA Radar and radio navigation systems / P.A. Bakulev, A.A. Sosnovsky // Proc. Manual for universities. - M .: Radio and Communication, 1994. - 296 p.

7. Sosulin Yu.G. Theoretical foundations of radar and radio navigation. Manual for universities. - M .: Radio and Communication, 1992. - 304 p.

8. Information technology in radio engineering systems. Allowance, 2 nd ed., Pererab. And additional / VA. Vasin, I.B. Vlasov et al., Ed. I.B. Fedorov. – Moskva.: Publishing house of MSTU. N.E. Bauman, 2004. - 768 p.

9. Radio broadcasting. Radar stations for sounding the Earth. Textbook for high schools / Pod. Ed. G.S. Kondratenkov. - Moscow: Radio Engineering, 2005. - 368 p.

Автор статті

Лазаренко Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Систем технічного захисту інформаційних систем, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (67) 244 78 67. E-mail: stzi.dut@ukr.net.

Author of the article

Lazarenko Serhii Volodymyrovych – candidate of sciences (technical), associate professor, head of department of technical information security systems, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (67) 244 78 67. E-mail: stzi.dut@ukr.net.

Дата надходження в редакцію: 22.03.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук В. С. Наконечний
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 62-533.7

[1]Лебідь Є. В., [1]Бєляков Р. О., [2]Шишацький О. В.
[1]Військовий іститут телекомунікацій та інформатизації
[2]Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ

МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ФАЗОВИХ ШУМІВ СИСТЕМИ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ

У статті представлені результати аналізу принципів побудови системи фазового автопідстроювання частоти в залежності від заданих вимог рівня фазових шумів системи. Отримані результати представляють собою метод компенсації фазових шумів системи фазового автопідстроювання частоти в перспективних радіотехнічних комплексах спеціального призначення.

***Ключові слова*:** система фазового автопідстроювання частоти, фазовий шум.

Lebid Ye. V., Beliakov R. O., Shyshatskyi A. V. Method of indemnification phase noises the system PLL of frequency. Digital systems PLL frequency widely and effectively are used in the synthesizers of frequencies the modern radiotechnical systems (mobile, satellite and trunking communication and also in the perspective military radiotechnical complexes of the different setting (Air Force, Navy military), for the construction sources vibrations, which satisfy to the whole complex of requirements, which include requirements to time of alteration, stability of frequency and level phase noises. The large number of publications is sanctified to research and calculation of phase noises submachines systems PLL. But articles in which the detailed analysis noises of phase detector are provided, which are the submachines the digital systems PLL synthesizers of frequencies practically absent, although a basic contribution is to the spectrum phase noise of initial oscillation the system PLL, the deposit noises of phase detector prevails. As known from the theory the systems PLL influence of noises, which arises up in the consequence work of phase detector, depends on local properties of discriminatory descriptions, in particular, from the local steepness of discriminatory description of phase detector in the point stationary mode of synchronism. The presence such distortions substantially influences on noise and dynamic descriptions the system PLL. In the article results of analysis and principles construction the system PLL of frequency depending on the set requirements level of phase noises the system are considered. The presented results show by itself the method of indemnification phase noises the system PLL of frequency in the perspective radiotechnical complexes of the special setting.

***Keywords*:** system PLL, phase noise.

1. Вступна частина.

Постановка задачі. Цифрові системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ)[1-4] широко і ефективно застосовуються в синтезаторах частот (СЧ) сучасних радіотехнічних систем (мобільного, супутникового, та транкінгового зв'язку, зокрема у військовій техніці) для побудови джерел коливань, що задовольняють цілому комплексу вимог (часу перебудови, стабільності частоти і рівня фазових шумів).

Дослідженню і розрахунку фазових шумів функціональних вузлів СЧ-ФАПЧ присвячена велика кількість робіт. Але публікації в яких проведений детальний аналіз шумів фазового детектора (ФД), який є функціональним вузлом цифрової системи ФАПЧ [5-6] практично відсутні, хоча основний вклад в спектр фазового шуму вихідного сигналу системи ФАПЧ вклад шумів ФД є домінуючим.

Як відомо з теорії систем ФАПЧ [1-2] вплив шумів, що виникає в наслідок роботи ФД, залежить від локальних властивостей дискримінаційних характеристик [7], зокрема, від локальної крутизни дискримінаційної характеристики ФД в точці стаціонарного режиму синхронізму. Наявність таких спотворень істотно впливає на шумові і динамічні характеристики системи ФАПЧ.

На даний момент вирішення проблеми побудови СЧ-ФАПЧ з гранично низькими рівнями фазових шумів є актуальною задачею.

Аналіз літературних джерел. В роботах [6-9] виконувалися дослідження джерел шумів у функціональних вузлах систем ФАПЧ, де увага приділялася вивченню власних шумів таких важливих функціональних вузлів систем ФАПЧ, як дільники частоти зі змінним коефіцієнтом ділення і фазові детектори (ФД) [10].

© Лебідь Є. В., Бєляков Р. О., Шишацький О. В. 2017

У роботі [11] автором були розглянуті аналітичні підходи до аналізу роботи системи ФАПЧ з цифровим фазовим детектором (ЦФД), представлені графічні рішення отриманих математичних виразів, що безпосередньо описують роботу в умовах перехідних процесів при зміні режимів роботи ЦФД. Також в роботі [7] розглянута робота сучасних ФД, побудованих за тригерною схемою. Основна увага приділяється перехідним процесам, що відбуваються в ЦФД при перемиканні режимів. До недоліків ЦФД можна віднести несиметричність дискримінаційної характеристики відносно нульового фазового неузгодження, її залежність від другорядних інформаційних параметрів, що поступають у вигляді імпульсних послідовностей, а також необхідність застосування ФНЧ високих порядків для усунення паразитного впливу перших гармонік вихідного сигналу детектора на форму дискримінаційної характеристики, що обмежує динаміку системи при перебудові частоти.

Отже, для покращення параметрів результуючого вихідного фазового шуму системи ФАПЧ, необхідно скомпенсувати дію фазових шумів фазового детектора, реалізація якого заснована на використанні модифікованого цифрового фазового детектора.

Мета та задачі дослідження є удосконалення методу компенсації результуючого фазового шуму системи фазового автопідстроювання частоти шляхом введення в систему модифікованого цифрового фазового детектора за рахунок компенсації флуктації фази вихідного сигналу системи.

2. Аналіз джерел фазового шуму цифрової системи ФАПЧ. При функціонуванні системи ФАПЧ в реальних умовах виникають випадкові збурюючі дії [3-5], що викликають відхилення фази вихідного сигналу системи від сталого значення в стаціонарному режимі. Флуктуації фази (фазовий шум) вихідного сигналу перебудованого генератора визначаються впливом внутрішніх шумів функціональних вузлів, що входять до складу системи ФАПЧ (рис. 1.), фазовими шумам опорного і перебудованого генератора і характеристиками системи ФАПЧ.

Для подальшого аналізу джерел шуму використано модель ФАПЧ [12] зображену на рис. 1. Дана модель включає шуми, які генеровані наступними блоками системи ФАПЧ: дільником частоти, перебудованим генератором, фазовим детектором, цифровим фільтром нижніх частот, генератором опорних коливань.

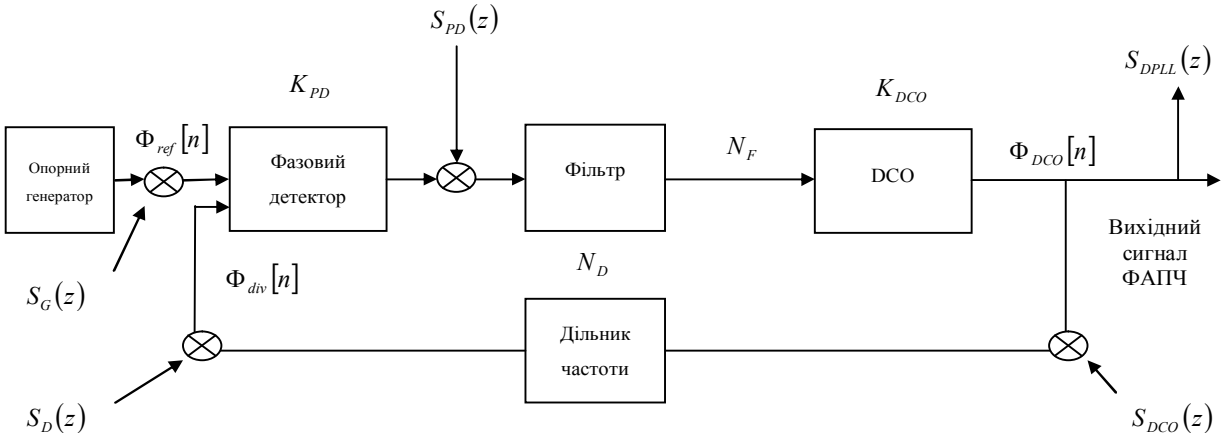


Рис. 1 Структурна схема цифрової ФАПЧ з адитивними джерелами шуму

Нехай $S_D(z), S_{DCO}(z), S_G(z), S_{PD}(z), S_{DPLL}(z)$ - спектральна щільність потужності фазового шуму дільника частоти, спектральна щільність потужності фазового шуму перебудованого генератора, спектральна щільність потужності фазового шуму сигналу опорного генератора, спектральна щільність потужності фазового шуму цифрового фазового детектора і спектральна щільність потужності фазового шуму вихідного сигналу цифрової системи ФАПЧ.

При розробці систем ФАПЧ оцінено вихідні характеристики шумових коливань. З метою цього знайдено передаточні функції шуму окремих блоків, які входять в склад системи ФАПЧ.

Передаточні функції шуму окремих блоків структурної схеми цифрової системи ФАПЧ з адитивними джерелами шуму (рис. 1)

$$H_G(z)=\frac{z^{-1}K_{PD}K_{DCO}K_F(z)}{N_D\left(1-z^{-1}\right)+z^{-1}K_{PD}K_{DCO}K_F(z)^3}, \tag{1}$$

$$S^G_{DPLL}(z)=\left|H_{DPLL}(z)\right|^2 S_G(z). \tag{2}$$

Передаточна функція шуму перебудованого генератора

$$H_{DCO}(z)=H_{err}(z), \tag{3}$$

де

$$H_{err}(z)=H_{DPLL}(z), \tag{4}$$

тоді

$$S^{DCO}_{DPLL}(z)=\left|1-H_{DPLL}(z)\right|^2 S_{DCO}(z). \tag{5}$$

Передаточна функція шуму дільника частоти

$$H_D(z)=\frac{z^{-1}K_{PD}K_{DCO}H_F(z)}{N_D\left(1-z^{-1}\right)+z^{-1}K_{PD}K_{DCO}H_F(z)}, \tag{6}$$

чи

$$S^D_{DPLL}(z)=\left|H_{DPLL}(z)\right|^2 S_D(z). \tag{7}$$

Для фазового детектора

$$H_{PD}(z)=\frac{z^{-1}K_{PD}K_{DCO}H_F(z)}{N_D\left(1-z^{-1}\right)+z^{-1}K_{PD}K_{DCO}H_F(z)}, \tag{8}$$

чи

$$S^{PD}_{DPLL}(z)=\left|H_{DPLL}(z)\right|^2 S_{PD}(z). \tag{9}$$

Сумарна спектральна щільність потужності фазового цифрової системи ФАПЧ визначається сумою (2), (5), (7), (9):

$$S_{DPLL}(z)=S^G_{DPLL}(z)S^{DCO}_{DPLL}(z)S^D_{DPLL}(z)S^{PD}_{DPLL}(z)\left|1-H_{DPLL}(z)\right|^2 S_{DCO}(z). \tag{10}$$

Приведені співвідношення дозволяють розраховувати спектральну щільність потужності фазових шумів на виході системи ФАПЧ.

На рис. 2. приведені спектральні щільності потужності фазових шумів системи ФАПЧ.

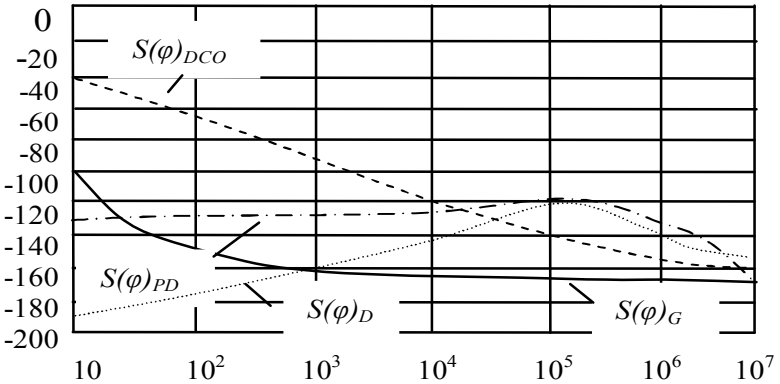


Рис. 2. Спектральна щільність потужності фазових шумів системи ФАПЧ

Аналіз оцінки спектральної щільності фазових шумів системи ФАПЧ (рис. 2) показав, що рівень фазових шумів системи ФАПЧ, практично визначається вкладом еквівалентних фазових шумів ФД. Отже вклад шумів фазового детектора в результуючі шуми системи є визначальним, особливо при малому коефіцієнті передачі ФД.

Тому, для покращення характеристик результуючого вихідного фазового шуму системи ФАПЧ, необхідно скомпенсувати дії фазових шумів фазового детектора. Реалізація компенсації рівня результуючого вихідного фазового шуму системи ФАПЧ, в основному здійснюється за рахунок модифікованого цифрового фазового детектора, з використанням удосконаленого методу.

Сутність методу полягає у компенсації дії фазових шумів системи ФАПЧ за допомогою модифікованого цифрового фазового детектора за критерієм мінімуму фазової неузгодженності, що суттєво знижує рівень фазових шумів системи та призводить до підвищення швидкодії системи.

3. Обгрунтування вибору цифрового фазового детектора. Системи ФАПЧ які застосовуються в системах передачі даних та обробки інформації [5,10] повинні, забезпечувати точну синхронізацію фаз та можливість перебудови в широкому діапазоні частот. Цим вимогам частково задовольняють цифрові системи ФАПЧ час перебудови, яких залежить від дискримінаційної характеристики ФД і динамічних властивостей петлі ФАПЧ зміна яких прискорює пошук і захоплення частоти і фази (розширення смуги ФАПЧ) та призводить до погіршення спектральних характеристик генерованого коливання. Є велика кількість рішень, що покращують динамічні характеристики ФАПЧ за рахунок оптимізації дискримінаційної характеристики ФД, та зміни смуги пропускання ФНЧ, шляхом зміни його структури в перехідному режимі [4, 10].

Враховуючи велику різноманітність схем фазових детекторів, найбільш широке застосування завдяки своїй простоті і універсальності отримали (ФД на RS -тригері, ФД з трьома станами і ФД на D -тригерах), з періодичною кусочно-лінійною характеристикою (рис. 3).

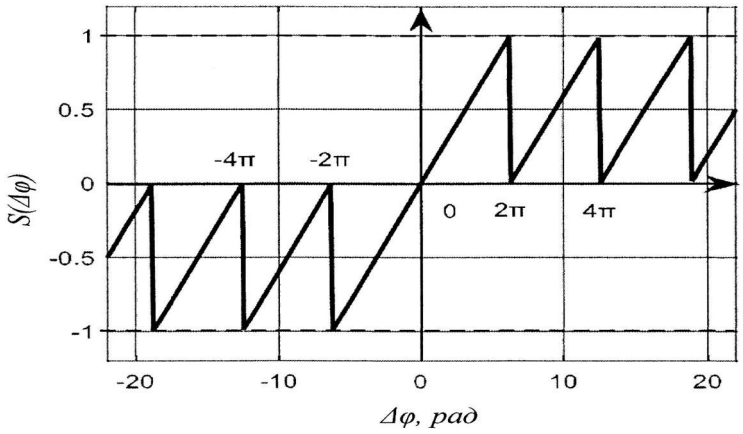


Рис. 3. Дискримінаційна характеристика ЦФД з трьома станами

Основним об'єктом досліджень є ЦФД «з трьома станами» [3-5], який широко застосовується в схемах СЧ-ФАПЧ сучасної радіоелектронної апаратури спеціального призначення (рис. 4).

Основним недоліком приведеної схеми є зміщення частоти налаштування, пов'язаний із затримкою поширення сигналів в послідовній схемі із зворотним зв'язком [5]. Крім того, розриви частотної дискримінаційної характеристики ЦФД (рис. 5 а,б) істотно знижують швидкодію системи в режимі налаштування, а широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) сигналу помилки викликає флуктацію фази на виході контуру ФАПЧ в сталому режимі.

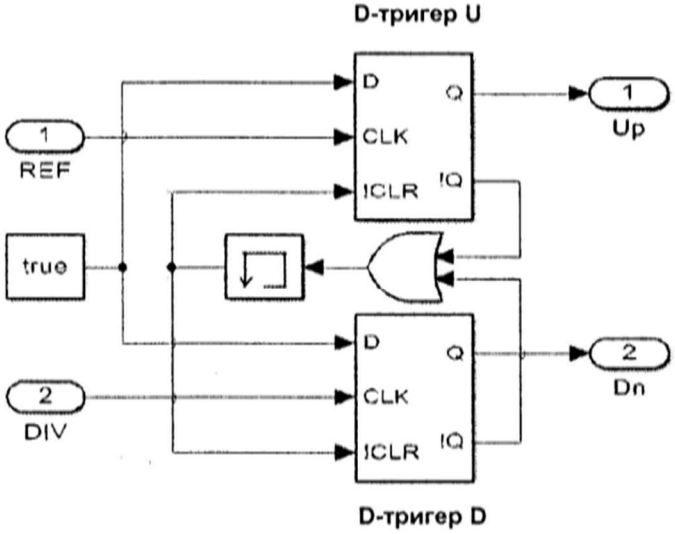
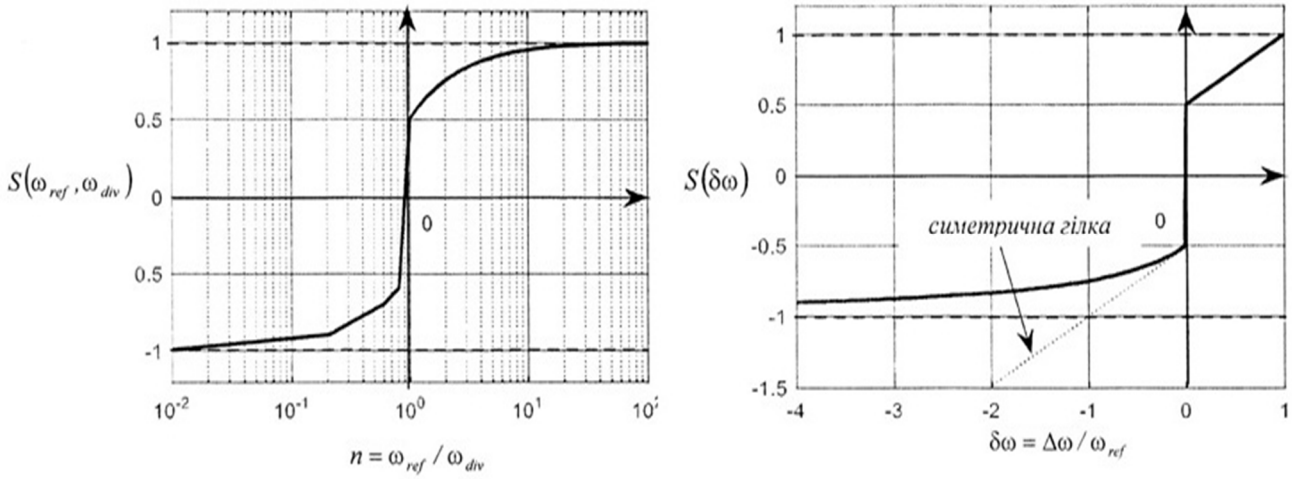


Рис. 4. ЦФД з трьома станами



а) $n=\omega_{ref}/\omega_{div}$ б) $\delta\omega=\Delta\omega/\omega_{ref}$

Рис. 5. Статична частотна дискримінаційна характеристика ЦФД з трьома станами

Із-за кінцевого часу скидання тригерів обидва виходи детектора на короткий час одночасно мають високий рівень, тобто на не активному виході детектора з'являється періодична послідовність коротких імпульсів, що призводить до появи додаткової шумової складової в сигналі управління (рис. 6).

Висока шумова складова вихідного сигналу ЦФД послаблюється ФНЧ, але це спричиняє зниження швидкодії системи ФАПЧ при зміні частоти.

Ефективним шляхом компенсації шумової складової ФД є обчислення фазової помилки по модулю 2π рад в момент надходження чергового імпульса [6]

$$\gamma(\varphi)=K_{PD}\,sng(\Delta\varphi)(|\Delta\varphi|\bmod 2\pi),$$

де $\gamma(\varphi)$ – сигнал помилки на виході ЦФД;

K_{PD} – коефіцієнт передачі ФД;

$\Delta\varphi=\varphi_{ref}-\varphi_{div}$ – фазова неузгодженість на вході системи;

$sng(\cdot)$ – функція, яка повертає знак аргумента;

$\mathrm{mod}2\pi$ – операція ділення по модулю 2π.

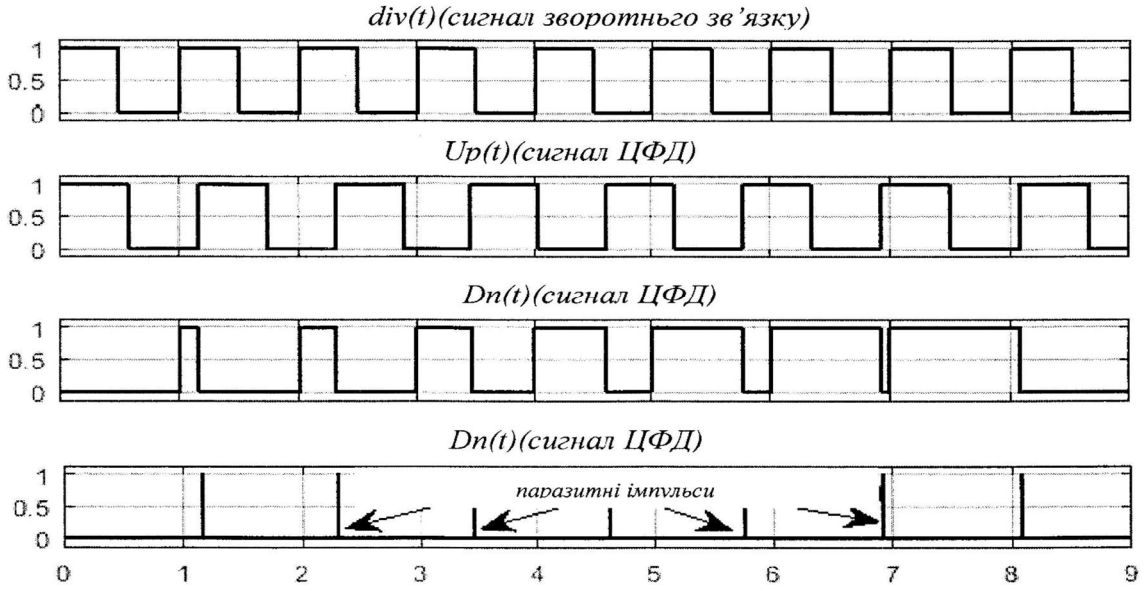


Рис. 6. Епюри вихідних сигналів ЦФД на D-тригерах

Обчислення фазової помилки по модулю 2π рад можна реалізувати шляхом перетворення ШІМ сигналу на виході ФД в двійковий код, який приймає значення з безлічі цілих чисел 0 ... N. Межі зміни коду від 0 (000 ... 0) до *N* (111 ... 1) в цьому випадку відповідатимуть зміни фазового помилки від -2π радий до 2π рад, код нульовий помилки – *N* / 2 (011 ... 1).

Покращений алгоритм і структуру модифікованого ЦФД який матиме два режими роботи: фазовий і частотний. Статична фазова дискримінаційна характеристика повинна бути непарною і лінійної в діапазоні фазової розстройки $\Delta\varphi \in (-2\pi;2\pi)$. Статична частотна дискримінаційна характеристика повинна бути непарною і релейною у всьому діапазоні частотної розстройки $\delta\omega$ або непарною і релейною ділянкою при $n \notin (0{,}5;2)$. Детектор повинен працювати по передніх фронтах вхідних імпульсів, результат його роботи не повинен залежати від скважності вхідних імпульсних послідовностей.

Функціональна схема модифікованого цифрового фазового детектора в якому реалізований даний підхід приведена на рис. 7.

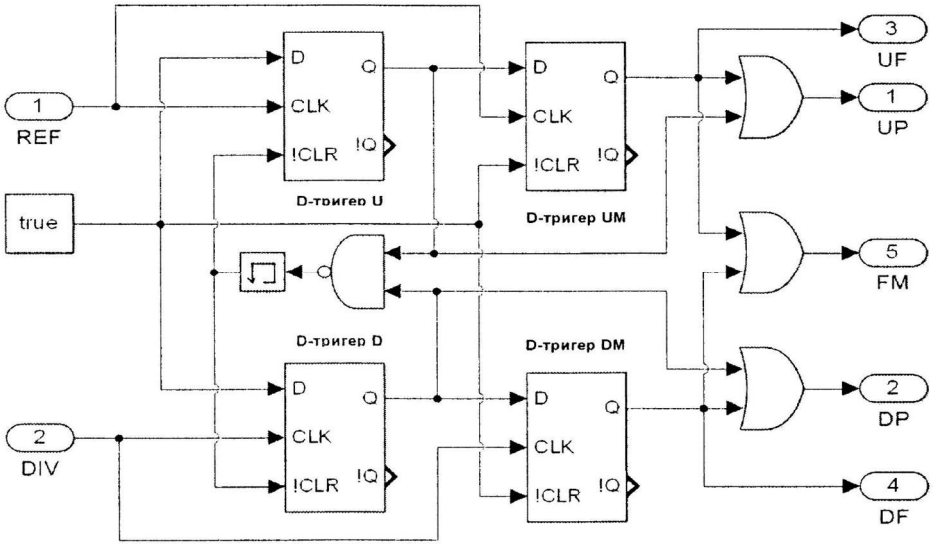


Рис. 7 Модифікований ЦФД з додатковимим D-тригерами

Модифікований ЦФД має два входи для сигналів $div(t)$ та $ref(t)$ і п'ять виходів: UP, DP – для фазової неузгодженості, UF, DF – для частотної неузгодженості і FM – для індикації частотного режиму роботи. Крім того, при переході з частотного режиму в фазовий і назад внутрішня структура детектора забезпечує перехід в стан найбільш сприятливий з точки зору завершення перехідних процесів при переході в фазовий режим.

На тактові входи триггерів D-тригерD та D-тригер U надходять послідовності імпульсів $div(t)$ та $ref(t)$ (рис. 8 а, б) в результаті на виходах Q тригерів формується цифровий код шляхом рахунку імпульсів перебудованого генератора по модулю N (рис. 8 в). По закінченню періоду сигналу на виході ЦФД виникає імпульс скидання RST (рис. 8 д), який через пристрій затримки подається на входи CLR триггерів, та встановлює їх виходи в початковий стан 011 ... 1, а код помилки заноситься в D-триггерDM та D-триггерUM.

Якщо фазова помилка перевищує по модулю величину 2π, то в процесі перетворення виникає переповнення тригерів D-тригерD та D-тригерU, і вони переходять в початковий стан 011...1. В результаті під час надходження чергового імпульсу з виходів D-тригер D та U в D-тригер DM та UM заноситься код фазової помилки, взятої по модулю 2π .

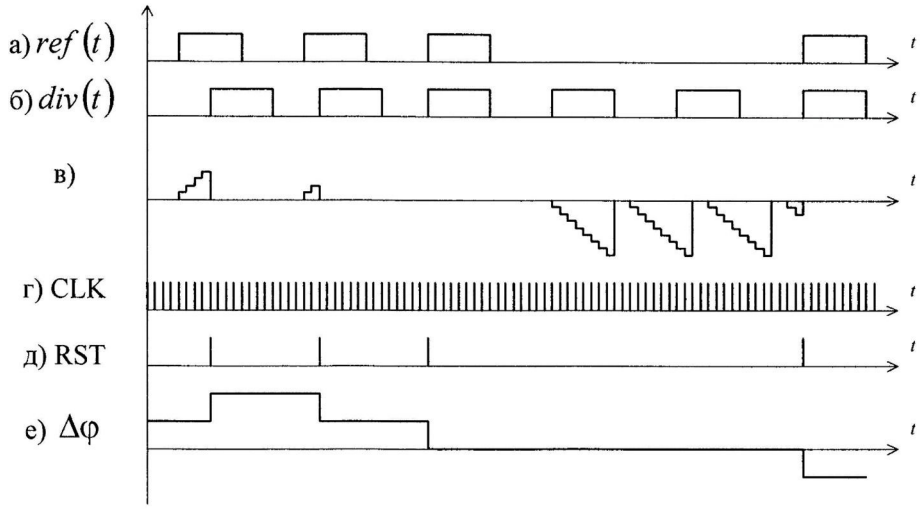


Рис. 8 Часові діаграми пристрою ФАПЧ в режимі фазової синхронізації

У режимі налаштування на частоту перетворення сигналу фазової помилки ЦФД в цифровий код здійснюється, як і в попередньому випадку, за допомогою тригерів D-тригерD та D-тригерU. Однак при фазовій неузгодженості, що перевищує по модулю 2π рад, виходи UP, DP ЦФД блокуються, а на виходах UF, DF формується код помилки по частоті. Цифровий код з триггерів D-тригерD та D-тригерU через ключовий елемент «true» надходить на входи установки і скидання D-тригерDM та UM (D і CLR відповідно). В результаті D-тригерDM та UM встановлюється в стан 0 (000 ... 0) або N (111 ... 1), в залежності від знака помилки.

Код фазової помилки з виходів ЦФД надходить через ФНЧ на вхід перебудованого генератора. При цьому ФНЧ пропорційно-інтегральний дозволяє формувати смугу пропускання контуру ФАПЧ в залежності від спектру інформаційного сигналу. Схема моделі модифікованого ЦФД відрізняється від моделі ЦФД з трьома станами додаванням двох додаткових D -тригерів які фіксують поточний стан детектора при фазовій помилці більше 2π рад. Змінена ділянка статична частотна дискримінаційна характеристика (СЧДХ) представлена на рис. 9 суцільною лінією.

На рис. 10 зображений графік зміни лінійної частоти сигналів на входах модифікованого фазового детектора. При малому фазовому і частотному неузгодженні додаткові тригери D-тригер UM і D-тригер DM не спрацьовують і сигнали на виходах *Up* і *Dn* формуються в

повній відповідності з схемою роботи звичайного ЦФД з трьома станами, при частотну неузгодженні $n = \omega_{ref} / \omega_{div} > 2$ або $n < 1/2$, додаткові тригери фіксують поточний стан детектора при фазовій помилці більше 2π рад і «встигають» між моментами приходу вхідних імпульсів зберегти високий рівень сигналу «лог. 1» на відповідному виході детектора, тим самим компенсуючи паразитну шумову складову сигналу.

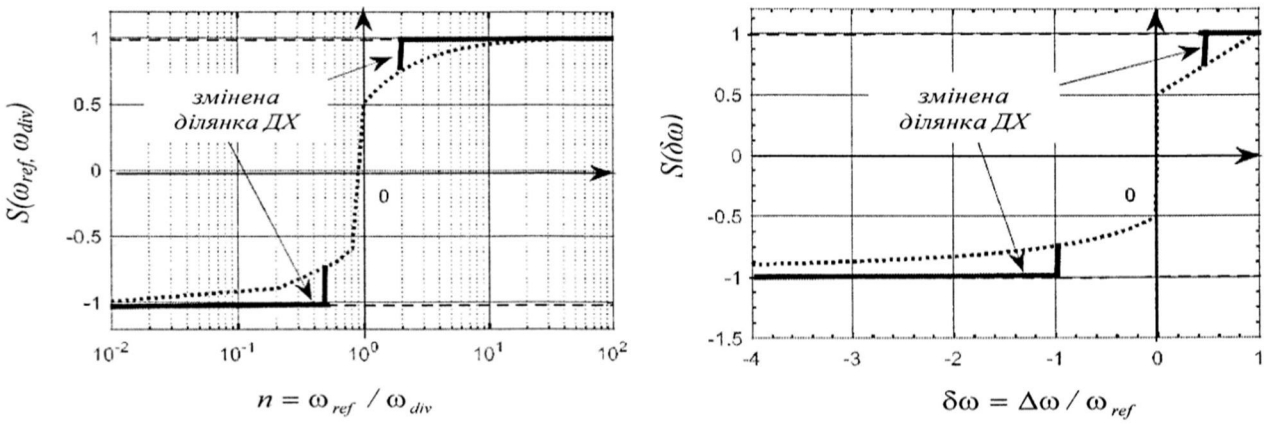


Рис. 9. Скоригована СЧДХ модифікованого ЦФД

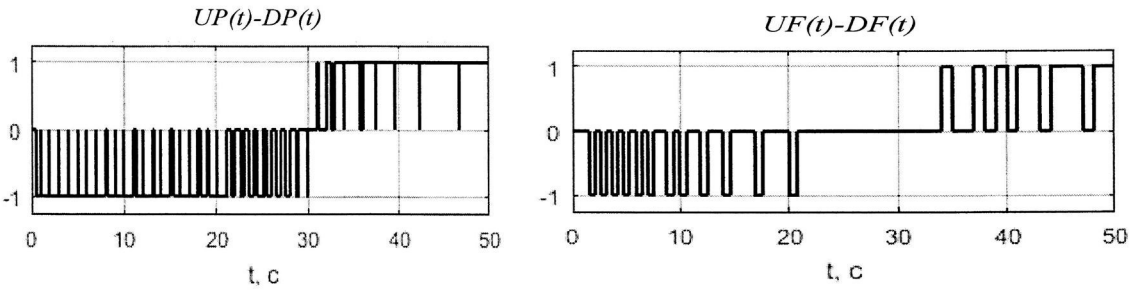


Рис. 10. Епюри сигналів на виходах модифікованого ЦФД

Таким чином, удосконалений метод компенсації фазових шумів системи ФАПЧ дає можливість ефективно вирішувати завдання фазової синхронізації сигналів в широкому діапазоні частот. Обчислення фазової помилки по модулю 2π в режимі синхронізації дозволяє уникнути зміщення частоти налаштування ФАПЧ при пропуску синхроімпульсів. Фіксація максимального по модулю значення помилки в режимі «захоплення» забезпечує оптимальну швидкодію системи.

Для кількісної оцінки впливу фазового шуму системи ФАПЧ була побудована імітаційна модель системи в середовищі Simulink *Mathlab + Simulink* [14].

Для порівняльної оцінки впливу синтезованого фазового детектора на перехідний процес системи ФАПЧ, спричиненого ступінчастою зміною задаючого впливу на рис. 11. зображені перехідні складові помилки класичної системи ФАПЧ (крива 1) [5], і системи з модифікованим цифровим фазовим детектором (крива 2).

Із рис. 11 видно, що графіки показують істотну залежність характеру і тривалості процесу фазової синхронізації сигналів f_{ref} і f_{div} від типу ЦФД. Показники якості перехідного процесу в системі з модифікованим фазовим детектором значно вище, ніж у вихідній системі. Застосування модифікованого фазового детектора дозволяє звести до мінімуму час налаштування контура ФАПЧ на задану частоту.

На рис. 12 показано, як змінюються спектральна щільність потужності фазових шумів вихідного сигналу ФАПЧ при зміні рівня власних шумів ЦФД. Штрихованими лініями показані спектральна щільність потужності фазових шумів опорного генератора і

перебудованого генератора. Крива 1 відповідає випадку відсутності шумів ЦФД. Крива 2 відповідає рівню шумів ЦФД, що пояснює експериментальні дані. Крива 3 відповідає рівню шумів ЦФД, зниженому у відповідності з рівнем шуму ЦФД.

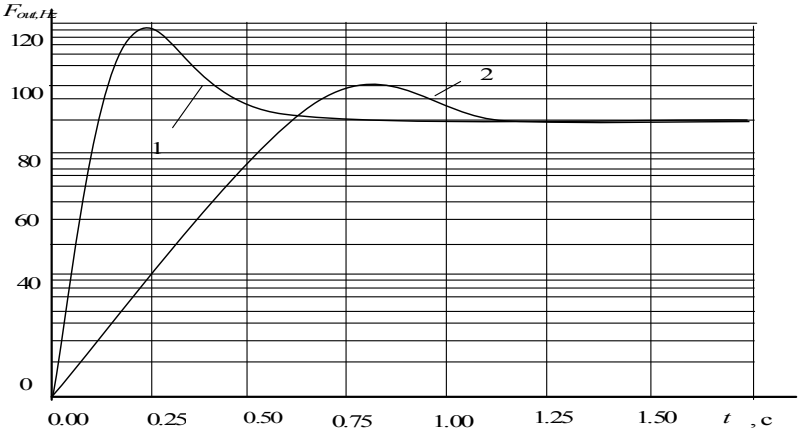


Рис. 11. Графіки зображень перехідних процесів систем ФАПЧ: 1 – вихідної системи, 2 –з модифікованим детектором

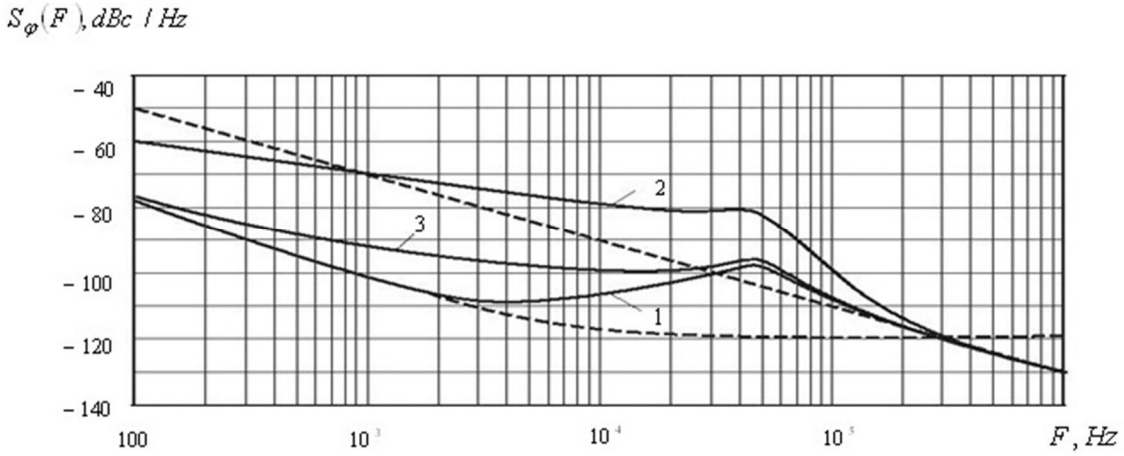


Рис. 12. Складові спектральної щільності потужності фазових шумів ЦФД

Із отриманих залежностей імітаційного моделювання (рис. 13) можна зробити висновок, що запропонований метод підтверджує ефективність застосування розробленого модифікованого цифрового фазового детектора для компенсації результуючих фазових шумів системи ФАПЧ за критерієм мінімуму фазової неузгодженості.

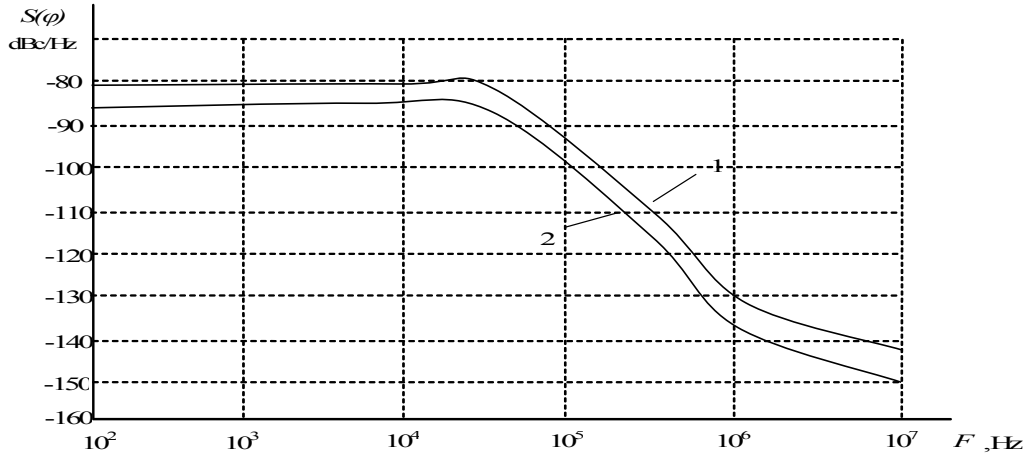


Рис. 13. Спектральна щільність фазового шуму системи ФАПЧ

Крім того, за рахунок введення синтезованого цифрового фазового детектора дозволяє звести до мінімуму час налаштування контура ФАПЧ та суттєво зкомпенсувати фазові шуми системи до 2-4 дБн.

3. Висновки. В результаті проведених досліджень був розроблений метод компенсації фазових шумів системи фазового автопідстроювання частоти, який полягає у компенсації дії фазових шумів системи ФАПЧ за допомогою модифікованого цифрового фазового детектора за критерієм мінімуму фазової неузгодженості.

Використання запропонованого методу надає можливість:

1. Визначати та компенсувати фазовий шум шляхом введенням синтезованого цифрового фазового детектора. Удосконалений метод дозволить компенсувати фазові шуми до 2-4 дБн.
2. Забезпечити зменшення рівня фазових шумів в межах 3-6 дБ і часу перебудови по частоті в межах 6%, з урахуванням нелінійних властивостей, що проявляються в можливих зривах синхронізації при перебудові по частоті.
3. Звести до мінімуму час налаштування контура ФАПЧ.

Таким чином запропонований метод компенсації фазових шумів системи фазового автопідстроювання частоти доцільно використовувати для підвищення швидкодії системи ФАПЧ у радіотехнічних комплексах спеціального призначення, зокрема у системах радіочастотної ідентифікації.

Список використаної літератури

1. В.В. Шахгильдян, А.А. Ляховкин. Системы фазовой автоподстройки частот .– М.: Связь, 1972. — С.220.

2. В.В. Шахгильдян, А.А. Ляховкин. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации // – М.: Радио и связь, 1989. – С.145.

3. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки / В.А. Левин //. — М.: Радио и связь, 1989.

4. Kroupa V. Phase Lock Loops and Frequensy Synthesis. — Chichestes: John Wiley & Sons Ltd., 2003. — P.30-35.

5. Бережняк И.П., Кулешов В.Н. Естественные шумы диодного амплитудного детектора //. Радиотехника. — 1978. — Т. 33, № 11. — С.34- 38.

6. Бережняк И.П., Кулешов В.Н. Естественные шумы балансного фазового детектора / И.П.Бережняк //. Радиотехника, 1980. - Т. 35, № 2. — С.46-48.

7. Kundert K.S., Predicting the Phase Noise and Jitter of PLL-Based Frequency Synthesizers. // Designer's Guide Consulting, Inc. Version 4f, November 2005. - www.designers-guide.org

8. Тихомиров Н.М., Романов С.К., Леныпин А.В. Формирование ЧМ сигналов в синтезаторах с автоподстройкой // — М.: Радио и связь. — 2004. – С. 210.

9. Brown J.I. “A Digital Phase and Frequency-sensitive Detector.” Proc. IEEE, vol. 59, N 4, Apr 1971. -P. 717-726.

10. Иванкович М.В. Определение требований к шумовым характеристикам синтезатора частот / М.В. Иванкович // «Труды НИИР». – 2008.- М.: НИИР. - №3.-С.34-56.

11. Reinhardt V.S. The Calculation of Frequency Source Requirements for Digital Communication Systems // Proc. 2004 IEEE Freq. Contr. Symposium and Exposition, 2004. - P. 151-157.

12. Лебідь Є.В. Математична модель системи фазової автопідстройки частоти з цифровим фазовим детектором з пристроєм формування неузгодженості та готовності сигналів / Є.В. Лебідь // Науковий журнал «Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони». – 2016.- Київ: НУОУ. –№2. – С.48-53.

13. Жабин А.С., Кулешов В.Н., Голубков А.В. Собственные шумы ИЧФД и их влияние на работу синтезатора частот // «Вестник МЭИ» - 2011.- М.- № 1.- С. 60-68.

14. V.K. Ingle, J.G. Proakis. Digital Signal Processing Using MATLAB, 3e // Cengage Learning – 2012.

References

1. V.V. Shahildyan, A.A. Lyahovkin. System Phase Lock Loops./ V.V. Shahildyan //.– M.: Link, 1972. — C.220.

2. V.V. Shahildyan, A.A. Lyahovkin. Systems phase synchronization with elements of digitization / V.V. Shahildyan //. – M.: Radio and link, 1989. – C.145.

3. Levin V.A., Malinovskiy V.N., Romanov S.K. Frequency synthesizers with the impulse system phase lock loops / V.A.Levin //. — M.: Radio and link, 1989.

4. Kroupa V. Phase Lock Loops and Frequensy Synthesis. – Chichestes: John Wiley & Sons Ltd., 2003. – P.30-35.

5. Berezhyak I.P., Kuleshov V.N. Natural noise diode amplitude detector / I.P.Berezhyak //. Radiotehnics. — 1978. — T. 33, № 11. — C.34- 38.

6. Berezhyak I.P., Kuleshov V.N. Natural noise balanced phase detector / I.P.Berezhyak //. Radiotehnics, 1980. - T. 35, № 2. — C.46-48.

7. Kundert K.S., Predicting the Phase Noise and Jitter of PLL-Based Frequency Synthesizers. // Designer's Guide Consulting, Inc. Version 4f, November 2005. - www.designers-guide.org

8. Tikhomirov N.M., Romanov S.K., Lenypin A.V. The formation of FM signals in frequensy synthesis with PLL / N.M. Tikhomirov //. — M.: Radio and link. — 2004. – C. 210.

9. Brown J.I. Digital Phase and Frequency-sensitive Detector. Proc. IEEE, vol. 59, N 4, Apr 1971. -P. 717-726.

10. Ivankovich M.V. The requirements for noise frequensy synthesis / Ivankovich M.V. // «The works SRIR ». – 2008.- M.: SRIR. - №3.-C.34-56.

11. Reinhardt V.S. The Calculation of Frequency Source Requirements for Digital Communication Systems // Proc. 2004 IEEE Freq. Contr. Symposium and Exposition, 2004. - P. 151-157.

12. Lebed Y.V. The mathematical model system PLL with digital phase detector with the device of formation the error and ready signal / Y.V. Lebed // Scientific journal «Modern information technologies in defense sector». – 2016.- Київ: НУОУ. –№2. – C.48-53.

13. Zhabin A.S., Kuleshov V.N., Golubkov A.V. Natural noise PD and their impact on work frequensy synthesis / A.S.Zhabin //. «Herald MEI» - 2011.- M.- № 1.- C. 60-68.

14.V.K. Ingle, J.G. Proakis Digital Signal Processing Using MATLAB, 3e // Cengage Learning – 2012.

Автори статті

Лебідь Євген Віцентійович – ад'юнкт науково-організаційного відділу, Військовий іститут телекомунікацій та інформатизації, Київ. Тел.: +380 (97) 013 00 45. E-mail: igarden1981@gmail.com.

Бєляков Роберт Олегович – кандидат технічних наук., викладач кафедри технічного и метрологічного забезпечення, Військовий іститут телекомунікацій та інформатизації, Київ. Тел.: +380 (93)9190047.

E-mail: france417@gmail.com

Шишацький Андрій Володимирович – кандидат технічних наук,. науковий співробітник, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України. Тел.: +380 (93) 575 55 89. E-mail: bossyak-007@mail.ru.

Authors of the article

Lebid Yevhen Vitsentiovych – adjunct of scientifically - organizational department. Military institute of telecommunications and informatization, Kyiv. Tel.: +380 (97) 013 00 45. E-mail: igarden1981@gmail.com.

Bieliakov Robert Olehovych – candidate of science (technical), teacher of department technical and metrology providing, Military institute of telecommunications and informatization, Kyiv. Tel.: +380 (93) 9190047.
E-mail: france417@gmail.com

Shyshatskyi Andrii Volodymyrovych – candidate of science (technical), research worker, Central research institute Military Powers of Ukraine. Tel.: +380 (93) 575 55 89. E-mail: bossyak-007@mail.ru.

Дата надходження
в редакцію: 14.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор В. А. Дружинін
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 621.396, 533.9.15

Шефер О. В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПРОБЛЕМА ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ПЛАЗМОВОГО СЕРЕДОВИЩА ІМПУЛЬСНИХ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

У статті розглянуто підхід до формування необхідної геометрії штучного низькотемпературного плазмового середовища імпульсних засобів радіотехніки та телекомунікацій. Встановлено залежність енергетичних параметрів від тиску газу та кількості електродів у тліючому розряді, як інертних, так і молекулярних газів. Для будь-якого варіанта конструкції плазмового пристрою, матеріалу катода та роду газу, визначено граничний тиск формування низькотемпературного плазмового середовища засобів телекомунікацій.

***Ключові слова*:** засоби телекомунікацій, розрядний проміжок, інтенсивність випромінювання, граничний тиск, геометрія плазмового середовища

Shefer O. V. The problem of plasma's environment geometry of pulsed media telecommunications formation. In article the approach of the required geometry of artificial low-temperature plasma environment of impulse radio and telecommunications formation is considered. Parameters of current and tension depending on pressure of gas and quantity of electrodes in smoldering category, both in inert, and in molecular gases are set. For any option of plasma device design, material of the cathode and a sort of gas, the extreme pressure of the low-temperature plasma environment of means of telecommunications formation is determined. It is defined that with increasing degree of discharge conditions complexity, the diameter of plasma environment is reduced. It is connected with the worsened conditions of ionization and excitement of neutral gas particles, due to the proximity of the anode to the cathode.

The using of plasma environment around the SC slot-hole antenna with a certain geometry is offered. The generated artificial plasma, interacting with an external plasma cover, creates a steady window of telemetry that could provide a reliable communication with SC during the passage of atmosphere dense layers.

***Keywords*:** the ways of telecommunication, the discharge gap, the intensity of radiation pressure, geometry of the plasma environment

Вступ. Розвиток сучасних засобів телекомунікацій та навігації, котрі працюють в імпульсному режимі на борту космічного апарату (КА), вимагає розробки та впровадження джерел випромінювання низькотемпературної плазми зі стабільними експлуатаційними параметрами.

Надзвичайна увага приділяється надійності роботи радіотехнічних пристроїв у режимі виведення КА на орбіту, що дозволяє використовувати плазмове середовище зі стабільними параметрами в різних приладах телекомунікацій і системах навігації [1, 2].

Метою дослідження є формування необхідної геометрії плазмового середовища та енергетичних параметрів, у залежності від тиску газу, а також кількості електродів у тліючому розряді засобів телекомунікацій та навігації.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести дослідження в інертних та молекулярних газах, при зміні кількості електродів та наближеному до експлуатаційного інтервалі зміни тиску.

Залежність режиму розряду від тиску газу Незважаючи на те, що дослідження розряду з плазмою загального випромінювання проводилось у невеликому інтервалі тиску газу [3], котрим наповнена розрядна камера, зміни тиску були суттєвими та помітними.

© *Шефер О. В., 2017*

Зміна тиску вплинула на діаметр плазми загального випромінювання та інтенсивність. Напруга горіння U та розрядний струм також значно змінювались зі зміною тиску газу. На рис.1 представлена залежність напруги горіння розряду U від тиску $U = \varphi(p)$ за умови постійного розрядного струму $I = 5 \cdot 10^{-3}$А в атмосфері аргону.

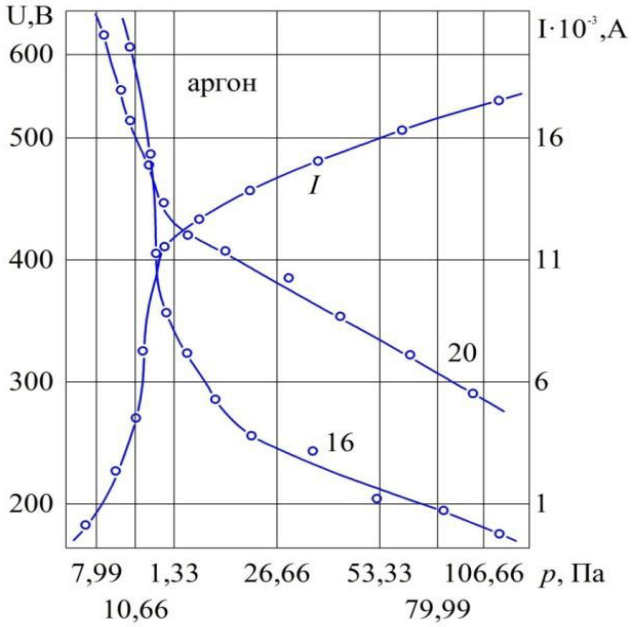


Рис. 1. Залежність напруги горіння U та струму I в локалізованому розряді, від тиску аргону, коли $U = \varphi(p)$, якщо $I = const$; $I = f(p)$, якщо $U = const$, а також $16 - U = \varphi(p)$ при 16 електродах та $20 - U = \varphi(p)$ при 20 електродах

У відповідності з рис. 1, видно, що зі зростанням тиску напруга різко падає. Особливо суттєве зниження U відбувається в діапазоні 2,67 – 26,7 Па, після чого напруга на розряді падає слабше. Представлена залежність напруги горіння від тиску, за того ж струму в розрядному проміжку, із великим числом електродів ($N = 20$) дозволяє встановити, що зі збільшенням числа електродів N залежність $U = \varphi(p)$ переходить в область більших напруг. Такий перехід обумовлений зростанням ускладнених умов у розрядному проміжку [3].

На рис.1 представлена, також, залежність $I = f(p)$, коли напруга не змінна ($U = 600\ B$). Видно, що зі зростанням тиску аргону струм різко зростає там, де напруга різко падає. При подальшому зростанні тиску зростання струму відбувається меншим темпом.

Безпосередньо піддаючи плазму загального випромінювання зондовим дослідження [4], встановлено, що коли p =7,99 Па стовп плазми загального випромінювання має діаметр не більше 10 мм. Зі зростанням тиску зростає інтенсивність випромінювання і діаметр стовпа збільшується до 60 % діаметра розрядного проміжку.

В молекулярних газах дана залежність протікає аналогічно. Різниця є лиш у тому, що залежність $U = \varphi(p)$ спостерігається за більш високих напруг та більш високому інтервалі тиску [5].

Наочно та більш конкретно залежність $U = \varphi(p)$ представлена на рис. 2, де показана залежність напруги горіння від тиску аргону та неону.

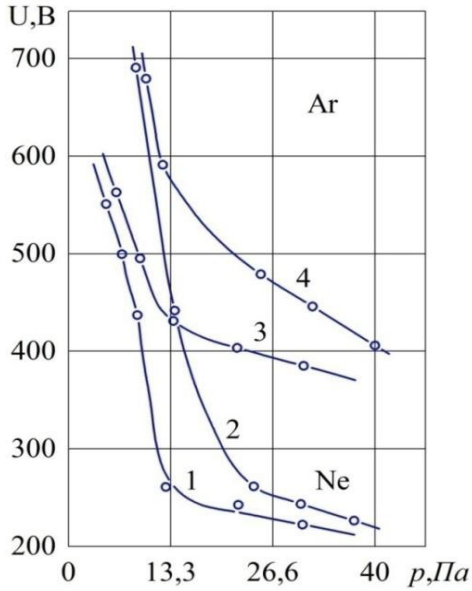


Рис. 2. Залежність напруги горіння, в локалізованому розряді від тиску $U = \varphi(p)$ та числа N стрижневих електродів в аргоні та неоні: 1 – в Ar, коли $N = 16$; 2 – у Ne, коли $N = 16$; 3 – в Ar коли N = 20; 4 – у Ne, коли $N = 20$

Характерно, що в аргоні при збільшенні тиску до 13,33 Па спостерігається різке падіння напруги, приблизно від 700 до 360 В, після чого падіння напруги відбувається значно повільніше. Те ж саме спостерігається в неоні, тільки тут критичною точкою є тиск 18,66 Па.

На рис. 2 представлена, також, залежність напруги горіння від числа електродів N у локалізованому пристрої (криві 1 та 3 в аргоні, 2 і 4 у неоні). Зі збільшенням числа електродів із 16 до 20, напруга горіння спочатку зростає приблизно на 200 В.

Отже, на режим локалізованого розряду суттєво впливає, як тиск робочого газу, так і число електродів розрядного проміжку. Такого ж впливу можна досягнути, коли змінювати не число електродів, а діаметр розрядного проміжку. Зі зменшенням діаметра розрядного проміжку досягається той же ефект, що зі збільшенням числа стрижневих електродів.

Під час збільшення ступеня ускладненості умов у локалізованому розряді, діаметр плазми, як свідчить експеримент, зменшується. Це обумовлено тим, що умови іонізації та збудження нейтральних частинок газу погіршуються, коли наближати анод до катода.

Для будь-якого варіанта конструкції пристрою (радіуса R та кількості електродів N), матеріалу катода та роду газу, тиск газу буде визначатися виразом

$$p = \frac{N d_0 p_0}{8\pi R}. \qquad (1)$$

Зазначимо, що тиск, котрий визначає рівняння (1) не є граничним, за якого існує плазма загального випромінювання. В цьому рівнянні $d_0 p_0$ – товщина темного круксового простору нормального тліючого розряду, котра є частиною міжелектродної відстані $l_0 p_0$. Експериментальні дослідження однозначно свідчать, що утворення плазми загального випромінювання відбувається також тоді, коли ступінь ускладнення складає лише $k = 1{,}1$, тобто відношення $\frac{l_0 p_0}{lp} = 1{,}1$.

Як результат, граничний тиск можна визначити так:

$$p = \frac{N l_0 p_0}{1{,}1\pi D} \qquad (2)$$

де $l_0 p_0 = d_0 p_0 + L p_0$ (L – протяжність від'ємного випромінювання).

У залежності від діаметра розрядного пристрою D, числа стрижневих електродів N та комбінації роду газу, а також матеріалу катода $l_0 p_0$, можна визначити, за якого найбільшого тиску робочого газу p може існувати в локалізованому розряді плазма загального випромінювання. З метою уточнення формули (2) була експериментально досліджена серія локалізованих пристроїв із однаковим діаметром D, але з різним числом електродів N; інша серія з одним і тим же числом електродів N, але з різними діаметрами. В розрядних пристроях із однаковим діаметром $D = 4{,}6 - 10^{-2}$м, наповнених неоном, у залежності від числа стрижневих електродів із заліза, була отримана локалізована плазма за граничних тисків неону $p_{\text{гран}}$, котрі представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Локалізована плазма залежна від числа електродів та граничних тисків

Діаметр пристрою $D \cdot 10^{-2}$, м	Число електродів N	Граничний тиск $p_{\text{гран}}$, Па	
		за (2)	експериментальний
4,6	12	177,32	187,98
4,6	16	245,31	257,31
4,6	20	306,64	325,31
4,6	24	369,3	379,97

Залежність значення граничного тиску неону $p_{\text{гран}}$, коли ще створюється плазма загального випромінювання в локалізованому розряді, від діаметра розрядного пристрою D при постійному числі стрижневих електродів $N = 16$ представлена в табл. 2.

За даними табл. 1 та 2 видно, що експериментальний граничний тиск робочого газу $p_{\text{гран}}$ у пристрої відрізняється від розрахункового не більше ніж, на 10 %.

Таблиця 2

Залежність граничного тиску від діаметра розрядного пристрою при постійному числі електродів

Діаметр пристрою $D \cdot 10^{-2}$, м	Число електродів N	Граничний тиск $p_{\text{гран}}$, Па	
		за (2)	експериментальний
7,6	16	154,65	161,32
4,6	16	245,31	258,64
3,2	16	353,3	375,97
2,6	16	434,63	473,29

За найбільшого числа електродів $N = 24$ та найменшого діаметру $D = 2{,}6 \cdot 10^{-2}$ м, із усіх пристроїв, що досліджувались, найбільший граничний тиск неону за виразом (2) становить $p_{\text{гран}}$ =652 Па. Під час переходу в аномальний режим локалізованого розряду $p_{\text{гран}}$ має ще більше значення, оскільки протяжність плазми від'ємного випромінювання L зі зростанням аномальності розряду зростає. Коли тиск робочого газу $p \le p_{\text{гран}}$ уся площа випромінювання плазмового стовпа має однорідну яскравість світіння (рис. 3).

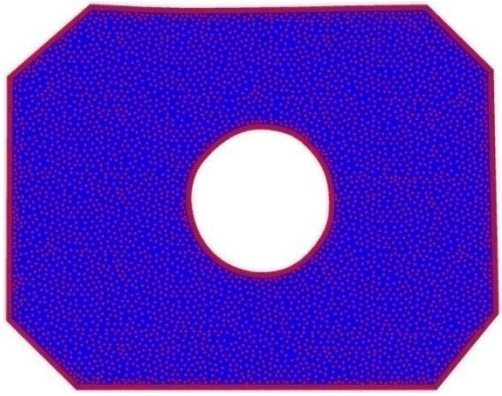


Рис. 3. Поперечний переріз плазми у неоні, коли $p \leq 650,37$ Па

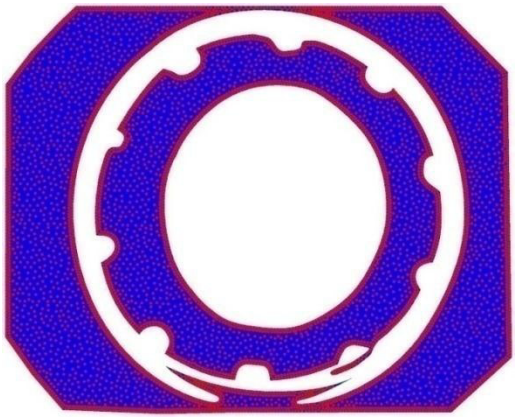


Рис. 4. Переріз плазми у неоні за умови, що $650,37 \leq p \leq 1090,6$ Па

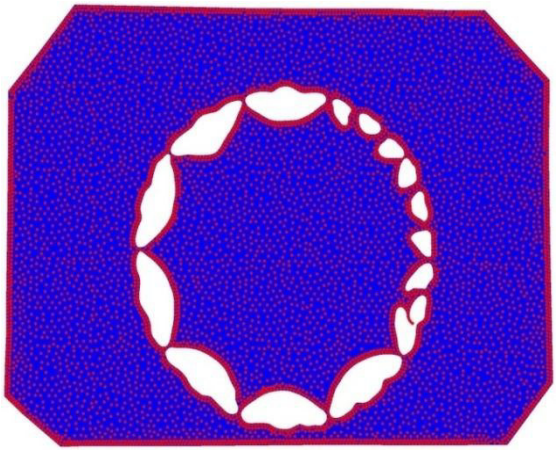


Рис. 5. Випромінювання плазмового стовпа, у випадку якщо $p > 1090,6$ Па

Вольт-амперна характеристика локалізованого розряду з локалізованою плазмою, коли $p \leq p_{\text{гран}}$ відповідає кривій 1 на рис. 6.

Коли тиск робочого газу $p \leq p_{\text{гран}} \leq 1093,2$ Па неону, в пристрої із $D = 4,6 - 10^{-2}$м та $N = 16$, діаметр плазмового стовпа значно збільшується, а яскравість випромінювання зростає до яскравості розряду з порожнистим катодом (рис. 5). У цьому випадку вольт-амперна характеристика локалізованого розряду не суттєво змінює нахил в області великих розрядних струмів, за умови невеликого збільшення напруги горіння (рис. 6, крива 2).

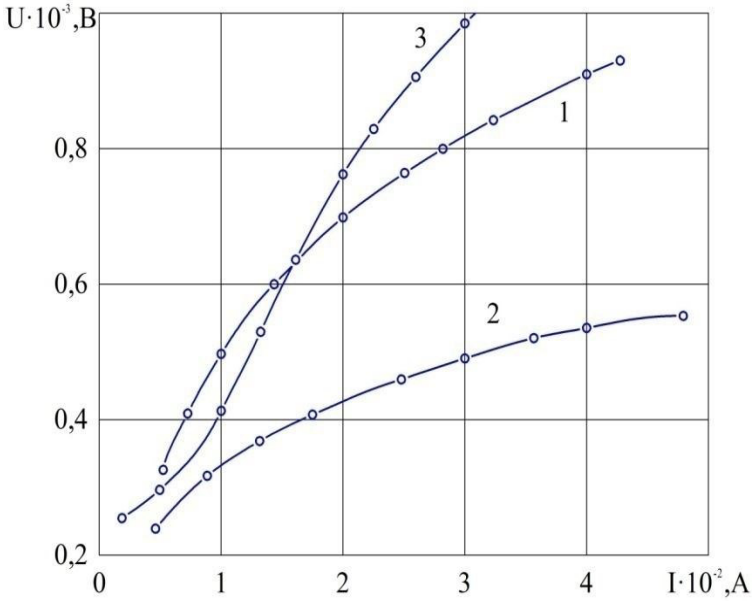


Рис. 6. Вольт-амперні характеристики локалізованого розряду за різних тисків у неоні: $1 - p_1 = 650{,}37$ Па; $2 - p_2 = 824{,}6$ Па; $3 - p_3 = 1103{,}9$ Па

Тут плазма наближається до електродної системи, фарадеєвий простір майже відсутній і злиття сусідніх від'ємних випромінювань відбувається подібно до ефекту порожнистого катоду. Внаслідок цього суттєво зростає розрядний струм та інтенсивність випромінювання плазми локалізованого розряду.

За умови, що $p >$ 1093,2 Па неону плазма загального світіння розпадається на окремі випромінювання, котрі локалізуються біля кожного стрижневого катода (рис. 5). Вольт-амперна характеристика вертається майже до первинної позиції, тобто вона знову має крутий підйом в області великих напруг (крива 3 на рис.6.)

Отже, розряд у залежності від тиску газу має три форми:

– розряд із локалізованою плазмою;

– розряд із локалізованою плазмою та ефектом порожнистого катода.;

– розряд із локалізованим від'ємним випромінюванням.

Для створення завадостійкого середовища пропонується імпульсно генерувати штучну плазму в середині КА. Таке плазмове середовище створюється навколо щільової антени КА. Низькотемпературна імпульсна плазма взаємодіє із зовнішньою плазмовою оболонкою, створюючи «вікно» для радіозв'язку.

У даній роботі пропонується використовувати геометрію плазмового середовище, подібну до рис. 3 та 4, для забезпечення надійного зв'язку КА при його пуску та проходженні щільних шарів атмосфери.

Висновки У рамках статті розглянуто підхід до формування необхідної геометрії низькотемпературної плазми імпульсних засобів радіотехніки та телекомунікацій. У результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Встановлена залежність енергетичних параметрів від тиску газу та кількості електродів у тліючому розряді в інертних та молекулярних газах. Визначено граничний тиск формування плазми засобів телекомунікацій, для будь-якої конструкції, матеріалу катода та роду газу.

Запропоновано використовувати плазмове середовище навколо щільової антени КА із певною геометрію, що забезпечить надійний зв'язок із КА при проходженні щільних шарів атмосфери.

Список використаної літератури

1. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы / В. А. Чердынцев. – Минск.: Вышэйшая школа, 1988. – 369 с.

2. Козелков С. В. Шляхи підвищення завадостійкості в радіомережі передачі інформації. / С. В. Козелков, Д. П. Пашков, М. В. Коробчинський // Системи озброєння і військова техніка, 2005. – № 2(2). – С. 32-35.

3. Smirnov B. M. Theory of Gas Discharge / B. M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – 423 p.

4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. – М:. Интеллект, 2009. – 736 с.

5. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В. Л. Грановский. – М: Наука, 1971, – 543 с.

References

1. Cherdyintsev V.A. Radio technical systems / V. A. Cherdyintsev. – Minsk.: High school, 1988. – 369 p.

2. Kozelkov S. V. The ways of noise immune in radio network's information transmission increase / S. V. Kozelkov, D. P. Pashkov, M. V. Korobchinskiy // Weapons systems and military equipment, 2005. – # 2(2). – PP. 32-35.

3. Smirnov B. M. Theory of Gas Discharge / B. M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – 423 p.

4. Rayzer Yu. P. Gas discharge physics / Yu. P. Rayzer. – M:. Intellekt, 2009. – 736 p.

5. Granovskiy V. L. Electric current in gas. Steady current / V. L. Granovskiy. – M: Nauka, 1971, – 543 p.

Автор статті

Шефер Олександр Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та електропривода, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Тел.: +38 (050) 183 83 03. E-mail: avs075@ukr.net

Author of the article

Shefer Oleksandr Vitaliiovych – candidate of sciences (technical), associate professor of automation and electric drive department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: +380 (50) 183 83 03. E-mail: avs075@ukr.net

Дата надходження в редакцію: 15.03.2017 р.

Рецензент: доктор технічних наук, професор С. В. Козелков
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 004.93'12

Бабійчук А. А., **Сирота О. П.** *Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІЗУАЛЬНОГО ВІДСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Досліджуються алгоритми візуального відстеження об'єктів із застосуванням нерозрідженого кодування. Експериментальні дані показали, що використання нерозрідженого кодування дещо зменшує точність відстеження, однак, дає значний приріст в швидкодії, що має кращі перспективи для застосування в системах реального часу. Зроблено висновки щодо напрямку майбутніх досліджень та обрано модель, яка буде базою для подальшого вдосконалення системах відстеження реального часу.

***Ключові слова*:**машинне навчання, візуальне відстеження, система реального часу, розріджене кодування, нерозріджене кодування.

Babiichuk A. A., Syrota O. P. **Object visual tracking methods analysis for usage in real time systems**. . For several years the sparse coding model has been widely used for visual tracking. This model has good accuracy, but low speed. The focus on adaptation/development of visual tracking algorithms that can be applied in real-time systems will significantly expand the application area, it will allow the introduction of visual tracking in production, in recommendations systems that can immediately react to certain actions, autopilots, smart machines and other areas. In this paper several popular algorithms based on sparse coding were selected, and an experimental analysis of their speed and tracking quality was carried out. Also one of the algorithms, which showed the highest accuracy, was modified using of non-sparse coding. Experimental results showed that using of non-sparse coding slightly reduces the accuracy of tracking, however, it gives a significant improvement in speed. Based on this article, conclusions were drawn regarding the direction of future research, and model was selected that would be the basis for further improvement for real-time systems.

***Keywords*:** machine learning, visual tracking, real-time system, sparse coding, non-sparse coding.

1. Вступ. Розпізнавання та відстеження об'єктів — один з напрямів машинного навчання, задачею якого є визначення розташування рухомого об'єкта чи об'єктів на відео в певний проміжок часу. Алгоритм аналізує кадри відео і визначає положення рухомих цільових об'єктів відносно фону. Даний напрям розвивається вже понад 30 років, однак все ще залишається актуальною проблемою для дослідження, через низку невирішених проблем як точності розпізнавання, так і швидкості роботи алгоритмів.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день візуальне відстеження об'єктів на відео має переважно наукове дослідницьке застосування та для різного роду спостережень. Застосування відстеження в системах реального часу дозволить значно розширити сферу застосування, зокрема дозволить впроваджувати його на виробництві, в рекомендаційних системах, які одразу можуть реагувати на певні дії, в автопілотах, розумних машинах та інших сферах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найпопулярніших моделей для візуального відстеження об'єктів є модель розрідженого кодування. Після значного успіху у сфері розпізнавання обличь [3], Мей, Лінг та ін. перші пропонують розглядати візуальне відстеження як проблему розрідженого кодування [12]. На основі їх роботи було розроблено значна кількість алгоритмів L1 [12], T2CL1 [8], OT2CL1 [9], SCM [11], які будуть розглядатись в даній роботі. Ці алгоритми можуть показувати досить високу точність відстеження, але все ще мають високу складність обчислень та мають недостатню швидкодію для роботи в режимі реального часу.

Однак, в останні роки деякі дослідники в [6, 7]пропонують використання протилежної моделі, нерозрідженого кодування, для задачі розпізнавання обличь, яка показує значно кращу швидкість роботи. На основі їх дослідження є підстави вважати, що дану модель можна також застосувати і для задачі візуального відстеження. Тому в даній статті буде модифіковано алгоритм SCM, на основі робіт [7-6] та досліджень описаних в [10]. Назвемо модифікований алгоритм SCM2.

© *Бабійчук А. А., Сирота О. П., 2017*

Крім цього в [10] та [15], надається порівняння точності роботи алгоритмів для візуального відстеження. На основі даних робіт було обрано для порівняння алгоритми, що показали кращі результати точності.

Невирішені проблеми. Популярна модель розрідженого кодування має досить гарні показники точності, однак не дуже високу швидкість роботи. Альтернативна модель нерозрідженого кодування, яка була застосована для задачі розпізнавання обличь показала досить хорошу швидкість роботи і непогану точність. Однак на сьогоднішній день ця модель не застосовується для вирішення задач візуального відстеження. Таким чином не можна судити про доцільність її застосування для візуального відстеження.

Також в розглянутих джерелах не приділяється достатньої уваги питанню швидкості алгоритмів, таким чином не можна зробити висновки щодо можливості використання алгоритмів в системах реального часу.

Мета та задачі дослідження. Проаналізувати продуктивність наявних методів відстеження об'єктів для роботи в режимі реального часу. Порівняти моделі розрідженого та нерозрідженого кодування для вирішення даних задач. Провести експериментальний аналіз швидкодії алгоритмів. На базі дослідження вибрати модель яка буде базою для подальшого вдосконалення, для роботи в системах реального часу.

Отже, в даній роботі буде перевірено експериментальним шляхом продуктивність алгоритмів L1 [12], T2CL1 [8], OT2CL1 [9], SCM [11], SCM2, а також перевірено точність їх роботи. На основі результатів, зроблено висновки, щодо застосування цих алгоритмів для систем реального часу.

2. Моделі візуального відстеження

2.1. Модель розрідженого кодування. Нехай $X \in R^D$– це вектор, отриманий в результаті перетворення пікселів матриці зображення у вектор, тобто всі рядки послідовно конкатинуються. D — це розмірність вектору вхідного зображення.

Розріджене кодування представляє вектор X як лінійну комбінацію набору базисних векторів $V = [v_1 ... v_k] \in R^{D \times K}$ та векторів коефіцієнтів $U = [u_1 ... u_k]^T \in R^K$. Набір базисних векторів V називають словником, а кожний базисний вектор — атомом. Варто звернути увагу, що словник описує як цільові зображення, так і фононові (нерухомі). D — це розширення базисного вектору, K — кількість базисних векторів. Нехай $n \in R^D$– це шум. Тоді з урахуванням шуму вхідне зображення можна описати за допомогою розрідженого представлення наступним чином:

$$\mathrm{X} = \sum_{k=1}^{K} u_k v_k + n. \quad (1)$$

За умови, що словник визначений (певними початковими значеннями), коефіцієнти можна обчислити за наступним рівнянням:

$$u = \arg\min(U) \, ||X - VU||_2^2 \, , \quad (2)$$

а рішення, відповідно, буде:

$$u = (V^T V)^{-1} V^T X \, . \quad (3)$$

Враховуючи, що базисні вектори розріджені, тобто більшість елементів нулі, вектор коефіцієнтів може бути отримано шляхом рішення задачі мінімізації першої норми наступним чином:

$$u = \arg\min(U) \frac{1}{2} ||X - VU||_2^2 + \lambda ||U||_1 \, , \quad (4)$$

де λ (множник Лагранжа) — регулюючий параметр, який знаходить баланс між помилкою перетворення та вагою коефіцієнтів.

Після того, як отримано коефіцієнти U, потрібно навчити словник V на основі набору природних зображень X так, щоб будь-яке зображення x_i може бути розріджено представлене отриманим словником. Нехай U матриця, що складається з коефіцієнтів векторів всіх тренувальних образів. Тоді словник V може бути вивчено шляхом вирішення наступного завдання оптимізації:

$$\min(U, V) \sum_{i=1}^{N} ||x_i - V u_i||_2^2 + \lambda ||u_i||_1 \, . \quad (5)$$

Таким чином процес розрідженого кодування відбувається у два кроки, що чергуються: 1) після призначення словнику початкових значень обчислюються коефіцієнти за (4); 2) потім використовуючи ці коефіцієнти навчається словник V за (5). І так повторюється поки не буде отримано оптимальний результат.

Розглянемо складність алгоритмів даної моделі. Основна вартість обчислень припадає на вирішення задачі мінімізації першої норми. При чому значний вплив на продуктивність має як обчислення кожної мінімізації окремо так велика кількість ітерацій мінімізації. Обчислювальна складність кожної мінімізації першої норми складає $O(D^2K^{3/2})$, де D розмірність кожного базисного вектору, а K – кількість базисних векторів.

Нехай N – кількість обчислень мінімізації першої норми. Таким чином, обчислювальна складність алгоритму буде рівна $O(ND^2K^{3/2})$. Для алгоритму L1 значення N буде рівне кількості цільових кандидатів, в даній статті це значення – 600. Для T2CL1 та OT2CL1 значення N, це число цільових показників, N=1. Для SCM N – це число частин зображень з цільового шаблону, тут 720.

2.2. Модель нерозрідженого кодування. В цьому методі ми працюємо з тими ж даними, що і в розрідженому кодуванні $X \in R^D$, $V = [v_1 \ldots v_k] \in R^{D\times K}$, $U = [u_1 \ldots u_k]^T \in R^{D\times K}$. Однак для зменшення обчислювальної вартості в словнику не використовуються шаблони фону, а лише цільові шаблони. Коефіцієнти так само обчислюються на основі (2). А рішення, відповідно можна обчислити за (3).

Однак, в даному випадку базисні вектори не розріджені, а отже може існувати лінійна залежність між двома або більше стовпців V, що приводить до значного зменшення точності МНК. Стовпці в цьому випадку називаються мульти-колінеарні. Отримана лінійна система, стає погано обумовлена і не дає нам отримати точний розв'язок системи. За таких умов рішення може бути отримано через мінімізацію другої норми.

$$u = \arg\min(U)\frac{1}{2}||X - VU||_2^2 + \lambda||U||_2 . \quad (6)$$

Процес навчання словника і визначення коефіцієнтів відбувається подібно як і в методі розрідженого кодування. Однак варто виділити такі основні відмінності між цими двома методами:

– використання меншої кількості шаблонів в словнику, оскільки в нерозрідженому методі не використовуються шаблони фону, яких, як правило значно більше;

– використання мінімізації другої норми замість першої.

3. Перевірка продуктивності

Алгоритми. Для перевірки продуктивності було використано наступні алгоритми: L1 [12], T2CL1 [8] та OT2CL1 [9], SCM [11] та модифікований алгоритм SCM2, з використанням мінімізації другої норми та нерозрідженого кодування. В даному експерименті було використано вихідні коди авторів даних алгоритмів, однак для справедливого порівняння було змінено деякі параметри, таким чином як в [12]: фіксований розмір частинок 32×32; кількість частинок 600; розміри словників: цільового – 50 та фонового – 200 (лише для алгоритмів з мінімізацією першої норми); λ дорівнює 0.01.

Слід зазначити, що, хоча було використано вихідні коди авторів, не вдалось точно відтворити результати отримані в їхніх роботах, зокрема через різні параметри та тестові вибірки.

Дані. Експерименти проводилися таких загальнодоступних відео-фрагментах, які включають: авто*, обличчя, птахи, мистецтво, улюбленці.* Дані відеофрагменти можна знайти за посиланнями:

http://www.cs.technion.ac.il/~amita/fragtrack/fragtrack.htm,http://groups.inf.ed.ac.uk/vision/CAVIAR/CAVIARDATA1/ ;

http://www.cvg.rdg.ac.uk/PETS2001/ .

Використовувались фрагменти різного розширення, з різних сцен та з різними умовами розпізнавання. Розширення та цільові розміри приведено в таблиці 1.

Розширення фрагментів Таблиця 1

Назва фрагменту	**Розширення**	**Розширення цільового об'єкту**
Обличчя	320×240	98×82
Авто	360×240	88×104
Птах	720×400	37×31
Мистецтво	320×240	79×61
Улюбленці	79×24	768×576

Оцінка точності. Для порівняння точності було використано один з основних критеріїв, а саме помилка розташування центру (ПРЦ). ПРЦ розраховувалася як відстань у пікселях між передбаченим положенням центру і реальним положенням центру. Дані наведено в Таблиці 2.

Порівняння точності алгоритмів на основі оцінки ПРЦ Таблиця 2

Фрагмент	L1	T2CL1	OT2CL1	SCM	SCM2
Обличчя	30.62	27.0	4.89	7.13	7.40
Авто	88.11	22.23	21.41	1.67	1.70
Птах	161.26	84.50	140.70	46.77	47.02
Мистецтво	251.38	27.50	1.19	1.42	5.99
Улюбленці	58.01	2.33	2.3286	2.31	6.15

Оцінка продуктивності. Для перевірки використовувався комп'ютер з наступними характеристиками: процесор: 2,6 GHz Intel Core i5 та оперативна пам'ять: 8 ГБ 1600 MHz DDR3. Було обрано параметри комп'ютера вказаної потужності, так як для застосування візуального відстеження на промисловому рівні, варто орієнтуватись на пристрої середньої потужності. Результати будуть порівнюватись в кадрах за секунду. Дані наведено в Таблиці 3.

Порівняння продуктивності алгоритмів (сек/кадр) Таблиця 3

Фрагмент	L1	T2CL1	OT2CL1	SCM	SCM2
Обличчя	5.16	0.90	1.00	5.11	0.22
Авто	4.1	0.84	0.88	3.87	0.08
Птах	7.02	1.14	1.21	6.18	0.31
Мистецтво	7.99	1.17	1.23	6.22	0.29
Улюбленці	5.12	0.89	0.97	4.59	0.10

Оцінка продуктивності в системах реального часу. Система реального часу (СРЧ) – це така система, яка має реагувати на зміни у зовнішньому по відношенню до системи середовищі та миттєво (для сприйняття людини) видавати результат. Якщо розглядати СРЧ в контексті вирішення задач обробки відео, то маємо наступне. Більшість систем які працюють з відео мають швидкість 60 кадрів в секунду, тому оптимальна швидкість роботи з відео має бути 0.017 сек/кадр. Однак, для людини достатньою є швидкість 24 кадри в секунду, тому можна допустити меншу швидкість обробки, при цьому не помітно для людського ока, а саме 30 кадрів в секунду. Отже, маємо 0.033 сек для обробки 1 кадру.

Порівняння результатів. Спершу розглянемо алгоритми на основі розрідженого кодування. Що до точності відстеження L1 має найгірші показники, так як це перший алгоритм на даній моделі, такі результати очікувані. Найкращу точність на більшості вибірках показує алгоритм SCM. Порівнюючи швидкість роботи, алгоритми T2CL1 та OT2CL1 мають значно кращі показники продуктивності ніж L1 та SCM. Однак навіть при цьому витрачають трохи менше секунди для обробки 1 кадру, тоді як для роботи в режимі реального часу необхідно 0.033 секунди. Застосування цих алгоритмів в системах реального часу потребує значного покращення продуктивності, однак на сьогоднішній день, результати далекі від бажаних.

При використанні мінімізації другої форми та нерозрідженого кодування можна отримати значне покращення продуктивності, до 0.08 сек/кадр на наших тестових даних. Такий результат є досить близьким до бажаного. Таким чином можна відзначити ефективність застосування нерозрідженого кодування та мінімізації другої норми при відстеженні об’єктів. Щодо точності відстеження,то *SCM2* показав дещо гірші показники на фрагментах улюбленці та мистецтво. Проте, на решті фрагментах, отримано точність близьку до тієї, яку дають методи розрідженого кодування. Що вказує на те, що мінімізація першої норми, що використовується в більшості сучасних алгоритмів може бути замінені мінімізацію другої норми, а розріджене кодування, нерозрідженим.

На основі цих результатів перспективним видається використання моделі нерозрідженого кодування з мінімізацією другої норми. Хоч точність дещо гірша, вона не значно поступається точності розрідженого кодування.

4. Висновки

На основі порівняння точності та продуктивності алгоритмів *L1*, *T2CL1*, *OT2CL1*,*SCM* та *SCM2* найбільш перспективним для нашої задачі є алгоритм *SCM2*, проте необхідно далі працювати над зменшенням похибки алгоритму та зменшенням його складності.

На основі результатів даної статті визначений наступний напрямок майбутніх досліджень – це модифікація алгоритмів на основі модель нерозрідженого кодування з мінімізацією другої норми.

Список використаної літератури. References

1. Arnold W M Smeulders, Senior Member, Dung M Chu, Student Member, Rita Cucchiara, and Simone Calderara. Visual Tracking : An Experimental Survey. 36(7): 1442–1468, 2014.

2. C. Bao, Y. Wu, H. Ling, H. Ji, Real time robust l1 tracker using accelerated proximal gradient approach, Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2012, pp. 1830–1837

3. John Wright, Allen Y. Yang, Arvind Ganesh, S. Shankar Sastry, and Yi Ma. Robust face recognition via sparse representation. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.,31(2):210–227, February 2009. ISSN 0162-8828. doi: 10.1109/TPAMI.2008.79. URL http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2008.79.

4. K. Yu, Y. Lin, J. Lafferty, Learning image representations from the pixel level via hierarchical sparse coding, in: Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011, pp. 1713–1720.

5. K. Zhang, L. Zhang, M. Yang, Real-time compressive tracking, European Conference on Computer Vision, in: Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision, 2012, pp. 864–877

6. Q. Shi, A. Eriksson, A. Hengel, C. Shen, Is face recognition really a compressive sensing problem, in: Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011, pp. 553–560.

7. R. Rigamonti, M. Brown, V. Lepetit, Are sparse representations really relevant for image classification, in: Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011, pp. 1545–1552.

8. S. Zhang, H. Yao, X. Sun, S. Liu, Robust object tracking based on sparse representation, in: Proceedings of the International Conference on Visual Communications and Image Processing, pp. 77441N-1-8, 2010.

9. S. Zhang, H. Yao, H. Zhou, X. Sun, S. Liu, Robust visual tracking based on online learning sparse representation, Neurocomputing 100 (2013) 31–40.

10. Shengping Zhang, Hongxun Yao n , Xin Sun, Xiusheng Lu, Sparse coding based visual tracking: Review and experimental comparison, Pattern Recognition 46 (2013) 1772–1788

11. W. Zhong, H. Lu, M. Yang, Robust object tracking via sparsity-based collaborative model, in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2012, pp. 1838–1845.

12. X. Mei and H. Ling. Robust visual tracking using L1 minimization. Proceedings of the 12th International Conference on Computer Vision, pages 1436–1443, 2009.

13. X. Yuan, S. Yan, Visual classification with multi-task joint sparse representation, in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010, pp. 3493–3500

14. Yashar Deldjoo, Reza Ebrahimi Atani. A low-cost infrared-optical head tracking solution for virtual 3d audio environment using the nintendo wii-remote. Entertainment Computing, 12:9–27, 2016.

15. Yashar Deldjoo, Shengping Zhang, Bahman Zanj, Paolo Cremonesi, Matteo Matteucci, Sparse vs. Non-sparse: Which One Is Better for Practical Visual Tracking?, Computer Vision and Pattern Recognition, 2016

16. Zhangjian Ji and Weiqiang Wang. Object tracking based on local dynamic sparse model. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2015.

Автори статті

Бабійчук Андрій Анатолійович – аспірант кафедри технічної кібернетики, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ. Тел. +38 096 1017329. E-mail: babiychukandrey@gmail.com

Сирота Олена Петрівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технічної кібернетики, Національнйи технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ. Тел. +38 067 209 94 74. E-mail: sirotae@gmail.com

Authors of the article

Babiichuk Andrii Anatoliiovych – PhD student of technical cybernetics department, National Technical University of Ukraine ”Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv. Tel.: +380 (96) 101 73 29. E-mail: babiychukandrey@gmail.com

Syrota Olena Petrivna – candidate of science (technical), senior lecturer of technical cybernetics department, National Technical University of Ukraine ”Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv. Tel.: +380 (67) 209 94 74. E-mail: sirotae@gmail.com

Дата надходження в редакцію: 27.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ

УДК 629.78

[1]Кириченко В. О., [2]Трофименко І. В., [2]Шапран Ю. Є.

[1]*Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості»*

[2]*Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного*

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ

Вирішується актуальне наукове-технічного завдання удосконалення існуючих та розробленню нових моделей та методів інтелектуалізації експлуатації суден в критичних умовах. Принцип роботи інтелектуалізованої системи судна полягає у виборі оптимальних дій по управлінню судном при зміні курсу в нештатній ситуації, яка пов'язана з відмовами в підсистемах системи управління або з зовнішніми факторами. Наведено загальний алгоритм рішення задачі інтелектуалізації системи експлуатації судна.

Ключові слова: метод, інтелектуалізація, експлуатація суден, критичні умови, алгоритм

Kyrychenko V. O., Trofymenko I. V., Shapran Y. E. A method of increasing the efficiency of means of transport on the basis of automation of processes. This scientific article is devoted to solving actual scientific-technical task in the improvement of existing and development of new models and methods of intellectualization of the operation of ships in critical conditions. Today's innovative direction is the implementation of intelligent transport systems, which combine computer systems, telecommunications, information technology, mathematics and software. The principle of operation intellectual the system of the ships is to select the optimal action for the management of a ship at the rate contingencies associated with failures in subsystems of the control system or external factors. Also article provides General algorithm for solving the tasks of intellectualization of the system operation of the ships.

Keywords: method, the intellectualization, the operation of the ships, the critical conditions, algorithm

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок її з важливими науковими чи практичними завданнями

Україна активно включається у світові суспільно-економічні процеси: приєдналася до Світової організації торгівлі, стратегічною метою визнано отримання асоційованого членства у Європейському Союзі. Транспорт, як інфраструктурна галузь, має розвиватися випереджальними темпами з метою сприяння швидкому економічному та соціальному розвитку країни та її участі в міжнародному поділі праці. Очікується, що у 2020 році обсяги перевезення вантажів збільшаться порівняно з 2008 роком на 43,1%, переробка вантажів у державних морських торговельних портах – на 43,2 %, обсяги пасажирських перевезень – на 30,4 %. Перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку економіки вимагає розвитку транспорту на якісно новій основі [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В сучасних умовах транспортна галузь України у цілому задовольняє лише базові потреби економіки та населення у перевезеннях. Рівень безпеки експлуатації, показники якості та ефективності перевезень пасажирів та вантажів, енергоефективності, техногенного навантаження на довкілля не відповідають сучасним вимогам. Особлива увага приділяється саме заходам забезпечення безпеки експлуатації, тобто безпеки руху на транспорті у тому числі морських та річних суден. Порівняльний аналіз аварійності на морському та річному флоті свідчить про позитивну тенденцію зменшення подібних ситуацій, але це не знижує актуальність наукових досліджень в галузі безпеки експлуатації морських та річних транспортних засобів [1-3].

© *Кириченко В. О., Трофименко І. В., Шапран Ю. Є., 2017*

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

На теперішній час гостро стоїть завдання щодо розроблення методів підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту та їх функціональних систем на основі автоматизації та комп'ютеризації процесів експлуатації. Варто підкреслити те, що сучасним інноваційним напрямком є впровадження інтелектуальних транспортних систем, які поєднують комп'ютерні, телекомунікаційні системи, інформаційні технології, математичне та програмне забезпечення.

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження інтелектуальних транспортних систем свідчить про можливість значного підвищення ефективності та якості експлуатації суден в нештатних ситуаціях. Таким чином, незважаючи на стрімкий розвиток теорії штучного інтелекту взагалі та на транспорті зокрема, актуальним є наукове-технічне завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів інтелектуалізації експлуатації суден в критичних умовах, вирішенню цього завдання і присвячена наукова стаття.

Темою статті є обґрунтування розроблення методу підвищення ефективності експлуатації засобів транспорту на основі автоматизації процесів, як інтелектуалізованої системи судна.

Виклад основного матеріалу дослідження

Оцінку ефективності роботи інтелектуалізованої системи судна розглянемо на прикладі аналізу алгоритму дії рульового високошвидкісного водного транспортного засобу (ВТЗ) (судно типу "Сормовский"). Суть задачі полягає у виборі оптимальних дій по управлінню судном при зміні курсу в нештатній ситуації, яка пов'язана з відмовами в підсистемах системи управління або з зовнішніми факторами.

Першим кроком дослідження є складання алгоритму рішення задачі. Для цього задача була розбита на операції й логічні умови [3-5]. Зміст операцій та логічних умов, а також їхні кількісні характеристики наведені в табл. 1.

Зміст операцій та логічних умов Табл. 1

№ п/п	Опис кроків алгоритму	Позначення	Кількісні характеристики			
			$\tau_{оп}$, с	$D_{оп}$, $с^2$	$p_{оп}$	γ
1	Попередня оцінка положення судна	O_1	0,1	0,1	0,99	-
2	З'ясування змісту нештатної ситуації	O_2	0,3	0,2	0,98	-
3	Логічна умова: необхідно оцінити наявність критичних умов експлуатації	l_1	0,3	0,1	1,0	0,53
4	Оцінка характеристик судна	O_3	0,2	0,3	0,99	-
5	Визначення нових значень: курс, швидкість, час початку змін	O_4	0,8	0,4	0,98	-
6	Логічна умова: необхідно оцінити можливість судна до визначених дій в даної нештатної ситуації	l_2	0,3	0,1	1,0	0,66
7	Оцінка стану ВТЗ	O_5	0,6	0,4	0,98	-
8	Логічна умова: необхідно оцінити час початку змін	l_3	0,3	0,1	1,0	0,41
9	Перевірка часу	O_6	0,3	0,2	0,99	-
10	Перевірка курсу	O_7	0,2	0,1	0,95	-
11	Перевірка швидкості	O_8	0,3	0,2	0,99	-
12	Керуючі дії	O_9	0,6	0,4	1,0	-

Алгоритм рішення задачі, записаний в операторній формі, має такий вигляд: $O_1\, O_2\, l_1\ \uparrow^2\ O_3\, O_4\ \downarrow^1\ l_2\ \uparrow^3\ O_5\ \downarrow^2 l_3\ \uparrow^8\ O_6\, O_7\ \downarrow^3 O_8\, O_9$.

Другим кроком дослідження є складання загального алгоритму рішення задачі, що виглядає в такий спосіб:

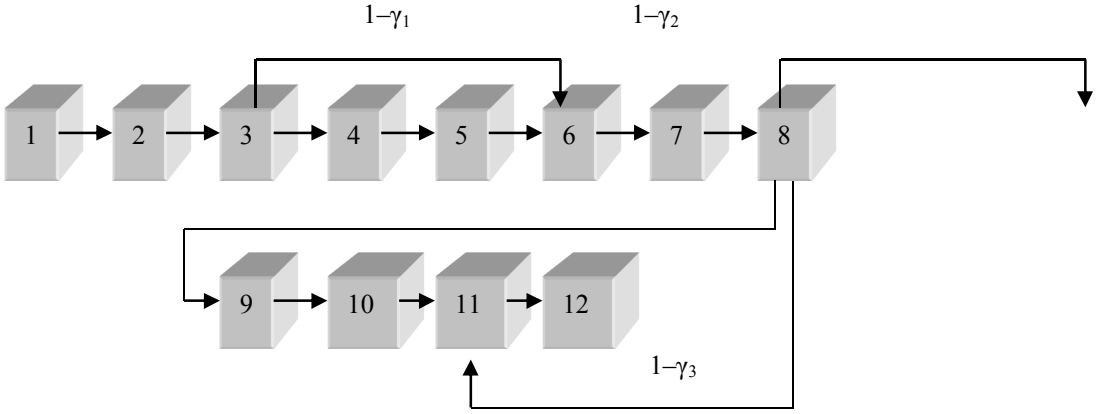


Рис. 1. Алгоритм дії рульового високошвидкісного ВТЗ

Третім кроком дослідження є одержання кількісних характеристик задачі управління джерелами шляхом застосування правил перетворення алгоритму.

1. Об'єднання шляхів без розгалуження (рис. 2).

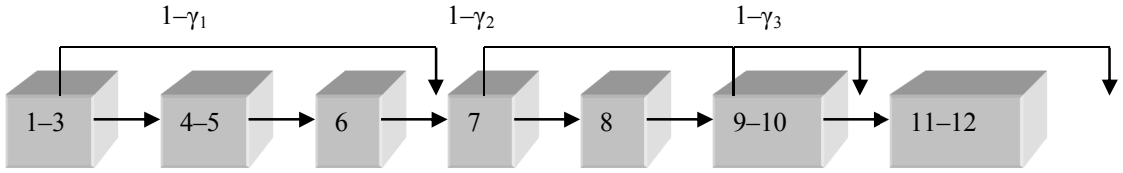


Рис. 2. Об'єднання шляхів без розгалуження

$\tau_{1-3} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$;
$D_{1-3} = D_1 + D_2 + D_3$;
$p_{1-3} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3$;
$\tau_{4-5} = \tau_4 + \tau_5$;
$D_{4-5} = D_4 + D_5$;
$p_{4-5} = p_4 \cdot p_5$;

$\tau_{9-10} = \tau_9 + \tau_{10}$;
$D_{9-10} = D_9 + D_{10}$;
$p_{9-10} = p_9 \cdot p_{10}$;
$\tau_{11-12} = \tau_{11} + \tau_{12}$;
$D_{11-12} = D_{11} + D_{12}$;
$p_{11-12} = p_{11} \cdot p_{12}$.

2. Об'єднання шляхів з розгалуженнями (рис. 3).

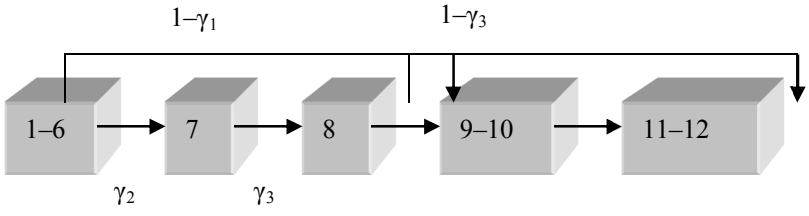


Рис. 3. Об'єднання шляхів з розгалуженнями

$$\tau_{1-6} = \tau_{1-3} + \tau_6 + \gamma_1 \cdot \tau_{4-5};$$

$$D_{1-6} = D_{1-3} + D_6 + \gamma_1 \cdot D_{4-5};$$

$$p_{1-6} = p_{1-3} \cdot p_6 \left[(1-\gamma_1) + \gamma_1 . p_{4-5} \right].$$

3. Об'єднання шляхів з розгалуженнями (рис. 4).

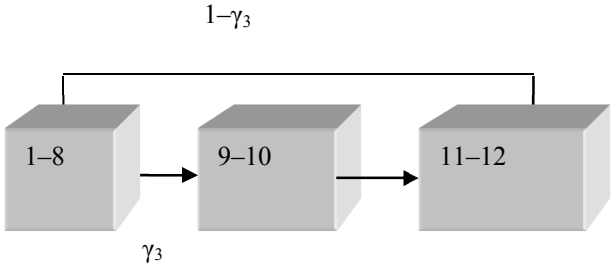


Рис. 4. Об'єднання шляхів з розгалуженнями

$$\tau_{1-8} = \tau_{1-6} + \tau_8 + \gamma_2 \cdot \tau_7;$$

$$D_{1-8} = D_{1-6} + D_8 + \gamma_2 \cdot D_7;$$

$$p_{1-8} = p_{1-6} \cdot p_8 \left[(1-\gamma_2) + \gamma_2 \cdot p_7 \right].$$

4. Об'єднання шляхів з розгалуженнями (рис. 5).

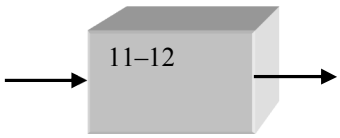


Рис. 5. Об'єднання шляхів з розгалуженнями

$$\tau_{1-12} = \tau_{1-8} + \tau_{11-12} + \gamma_3 \cdot \tau_{9-10} = 2,5\ c;$$

$$D_{1-12} = D_{1-8} + D_{11-12} + \gamma_3 \cdot D_{9-10} = 1,5\ c^2;$$

$$p_{1-12} = p_{1-8} \cdot p_{11-12} \left[(1-\gamma_3) + \gamma_3 \cdot p_{9-10} \right] = 0,91.$$

Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином, задача рульового високошвидкісного ВТЗ при парируванні наслідків нештатної ситуації має наступні характеристики: середній час рішення τ = 2,3 с; середньоквадратичне відхилення часу рішення σ = 0,4 с; ймовірність безпомилкового рішення P = 0,91. Середній час вирішення даної задачі без застосування інтелектуалізованої системи в штатному режимі становить 3,7 с, при середньоквадратичному відхиленні **0,7 с**.

Тобто є зменшення часу на прийняття рішення в період критичних ситуацій до 40%, або, при незмінному часі, – підвищення ймовірності прийняття вірних рішень на 15–20 %.

Список використаної літератури

1. Гаскаров Д. В. Сетевые модели распределенных автоматизированных систем / Д. В. Гаскаров, Е. П. Истомин, О. И. Кутузов. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1998. – 353 с.

2. Герасимов Б. М. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : навчальний посібник / Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, А. Г. Оксиюк, О. В. Поморова. – Київ: Європейський університет, 2007. – 335 с.

3. Герасимов Б. М. Проектування та застосування експертно-навчальних систем: монографія / Б. М. Герасимов, О. Г. Оксіюк, С. О. Шворов. – Київ : Європейський університет, 2008. – 263 с.

4. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – Москва : Мир, 1973. – 280 с.

5. Богом'я В. І. Навігаційне забезпечення управління рухом суден / В. І. Богом'я, В. С. Давидов, В. В. Доронін, Д. П. Пашков, І. В. Тихонов. – Київ : ДВВП «Компас», 2012. – 336 с.

References

1. Gaskarov D. V., Istomin E. P., Kutuzov O. I. "Network models of distributed automated systems". *Sankt-Peterburg, Energoatomizdat* (1998): 353 p.

2. Gerasimov B. M., Lokazyuk V. M., Oksiyuk A. G., Pomorova O. V. "Intelligent decision support system". *Kyiv, Evropeyskiy universitet* (2007): 335 p.

3. Gerasimov B. M., OksIyuk O. G., Shvorov S. O. "Designing and using of expert training systems". *Kyiv, Evropeyskiy universitet* (2008): 263 p.

4. Glensdorf P., Prigozhin I. "Thermodynamic theory of structure, stability, and fluctuations". *Moskva, Mir* (1973): 280 p.

5. Bogom'ya V. I., Davidov V. S., Doronin V. V., Pashkov D. P., Tihonov I. V. "Navigation support vessel traffic management". *Kyiv, DVVP "Kompas"* (2012): 336 p.

Автори статті

Кириченко Валерія Олегівна — завідувач кафедри, Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості». +380 (67) 803 71 15. E-mail: valeriya.kyrychenko@uas.org.ua

Трофименко Ірина Валеріївна — аспірант, Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного

Шапран Юлія Евгенівна — аспірант, Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного

Authors of the article

Kyrychenko Valeriia Olehivna — head of department, State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center of Standardization, Certification and Quality". Tel.: +380 (67) 8037115. E-mail: valeriya.kyrychenko@uas.org.ua

Trofymenko Iryna Valeriivna, — graduate student, Hetman Petro Konashevich Sahaydachnyi Kyiv State Academy of Water Transport

Shapran Yulia Yevhenivna — graduate student, Hetman Petro Konashevich Sahaydachnyi Kyiv State Academy of Water Transport

Дата надходження
в редакцію: 03.04.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор Ю. Г. Савченко
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ

УДК 004.772:681.513

Ткачов В. М. *Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця*

МОДИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ПІДСИСТЕМИ ПРОМІЖНОГО ЗБЕРІГАННЯ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ХАРАКТЕР BigData

Розглянуті питання функціонування інфокомунікаційних систем з огляду на проблему передачі великих масивів даних. Проаналізована базова модель підсистеми проміжного зберігання даних та вказані шляхи її модифікації для уніфікації при вирішенні задачі створення модульних систем передачі даних. Актуалізовано застосування методики раннього виявлення розладнань на основі гарантованого еліпсоїдального оцінювання до моделі підсистеми проміжного зберігання. Виконана модифікація моделі підсистеми проміжного зберігання.

***Ключові слова*:** проміжне зберігання, апріорна інформація, BigData, інфокомунікаційна система

Tkachov V. M. Modification of intermediate storage subsystem models in the absence of a priori information on the nature of BigData. The questions of functioning information and communication systems due to the problem of transferring large amounts of data. Analyzed the basic model subsystems intermediate storage and the ways of its modifications for unification with the task of creating modular data transmission systems. Modified application techniques for early detection of disordered guaranteed ellipsoidal based assessment model to intermediate storage subsystem. Made modification of the model intermediate storage subsystem.

***Keywords*:** intermediate storage priori information, BigData, information and communication system

1. Постановка задачі. Імпульс у розвитку фундаментальних наук на сьогоднішній день внесли сучасні комп'ютерні технології. Генерація великих обсягів інформації (BigData) під час досліджень дає можливість здобувати нові знання та виявляти нові закономірності [1].

Розвиток напрямів з передачі, зберігання та обробки даних типу BigData є однією з ключових задач розвитку IT-індустрії. Варто зазначити, що сучасні системи обробки даних (СОД), створені для проведення високошвидкісних обчислень, характеризуються розподіленістю та ступенем паралелізму. При цьому важливим класом задач мегасистем отримання нових знань є доставка даних до СОД. Однак в більшості організацій світу, що є генераторами даних типу BigData, передача даних здійснюються із застосуванням власних каналів зв'язку з низькою продуктивністю, що ускладнює проведення передачі і своєчасної координованої обробки цих даних при вирішенні розподілених задач.

Цій проблемі присвячено ряд наукових публікацій. Найбільш актуальною методикою для вирішення цієї проблеми є запровадження систем проміжного зберігання, що добре описано в роботах[2-4]. Суть полягає у використанні додаткових підсистем проміжного зберігання даних в низькошвидкісних ділянках інфокомуніційних мереж. При такій постановці завдання мінімізації часу передачі даних параметрами управління передачею даних є розміщення проміжних серверів зберігання даних та управління їх роботою.

При цьому середовищем для передачі даних є уже існуючі інфокомунікаційні мережі різної топології та архітектури, віртуалізовані рішення тощо. Теоретичне узагальнення та ряд прикладних експериментів дали змогу виявити підзадачі, вирішення яких допомагають провести заходи з оптимізації методу та його уніфікації [5].

Задачу поточної побудови моделі підсистеми проміжного зберігання (ідентифікації)як об'єкта керування можна представити у вигляді лінійного рівняння

$$y(t) = \theta^T x(t) + w(t),$$

де збурення $w(t)$ має статистичний характер і частіше за все це циркуляція потоків даних з нульовим математичним сподіванням і скінченною дисперсією, на кшталт білого гаусівського шуму в моделях керування об'єктами. Таке припущення створює клас алгоритмів поточної ідентифікації [9]. Інші припущення про статичний характер циркуляцій потоків даних в мережі вимагають використання критеріїв оцінювання, відмінних від суми квадратів похибок. Це дає можливість застосовувати алгоритми ідентифікації, засновані на методах баєсівського оцінювання, найменших модулів тощо [10, 11].

© *Ткачов В. М., 2017*

Однак, в більшості праць з проблеми ідентифікації в умовах імпульсивних циркуляцій потоків даних припускається, що ці імпульси є випадковими у відношенні до підсистеми, а отже і оцінки невідомого вектору θ можуть бути знайдені лише у формі моментів деякого багатовимірного розподілу.

Останні роки у більшості праць не описується характер циркуляцій потоків даних (більш того, циркуляцій потоків даних можуть мати регулярний детермінований характер), крім їх належності деякому обмеженому інтервалу.

Одне з важливих питань, яке потребує вирішення, полягає у створенні підґрунтя для модифікації підсистеми проміжного зберігання в умовах відсутності апріорної інформації про характер даних типу BigData. У даній роботі пропонуються теоретичні варіанти вирішення задачі шляхом математичного моделювання та створення модифікованої моделі підсистеми проміжного зберігання.

2. Узагальнення моделі підсистеми проміжного зберігання за принципом методу Лагранжа. Розглянемо статичну модель, призначену для модуля керування ємністю підсистеми збереження даних (рис. 1), що включає $n(n>1)$ видів даних за пріоритетом передачі, що зберігаються в підсистемі збереження даних з обмеженою ємністю. Дану умову, яка визначає взаємозв'язок між різними видами даних, включено в модель як обмеження.

Позначимо: A – максимально допустима ємність підсистеми збереження даних для n видів даних; a_i – ємність, яка необхідна для збереження однієї порції даних i-го виду; y_i – запит на передачу деякої величини порції i-го виду даних. У такому разі обмеження на ємність підсистеми збереження даних складає:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i y_i \le A .$$

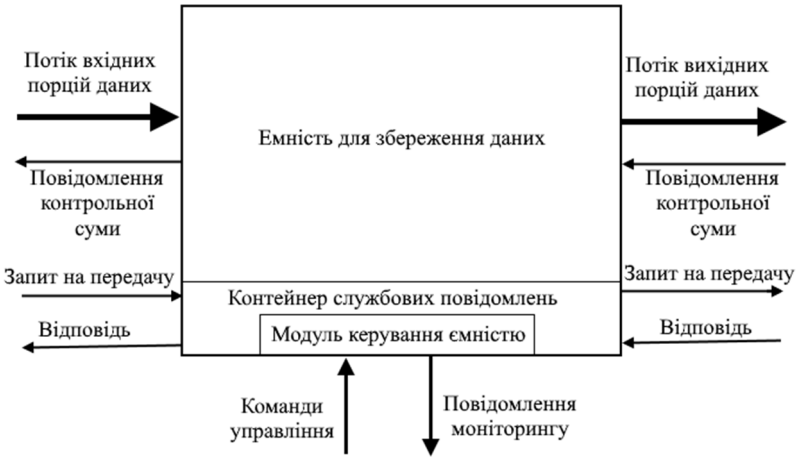


Рис. 1. Структура підсистеми збереження даних

У базовій моделі [2] декларується, що об'єм даних кожного виду надходить протягом часу, який визначається для кожної порції в залежності від завантаження загальної пропускної здатності каналу передачі даних, згідно темпорального критерію [6]. Враховуючи це, припустимо, що час для кожного мінімального інтервалу є константою.

Позначимо: K_i – витрати на формування запиту на зберігання порцій даних; β – інтенсивність передачі порцій даних від одного джерела (в залежності від типу даних); h_i – витрати (зайнятість деякого об'єму) на збереження порції даних за одиницю часу для кожного i-го виду даних.

Таким чином, задача узагальнення моделі підсистеми проміжного зберіганняна буває вигляду:

$$f(y_1, y_2, ..., y_n) = \sum_{i=1}^{n} \frac{K_i \beta_i}{y_i} + h_i \left(\frac{y_i}{2} \right) \to \min \quad (1)$$

$$\text{при } \sum_{i=1}^{n} a_i y_i \le A,\ y_i > 0, i = \overline{1,n}. \quad (2)$$

Загальний розв'язок даної задачі можна знайти методом множників Лагранжа [7]. Проте перш ніж застосовувати метод, потрібно з'ясувати, чи задовольняє обмеження на ємність підсистеми збереження даних розв'язок задачі пошуку безумовного мінімуму функції (1), яка відповідає задачам (1), (2).

Градієнт функції цілі (1) має вигляд:

$$\nabla f = \left(-\frac{K_1 \beta_1}{y_1^2} + \frac{h_1}{2}, -\frac{K_2 \beta_2}{y_2^2} + \frac{h_2}{2}, ..., -\frac{K_n \beta_n}{y_n^2} + \frac{h_n}{2} \right).$$

Стаціонарна точка $y^* = (y_1^*, y_2^*, ..., y_n^*)$ функції цілі (1), в якій градієнт функції дорівнює нулеві, має координати:

$$y_i^* = \sqrt{\frac{2K_i \beta_i}{h_i}}. \quad (3)$$

Матриця Гессе функції цілі (1) є діагональною вигляду:

$$\begin{bmatrix} 2\frac{K_1 \beta_1}{y_1^3} & 0 & ... & 0 \\ 0 & 2\frac{K_2 \beta_2}{y_2^3} & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & ... & 2\frac{K_n \beta_n}{y_n^3} \end{bmatrix}.$$

Всі діагональні елементи більші від нуля. Легко помітити, що за критерієм Сільвестра ця матриця є додатною визначеною [7] і вектор (3) визначає точку глобального мінімуму задачі $I(x^*) = \{ i \mid h_i(x^*) = 0, 1 \le i \le m \}$.

Якщо в точці (3) обмеження (2) виконується, то воно надлишкове і його можна не враховувати.

Обмеження діє, якщо воно не виконується для значень y_i^*. Тут потрібно знайти нове оптимальне значення y_i^*, яке задовольняє обмеження на ємність підсистеми збереження даних, що накладається у вигляді рівності.

У даному випадку така модифікація задачі можлива, оскільки функція цілі опукла і задача має одне лінійне обмеження. Така редукція задачі може виявитися некоректною за інших обмежень, або якщо їх більше, ніж одне. У такому випадку, для вирішення задачі узагальнення необхідно застосовувати інші методики побудови моделі.

Отже, для розв'язування даної задачі можна застосувати викладену вище теорію. Побудуємо функцію Лагранжа вигляду:

$$L(\lambda, y_1, y_2, .., y_n) = f(\lambda, y_1, y_2, .., y_n) - \lambda \left(\sum_{i=1}^{n} a_i y_i - A \right) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{K_i \beta_i}{y_i} + h_i \frac{y_i}{2} \right) - \lambda \left(\sum_{i=1}^{n} a_i y_i - A \right),$$

де $\lambda (< 0)$ – множник Лагранжа.

Оптимальні значення y_i^* і λ можна знайти, прирівнявши до нуля відповідні часткові похідні функції Лагранжа, що дає систему нелінійних рівнянь вигляду:

$$\frac{\partial L}{\partial y_i} = -\frac{K_i \beta_i}{y_i^2} + \frac{h_i}{2} - \lambda a_i = 0, i = \overline{1,n}, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda} = -\sum_{i=1}^{n} a_i y_i + A = 0,$$

Розв'язування побудованої системи нелінійних рівнянь може здійснюватися одним із варіацій чисельних методів. Таким чином, вигляд узагальненої моделі підсистеми проміжного зберігання за принципом методу Лагранжа може приймати рішення, які адаптуються для поставленої задачі даної роботи – модифікація моделі підсистеми проміжного зберігання в умовах відсутності апріорної інформації про характер BigData.

4. Застосування методики раннього виявлення розладнань на основі гарантованого еліпсоїдального оцінювання до моделі підсистеми проміжного зберігання. Основні принципи методики раннього виявлення розладнань на основі гарантованого еліпсоїдального оцінювання детально розглядаються у праці [8].

Розглянемо:

$$y(t) = \theta^T x(t) + w(t), \mid w(t) \mid \le r(t), t = 1, 2, ..., n, ..., \tag{4}$$

де обмеження $r(t)$ може вибиратися достатньо великим і зменшуватися в процесі ідентифікації (задати межі циркуляцій потоків даних у більшості практичних ситуацій – не складно). Переписуючи (4) у вигляді:

$$y(t) - r(t) \le \theta^T x(t) \le y(t) + r(t), \tag{5}$$

можна помітити, що ці нерівності задають пару гіперповерхонь у просторі θ, між якими знаходиться невідомий вектор параметрів. Послідовність спостережень за станом інфокомунікаційної мережі $y(1), y(2), ..., y(n)$, породжує n пар гіперповерхонь, що створюють у просторі θ висічену область D_n. Це – область оцінок $\hat{\theta}(t)$. Сукупність точок цієї області – рівноправні (5). Тобто, результатом вирішення задачі оцінювання буде інтервальна точкова оцінка [8].

Очевидним рішенням задачі є знаходження розв'язку системи n лінійних нерівностей типу [57]. Але, виходячи з того, що кількість вершин політопа D_n зростає значно швидше, ніж $t = 1, 2, ..., n, ...$ з точки зору організації обчислень – цей підхід буде мати низькі показники ефективності. Пропонується альтернативний підхід [8], який полягає в апроксимації політопа D_n, що отримано в t-й поточний момент часу, еліпсоїдом

$$E_t : \left(\theta - \hat{\theta}(t)\right)^T p^{-1}(t) \left(\theta - \hat{\theta}(t)\right) \le 1, \tag{6}$$

центр якого $\hat{\theta}(t)$ та семерична додатна визначена матриця $P(t)$ уточняються так, щоб E_t був в області D_n. Однак $\hat{\theta}(t)$ і $P(t)$ містять лише $n_\theta + (n_\theta + 1) n_\theta / 2$ параметрів, які можна налаштовувати. Тому цей алгоритм має істотні переваги.

Ідея підходу (підхід Ф. Швепе [12]), полягає в наступному: еліпсоїд E_t включає всі оцінки, що належать перетину E_{t-1} з областю F_t;ця область лежить між двома гіперповерхнями останнього спостереження (4) (рис 2).

Оскільки перетин E_{t-1} і F_t не є еліпсоїдом, необхідно так побудувати $\hat{\theta}(t)$ і $P(t)$, щоб E_t максимально точно його апроксимував.

Об'єднавши(4) і (6), невідомі параметри можна представити у вигляді системи нерівностей:

$$\begin{cases} \left(\theta - \hat{\theta}(t)\right)^T p^{-1}(t) \left(\theta - \hat{\theta}(t)\right) \le 1 \\ r^{-2}(t) \left(y(t) - \theta^T x(t)\right)^2 \le 1 \end{cases}.$$

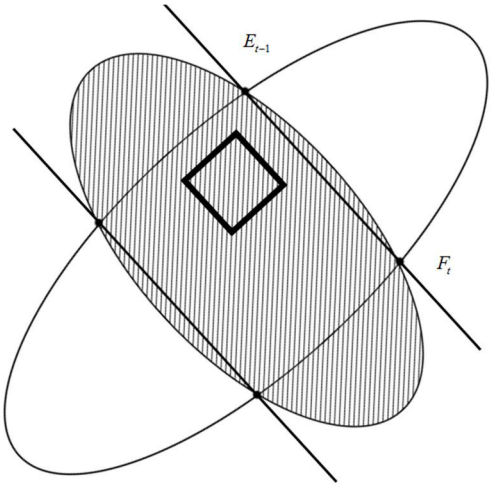


Рис. 2. Апроксимація перетину еліпсоїда парою поверхонь

Якщо величина p(t) приймає будь-яке невід'ємне значення, то:

$$\left(\theta-\hat{\theta}(t)\right)^T p^{-1}(t)\left(\theta-\hat{\theta}(t)\right)+p(t)r^{-2}(t)\left(y(t)-\theta^T x(t)\right)^2\le 1+p(t) \tag{7}$$

Для спрощення виразу проведемо деякі очевидні перетворення квадратичної форми в лівій частині (7). Вводячи похибку оцінювання, яка може виникати з огляду на бітові помилки, що можуть виникати при негативних відповідях підсистеми щодо цілісності даних (рис. 1) $\tilde{\theta}(t)=\theta-\hat{\theta}(t)$:

$$\theta^T x(t)=\hat{\theta}(t)(t-1)x(t)+\left(\theta-\hat{\theta}(t-1)\right)^T x(t)=\hat{\theta}^T(t-1)x(t)+\tilde{\theta}^T(t-1)x(t),$$

$$\tilde{\theta}^T(t-1)P^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)\left(y(t)-\hat{\theta}^T(t-1)x(t)-\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)\right)\le 1+p(t),$$

$$\tilde{\theta}^T(t-1)P^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)\left(v(t)-\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)\right)^2\le 1+p(t),$$

де $v(t)=y(t)-\hat{\theta}^T(t-1)x(t)$ – похибка ідентифікації[8];

$$\tilde{\theta}^T(t-1)P^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)-2p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)+$$
$$+p(t)r^{-2}(t)\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)x(t)^T(t)\tilde{\theta}(t-1)\le 1+p(t),$$
$$\tilde{\theta}^T(t-1)\left(P^{-1}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)x(t)x^T(t)\right)\tilde{\theta}(t-1)+$$
$$+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)-2p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)\le 1+p(t).$$

Позначимо $\tilde{P}^{-1}(t-1)=P^{-1}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)x(t)x^T(t)$:

$$\tilde{\theta}^T(t-1)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t-1)-2p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)\le 1+p(t). \tag{8}$$

Доповнимо (8) до повного квадрата:

$$\tilde{\theta}^T(t-1)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t-1)-2p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{\theta}^T(t-1)x(t)+p^2(t)r^{-4}(t)v^2(t)\times$$
$$\times x^T(t)\tilde{P}(t-1)x(t)-p^2(t)r^{-4}(t)v^2(t)x^T(t)\tilde{P}(t-1)x(t)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)\le 1+p(t),$$
$$\left(\tilde{\theta}^T(t-1)-p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{P}(t-1)x(t)\right)^T\tilde{P}^{-1}(t-1)\left(\tilde{\theta}(t-1)-p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{P}(t-1)x(t)\right)+$$
$$+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)-p^2(t)r^{-4}(t)v^2(t)x^T(t)\tilde{P}(t-1)x(t)\le 1+p(t),$$

після чого, вводячи позначення $\tilde{\theta}(t)=\tilde{\theta}(t-1)-p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{P}(t-1)x(t)$, отримуємо:

$$\tilde{\theta}^T(t)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)-p^2(t)r^{-4}(t)v^2(t)x^T(t)\tilde{P}(t-1)x(t)\le 1+p(t) \tag{9}$$

і

$$\hat{\theta}(t)=\hat{\theta}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{P}(t-1)v(t)x(t), \tag{10}$$

або

$$\hat{\theta}(t)=\hat{\theta}(t-1)+\gamma(t)\left(y(t)-\hat{\theta}^T(t-1)x(t)\right)x(t),$$

що співпадає із загальною схемою рекурентної побудови моделі підсистеми проміжного зберігання(8), (9) [8, 9], хоча матричний коефіцієнт підсилення алгоритму $\gamma(t)=p(t)r^{-2}(t)v(t)\tilde{P}(t-1)$ – не визначено, оскільки конкретне значення $p(t)$ – теж невідоме.

Повертаючись до введеного виразу $\tilde{P}(t-1)=P^{-1}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)x(t)x^T(t)$, який з використанням леми обернення матриць Шермана-Морісона [13] може бути записаний у вигляді

$$\tilde{P}(t-1)=P(t-1)-\frac{p(t)r^{-2}(t)P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{1+p(t)r^{-2}(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}, \tag{11}$$

перевіримо нерівність (9)

$$\tilde{\theta}^T(t)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)-p^2(t)r^{-4}(t)x^T(t)\tilde{P}(t-1)x(t)=$$

$$=\tilde{\theta}^T(t)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)\left(1-r^{-2}(t)p(t)x^T(t)\tilde{P}(t-1)x(t)\right)=$$

$$=\tilde{\theta}^T(t)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t)+p(t)r^{-2}(t)v^2(t)\Big(1-p(t)r^{-2}(t)x^T(t)\times$$

$$\times\frac{P(t-1)-p(t)r^{-2}(t)P(t-1)x^T(t)P(t-1)x(t)-p(t)r^{-2}(t)P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{1+p(t)r^{-2}(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}x(t)\Big)=$$

$$=\tilde{\theta}^T(t)\tilde{P}^{-1}(t-1)\tilde{\theta}(t)+\frac{p(t)r^{-2}(t)v^2(t)}{1+p(t)r^{-2}(t)x^T(t)P(t-1)x(t)},$$

або

$$\left(\theta-\hat{\theta}(t)\right)^T\tilde{P}^{-1}(t-1)\left(\theta-\hat{\theta}(t)\right)\le 1+p(t)-\frac{p(t)r^{-2}(t)v^2(t)}{1+p(t)r^{-2}(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}.$$

Вводячи позначення

$$P(t)=\tilde{P}(t-1)\left(1+p(t)-\frac{p(t)v^2(t)}{r^2(t)+p(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}\right)$$

та використовуючи співвідношення (10) та (11), отримаємо вирази, що задають алгоритм рекурентної ідентифікації при обмеженому характеру циркуляцій потоків даних:

$$\begin{cases}\hat{\theta}(t)=\hat{\theta}(t-1)+p(t)r^{-2}(t)\tilde{P}(t-1)\left(y(t)-\hat{\theta}^T(t-1)x(t)\right)x(t),\\ \tilde{P}(t)=P(t-1)-\dfrac{p(t)r^{-2}(t)P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{1+p(t)r^{-2}(t)x^T(t)P(t-1)x(t)},\\ P(t)=\tilde{P}(t-1)\left(1+p(t)-\dfrac{p(t)\left(y(t)-\hat{\theta}^T(t-1)x(t)\right)^2}{r^2(t)+p(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}\right).\end{cases} \tag{12}$$

Алгоритм (12) є різновидом зваженого методу найменших квадратів і структурно є близьким до алгоритму Фогеля-Хуанга [14]. У ньому є невизначений параметр $p(t)$, який обирається з огляду на те, щооб'єм еліпсоїда E_t, що описує перетин E_{t-1} і F_t, має бути найменшим. Об'єм еліпсоїда (6) V_t пропорційний значенню $\sqrt{\det P(t)}$:

$$V_t\sim\sqrt{\det P(t)}=\prod_{i=1}^{n_\theta}\lambda_i^{0,5}$$

де $\lambda_i(i=1,2,...,n_\theta)$ – власні числа матриці P(t).

Задача пошуку значення $p(t)$ розглядається як задача мінімізації $\det P(t)$ по $p(t)$ (задача одновимірного пошуку). Критерій, пов'язаний з $\det P(t)$ є D-критерієм.

Виразимо $\det P(t)$ як функцію $r(t)$. Для цього проведемо наступні матричні перетворення:

$$\tilde{P}(t-1) = P(t-1) - \frac{p(t)r^{-2}(t)P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{1+p(t)r^{-2}(t)x^T(t)P(t-1)x(t)} = \left(1 - \frac{p(t)P(t-1)x(t)x^T(t)}{r^2 + p(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}\right)P(t-1), \quad (13)$$

$$\det \tilde{P}(t-1) = \det\left(1 - \frac{p(t)P(t-1)x(t)x^T(t)}{r^2 + p(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}\right)\det P(t-1).$$

Позначаючи

$$\begin{cases} p(t)P(t-1)x(t) = b(t) \\ -\dfrac{x(t)}{r^2(t) + p(t)x^T(t)P(t-1)x(t)} = c(t) \\ x^T(t)P(t-1)x(t) = g(t) \end{cases}$$

з урахуванням матричної тотожності $\det\left(1 + b(t)c^T(t)\right) = 1 + c^T(t)b(t)$ одержуємо:

$$\det \tilde{P}(t) = \left(1 - \frac{p(t)g(t)}{r^2(t) + p(t)g(t)}\right)\det P(t-1),$$

$$\det P(t) = \left(1 + p(t) - \frac{p(t)v^2(t)}{r^2(t) + p(t)g(t)}\right)^{n_\theta}\left(1 - \frac{p(t)g(t)}{r^2(t) + p(t)g(t)}\right)\det P(t-1). \quad (14)$$

Оскільки рівняння

$$\frac{\partial \det P(t)}{\partial p(t)} = 0 \quad (15)$$

не має аналітичного розв'язку, застосовуємо процедуру одновимірного пошуку мінімума (14), або процедуру пошуку дійсних додатних коренів (15).

Процедура (12) реалізується за допомогою послідовності кроків:

1. Задається $\hat{\theta}(0) = 0, P(0) = \gamma, \gamma \geq 1$.

2. Знаходяться $g(t) = x^T(t)P(t-1)x(t)$ і $v(t) = y(t) - \hat{\theta}^T(t-1)x(t)$.

3. Вирішується задачу мінімізації (14). Якщо додатне значення $p(t)$ не знайдене, це означає, що E_{t-1} і F_t – не перетинаються,а t реєструється як момент розладнання в роботі підсистеми. Щоб процедура працювала далі, після фіксації розладнання адають як $p(t) = 0$, тобто спостереження $y(t)$ ігнорується. Якщо знайдено декілька додатних коренів рівняння (15), серед них обирається той, який забезпечує найменше значення величини

$$\left(1 + p(t) - \frac{p(t)v^2(t)}{r^2(t) + p(t)g(t)}\right)^{n_\theta}\left(1 - \frac{p(t)g(t)}{r^2(t) + p(t)g(t)}\right).$$

4. Знаходиться $\tilde{P}(t-1)$ з виразу (13).

5. Знаходиться $\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + p(t)r^{-2}(t)\tilde{P}(t-1)v(t)x(t)$.

6. Знаходиться $P(t) = \tilde{P}(t-1)\left(1 + p(t) - \dfrac{p(t)v^2(t)}{r^2(t) + p(t)g(t)}\right)$.

7. У разі відсутності рішення – крок 2. Кількість ітерацій проходження задається на початковому етапі роботи алгоритму.

З метою спрощення чисельної реалізації алгоритму (12) перейдемо до рівняння [8]:

$$\hat{\theta}(t)=\beta(t)\left(P(t-1)-\frac{P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{\alpha(t)+x^T(t)P(t-1)x(t)}\right),$$

де $\alpha(t)=p^{-1}(t)r^2(t)$, $\beta(t)=1+\frac{r^2(t)}{\alpha(t)}-\frac{v^2(t)}{\alpha(t)+x^T(t)P(t-1)x(t)}$.

В результаті отримуємо алгоритм у вигляді

$$\begin{cases}\hat{\theta}(t)=\hat{\theta}(t-1)+\dfrac{P(t-1)\left(y(t)-\hat{\theta}^T(t-1)x(t)\right)x(t)}{\alpha(t)+x^T(t)P(t-1)x(t)}\\ P(t)=\beta(t)\left(P(t-1)-\dfrac{P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{\alpha(t)+x^T(t)P(t-1)x(t)}\right)\end{cases},$$

який структурно повністю співпадає з експоненційно зваженим рекурентним методом найменших квадратів, але відрізняється від нього своїми властивостями. На кожному кроці необхідно вирішувати задачу мінімізації функції:

$$\det P(t)=\left(1+\frac{r^2(t)}{\alpha(t)}-\frac{v^2(t)}{\alpha(t)+g(t)}\right)^{n_\theta}\left(1-\frac{g(t)}{\alpha(t)+g(t)}\right)\det P(t-1).$$

Необхідність вирішення задачі мінімізації функції (14) суттєво ускладнює використання розглянутого алгоритму в процедурах ранньої діагностики циркуляцій потоків даних. В таких випадках є доцільним застосування методики виявлення циркуляцій потоків даних за допомогою спрощеного алгоритму еліпсоїдального оцінювання [8]. У такому разі, узагальнена форма алгоритму еліпсоїдального оцінювання набуває вигляду:

$$\begin{cases}\hat{\theta}(t)=\hat{\theta}(t-1)+\alpha(t)\delta(t)v(t)P(t)x(t),\\ P(t)=\dfrac{\alpha(t)}{\alpha(t-1)}\left(P(t-1)-\delta(t)\dfrac{P(t-1)x(t)x^T(t)P(t-1)}{\alpha(t-1)+\delta(t)x^T(t)P(t-1)x(t)}\right),\\ \alpha(t)=\alpha(t-1)+\delta(t)r^2(t)-\dfrac{\alpha(t-1)\delta(t)v^2(t)}{\alpha(t-1)+\delta(t)x^T(t)P(t-1)x(t)},\\ 0<\delta(t)\le\dfrac{\frac{v^2(t)}{r^2(t)}-1}{x^T(t)P(t-1)x(t)}\end{cases},$$

контроль за циркуляцією потоків даних за допомогою якого ведеться на основі послідовності кроків, наведеної вище.

5. Висновки. У роботі вирішене часткове питання щодо створення модифікації підсистеми проміжного зберігання в умовах відсутності апріорної інформації про характер даних типу BigData. Запропоновані варіанти вирішення задачі лежать у площині математичного моделювання на подвійній платформі: узагальнення моделі підсистеми проміжного зберігання за принципом методу Лагранжа та вирішення задачі рекурентного створення моделі підсистеми проміжного зберігання в умовах відсутності апріорної інформації про характер BigData (з огляду на циркуляції потоків даних, як дестабілізуючого фактору при передачі даних в інфокомунікаційній мережі), крім її обмеженості, виявляти розладнання в роботі підсистеми збереження даних у онлайн-режимі. Зроблені висновки про простоту у чисельній реалізації і можливу модель функціонування, за якої підсистема

збереження даних, накопичуючи інформацію про збурення в мережі, у процесі роботі протягом деякого інтервалу часу, поступово приймає вигляд відомих процедур.

Рекомендується продовжити дослідження у площині практичного застосування отриманих теоретичних напрацювань з метою виявлення класів задач щодо побудови модулів на базі інтелектуального прийняття рішень щодо адаптації підсистеми збереження даних у разі виникнення збурень в інфокомунікаційній мережі при передачі даних типу BigData.

Список використаної літератури

1. Katina M. Big Data: New Opportunities and New Challenges / Katina Michael, Keith W. Miller // IEEE Computer Society. – 2013. – Vol. 46, № 6. – P. 22-24.

2. Саваневич В.Е. Метод передачи данных с промежуточным хранением / В.Е. Саваневич, В.Н. Ткачев // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – 2014. – № 7 (123). – С. 99-105.

3. Ткачев В.Н. Использование метода передачи данных с промежуточным хра-нением при передаче результатов радиоастрономических наблюдений / В.Н. Ткачев, А.М. Резниченко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 4 (32). – С. 49-53.

4. Tkachov V.M. Method for transfer of data with intermediate storage / V.M. Tkachov, V.Ye. Savanevych / IEEE First International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T-2014), Kharkiv, October 14-17, 2014. – 2014. – P. 105-106.

5. Ткачев В.Н. Разработка метода передачи данных с промежуточным хранением / В.Н. Ткачев, В.Е. Саваневич / 5 Международный радиоэлектронный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" (МРФ-2014), Харьков, 14-17 октября 2014 г. – Харьков, 2014. – Т.2. – С. 157-159.

6. Tkachov V.M. Automated Controllers Functioning Criteria in Content Distribu-tion Systems / V.M. Tkachov, V.E. Savanevych // Scholars Journal of Engineer-ing and Technology. – 2014. – 2(3A). – P. 348-351.

7. Петров Е.Г. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах / Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.В. Гребеннік. – К.: Техніка, 2004. – 256 с.

8. Бодянський Є.В. Адаптивне виявлення розладнань в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж / Є.В. Бодянський, О.І. Міхальов, І.П. Плісс. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. – 140 с.

9. Льюинг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюинг. – М.: Наука, 1991. – 432 с.

10. Ципкин Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З. Ципкин. – М.: Наука, 1984. – 320 с.

11. Рубан А.И. Исследование адаптивных робастных алгоритмов идентификации параметров нестационарных объектов / А.И. Рубан, Р.Р. Ялатдинов. – Томск, 1985. – 20 с. – Деп. в ВИНИТИ 11.07.1985., № 5637-85.

12. Schweppe F.C. Uncertain Dynamic Systems / F.C. Schweppe. – Englewood Cliffs., NJ.: Prentice-Hall, Inc., 1973. – 533 p.

13 Малоземов В.Н. Формулы Фробениуса, Шермана–Моррисона и близкие вопросы / В.Н. Малоземов, М.Ф. Монако, А.В. Петров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2002. – Т. 42, № 10. – С. 1459-1465.

14. Fogel E. On the value of information in system identification- bounded noise case / E. Fogel, Y.F. Huang. – Automatika. – 1987. – V. 18, № 2. – P. 229.

References

1. Katina M. Big Data: New Opportunities and New Challenges / Katina Michael, Keith W. Miller // IEEE Computer Society. – 2013. – Vol. 46, № 6. – P. 22-24.

2. Savanevych V.Ye. Method of data transfer with intermediate storage / V.Ye. Savanevych, V.M. Tkachov // Information Processing Systems. – 2014. – № 7 (123). – P. 99-105.

3. Tkachov V.M. Using the method of data transfer with intermediate storage in the transmission of radio astronomical observations / V.M. Tkachov, O.M. Reznichenko // Scientific notes of «Ukrainian Research Institute of Communications»: scientific and production collection. – 2014. – № 4 (32). – P. 49-53.

4. Tkachov V.M. Method for transfer of data with intermediate storage / V.M. Tkachov, V.Ye. Savanevych / IEEE First International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T-2014), Kharkiv, October 14-17, 2014. – 2014. – P. 105-106.

5. Tkachov V.M. Development of the method of data transfer with intermediate storage / V.M. Tkachov, V.Ye. Savanevych / 5 International Radioelectronic Forum "Applied Radioelectronics: Status and Prospects of Development" (MRF-2014), Kharkiv, 14-17 october 2014 г. – Kharkiv, 2014. – V.2. – P. 157-159.

6. Tkachov V.M. Automated Controllers Functioning Criteria in Content Distribu-tion Systems / V.M. Tkachov, V.E. Savanevych // Scholars Journal of Engineer-ing and Technology. – 2014. – 2(3A). – P. 348-351.

7. Petrov Ye.G. Methods and tools for decision making in socio-economic systems / Ye.G. Petrov, M.V. Novozhilova, I.V. Grebennik. – K.: Tekhnika, 2004. – 256 p.

8. Bodyanskiy Ye.V. Adaptive detection of objects in disordered control using artificial neural networks / Ye.V. Bodyanskiy, O.I. Mikhalyov, I.P. Pliss. – Dnepropetrovsk: System technologies, 2000. – 140 p.

9. Luing L. Identification of systems. Theory for the user / L. Luing. – M.: Science, 1991. – 432 p.

10. Cypkin Ya. Z. Fundamentals of the Information Theory of Identification / Ya.Z. Cypkin. – M.: Science, 1984. – 320 p.

11. Ruban A.I. Study of adaptive robust algorithms for identifying parameters of non-stationary objects / A.I. Ruban, R.R. Yalatdinov. – Tomsk, 1985. – 20 p. – Dep. in VINITI 11.07.1985., № 5637-85.

12. Schweppe F.C. Uncertain Dynamic Systems / F.C. Schweppe. – Englewood Cliffs., NJ.: Prentice-Hall, Inc., 1973. – 533 p.

13 Malozemov V.N. Formulas of Frobenius, Sherman-Morrison and related questions / V.N. Malozemov, M.F. Monaco, A.V. Petrov // The Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2002. – V. 42, № 10. – P. 1459-1465.

14. Fogel E. On the value of information in system identification- bounded noise case / E. Fogel, Y.F. Huang. – Automatika. – 1987. – V. 18, № 2. – P. 229.

Відомості про автора

Ткачов Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, викладач кафедри Інформаційних систем, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. Тел. +380 (93) 785 02 87. E-mail: vitalii@tkachov.com

Author of the article

Tkachov Vitalii Mykolayovych – candidate of sciences (technical), teacher of the information systems department, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics. Tel.: +380 (93) 785 02 87. E-mail: vitalii@tkachov.com

Дата надходження в редакцію: 17.04.2017 р.

Рецензент: доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова *Державний університет телекомунікацій, Київ*

УДК 004.75

Лабжинський В. А.
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"

СУЧАСНІ МЕХАНІЗМИ ПОБУДОВИ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ПРІОРИТЕТНИЙ НАПРЯМОК ВДОСКОНАЛЕННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ДАНИХ

Визначено основні види хмарних технологій, наводяться переваги та недоліки кожного виду. У якості основи дослідження прийнято архітектуру гібридної хмари. Зазначено, що проблема поділу даних в параметрі гібридної хмари полягає у мінімізації вартості виконання запиту навантаження і обмежена двома окремими обмеженнями. Здійснюється опис обмежень, та пропонується розподіл метрик продуктивності – вартість обробки запиту (тобто продуктивність), витрати та ризики.

***Ключові слова*:** гібридна хмара, репліка, продуктивність, витрата, ризик, розподілена система обробки даних, навантаження

Labzhynskyi V. A. Modern mechanisms of cloud technologies construction as a priority to improve distributed data processing system. The modern mechanisms of development of cloud technologies as a priority direction of improvement of distributed data processing systems are considered. There are three main types of cloud computing. The advantages and disadvantages of each type are determined. Architecture of hybrid cloud are adopted as the basis of the studying. The basics of load distribution describes in article. It is noted that the problem of the separation of the data in the parameter hybrid cloud is to minimize the cost of query execution load and are limited with two separate restrictions. Description of the restrictions are considered, and a distribution of performance metrics – the cost of query processing (i.e., performance), costs and risks are proposed.

Keywords: hybrid cloud, replica, performance, consumption, risk, distributed data processing system workload

Вступ та постановка проблеми. Питання впровадження комп'ютерних обчислень датується 1960 роком, автором даного напряму є Джон Маккарті [1]. На сьогоднішній день, масштабність використання хмарних технологій значно розширюються. Сучасні системи і техніки розгортання дозволяють економити як на обслуговуванні та персоналі, так і на інфраструктурі. Апаратне забезпечення може бути сильно спрощено при обробці даних та зберіганні інформації у віддалених центрах даних. Всі ці проблеми майже повністю перекладаються на провайдера послуг [2].

Основним недоліком хмарних технологій, по праву можна вважати повну залежність від постачальника послуг. Фактично підприємство (користувач) являється заручником провайдера сервісів, провайдера доступу в мережу Інтернет. З метою забезпечення надійності та безпеки даних необхідно застосування механізмів захисту до яких слід віднести:

- наявність та побудову дублюючих каналів зв'язку;
- наявність та побудову дублюючих потужностей, для можливості переходу на них;
- доступність інформації;
- безпека інформації.

Мета роботи. Розкрити сучасні механізми побудови хмарних технологій як пріоритетний напрямок вдосконалення розподілених систем обробки даних. Дослідити проблему поділу даних в параметрі гібридної хмари, яка полягає у мінімізації вартості виконання запиту навантаження і обмежена двома окремими обмеженнями. Здійснити опис обмежень, та визначити механізм розподілу метрик продуктивності – вартість обробки запиту (тобто продуктивність), витрати та ризики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, питання сучасних ефективних механізмів побудови хмарних технологій розглядало чимало, як зарубіжних так і вітчизняних вчених. Е. А. Ратушна, В. А. Ковальчук [3] розглядають хмарні технології в освітньому процесі.

© *Лабжинський В. А., 2017*

Автори пропонують модель архітектури хмарних обчислень, з якої видно, що основу хмари становить інфраструктура як сервіс (IaaS – Infrastructure as a Service), платформа як сервіс (PaaS – Platform as a Service), програмне забезпечення як сервіс (SaaS – Software as a Service). До цієї ж ідеї приєднуються Лисенко В. І. і Колеснікова Т. А. [4], вони підходять до теоретичної складової формування хмарних технологій, як основи для реалізації навчальної діяльності.

У роботі [5] наведено огляд хмарних сервісів, які використовуються для освітньої галузі. Виділено переваги та недоліки поширених хмарних сервісів. Автори, в основі статті підходять до питання про те, що розміщення розподілених систем на гібридній хмарі, а також безпосередньо шифрування даних на стороні клієнта покращує показники безпеки системи загалом.

Т. А. Онуфрієва, А. С. Матросов [6] підійшли до розгляду інформаційної безпеки в інноваційному онлайновому сервісі – хмарні технології.

Архітектура інтеграції хмар розподіленої системи зберігання, оперативного оновлення і надання даних про потенційно небезпечні об'єкти на основі технології cloud computing розглядається у межах роботи [7]. А. В. Меленець на прикладі гібридної хмари показав архітектуру інтеграції хмар різних моделей розгортання на основі інтеграції як сервісу. Наведені в статті архітектури публічної, приватної і гібритної хмар розподіленої системи спільно з інтеграцією хмар як сервісу, дозволяють підвищити оперативність оновлення і надання інформації, а також організувати зберігання даних про потенційно небезпечні об'єкти на основі методів та інформаційної технології розробки та інтеграції розподілених систем.

Із зарубіжних джерел особливу цінність у підході до вивчення механізмів побудови хмарних технологій представляють роботи: R. Buyya [8], V. Egorova, D. Chechulina, S. F. Krendelev [9], J. Barr [10], B. Sosinsky [11], та ін..

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень в рамках поставленої задачі, питання ефективної побудови хмарних технологій залишається відкритим і потребує подальшого детального вивчення.

Виклад основного матеріалу дослідження. В рамках інформаційних технологій і сучасного інформаційного простору, моделі розгортання хмар, поділяють на три основні види:

- приватні;
- загальнодоступні (публічні);
- гібридні [2, 4].

Перші відносяться до хмар заснованих на інфраструктурі та службах всередині підприємства. Приватні хмари знаходяться всередині корпоративної мережі. Особливістю розгортання приватної хмари, є те, що підприємство саме займається встановленням і підтримкою хмари. При цьому витратність як матеріальна, так і ресурсна, на створення внутрішньої хмари може бути дуже високою, а витрати на її експлуатацію можуть перевищувати вартість використання загальнодоступних хмар. До найбільш важливих переваг, слід віднести, більш детальний контроль над різними ресурсами хмари і, як наслідок, різні варіанти конфігурації, а також підвищений рівень безпеки.

Другий вид – це публічні хмари, сутність їх полягає у загальнодоступності та розгортанні за межами корпоративної мережі. Функціональні дії в рамках хмари покладено на власника.

До третього виду відносяться гібридні хмари, які є сполучною ланкою публічних і приватних хмар. Фундаментальну основу гібридної хмари складає розподіл потужностей, тобто делегування навантаження між хмарами (приватними і публічними), у разі, коли внутрішня IT-інфраструктура не справляється з поточними завданнями, частина

потужностей перекидається на публічну хмара, а також для надання доступу користувачам до ресурсів підприємства (до приватної хмари) через публічну хмару. До недоліків гібридної хмари слід віднести складність ефективного створення подібних рішень і управління ними, необхідність організації послуг одержаних з різних джерел, взаємодію між приватними і загальнодоступними компонентами.

Аналіз сучасної наукової літератури [12, 13] показав, що найближчим часом основною моделлю для більшості великих і середніх підприємств стане гібридна хмара.

Гібридна хмарна архітектура (рис. 1) складається з двох компонентів: компонент проектування даних, який відповідає за оптимальний розподіл в гібридному хмарі, і компонент обробки запитів, який з урахуванням поділу, приймає рішення про стратегію виконання запитів.

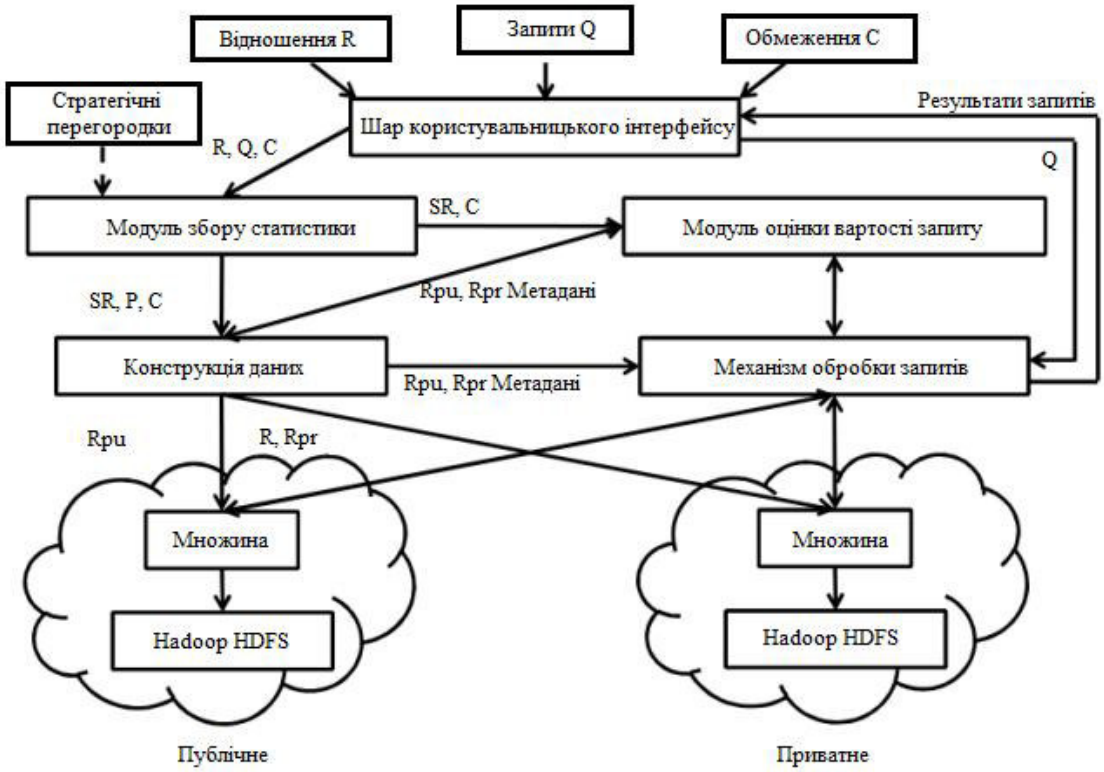


Рис. 1. Архітектура гібридної хмари*

*Власна розробка автора на основі літературних джерел [3, 5]

Оцінка витрат, необхідних для прийняття рішення про визначення оптимального розбиття залежить від стратегії обробки запитів на якій реалізований даний механізм.

Для компонента проектних даних, користувач представляє:

– сукупність відносин, $R = \{R_1, R_2, ..., R_M\}$

– сукупність робочого навантаження запиту, $Q = \{Q_1, Q_2, ..., Q_k\}$

– набір розподілу ресурсів і чутливі обмеження розкриття даних, C.

Система спочатку виконує завдання збору статистики по R і Q за допомогою модуля збору статистики. Цей модуль також створює набір предикатів P, виходячи з R, Q і заданої користувачем стратегії секціонування (вертикальної або горизонтальної).

Статистика SR створюється у вигляді гістограми з однаковою шириною. Рівень даних отримує набір P і статистику SR, а також обмеження C, а потім планомірно вирішує проблему поділу даних, DPP. У вирішенні DPP запиту, розрахунок вартості, $QCEst$ складової системи використовується для оцінки виконання витрат запитів $Q_i \in Q$. $QCEst$, у

свою чергу, оцінює час виконання запитів і визначає оптимальний план їх виконання за допомогою обробки запитів.

Зрештою, цей шар виводить дві часткові репліки

$$R, R_{pr} = \left\{ R_{1\,pr}, R_{2\,pr}, ..., R_{mpr} \right\} ma R_{pu} = \left\{ R_{1\,pu}, R_{2\,pu}, ..., R_{mpu}, \right\},$$

що відповідає приватним і публічним реплікам R.

Приватна хмара зберігає всі сторони репліки R_{pr}, в той час як у публічній хмарі зберігаються тільки ті репліки, R_{pr} і R_{pu}, які створюються шляхом розбиття множини p на приватні (P^{pr}) і публічні (P^{pu}) секції відповідно. Тому в рамках даної статті, посилання на "поділ" означає поділ множини P, при реплікації, це означає, що реплікація досягається за рахунок збереження R_{pr} на приватній стороні і руху R_{pu} у бік публічної множини. Нарешті, при розробці рівня даних також передбачається, зберігання конфіденційних даних у R_{pu}, які будуть зберігатися у загальнодоступній хмарі, після розробки шару даних і визначення реплік (R_{pr} і R_{pu}), а також місця подання (у відкритому або закритому вигляді), конфіденційних даних. З іншого боку, номери-конфіденційних даних у R_{pu}і R_{pr}, які зберігаються у форматі відкритого тексту на публічних і приватних хмарах відповідно.

Метадані по репліках R_{pu}і R_{pr} теж відправляються в підсистему обробки запитів.

При надходженні запиту Q, QPE перетворює Q план виконання, використовуючи правила перезапису та оцінки вартості різних стратегій для виконання Q^4.

Проблема поділу даних в параметрі гібридної хмари полягає у мінімізації вартості виконання запиту навантаження і обмежена двома окремими обмеженнями, перше з яких обмежує ресурси, які можуть бути надані у публічну хмару, а друга фіксує розкриття ризику того, що користувач готовий прийняти, конфіденційні дані публічної сторони. Рішення проблеми призводить до розбиття даних між публічною та приватною сторонами. В рамках даної наукової роботи пропонується виконати моделювання таких перегородок, використовуючи предикати.

У моделі поділу предиката в даній статті, використовуються прості предикати як фундамент, на якому можна здійснювати горизонтальний і вертикальний поділ стратегій, які лежать в основі рішень задачі розбиття даних. Використання предикатів дозволяє представити різні варіанти розбиття даних (між публічною і приватною хмарами) в рамках однієї загальної структури. Слід запропонувати загальний спосіб представлення різних стратегій секціонування, тобто горизонтальний або вертикальний, використовуючи загальний механізм замість розробки окремого позначення для них. Крім того, на відміну від стаціонарних стратегій, таких як цикл або хеш-секціонування, предикати пропонують адаптивну стратегію для контролю над тим, щоб конфіденційні дані були відтворені на публічній хмарі. Попередні методи завдання політики для контролю доступу і конфіденційності також розглядаються аналогічний підхід, наприклад, [9] використаний підхід, заснований на предикаті для визначення політик управління доступом в реляційних базах даних. У [10] використання запитів залежить, від зазначеної політики конфіденційності для структурованих даних. В рамках запропонованої моделі, завдання розбиття даних, полягає у наборі простих предикатів P які походять з відносин R і навантаження Q. Простий предикат, P_i, визначається однією з таких трьох форм:

1) $P_i \leftarrow$ Атрибут;
2) $P_i \leftarrow$ Атрибут op Вартість;
3) $P_i \leftarrow \left(P \wedge P_i\right) \left| \left(P \vee P\right) \right| \left(P_i\right)$,

де op включає $\{=, <, >, \leq, \geq\}$.

Предикати 1-го типу використовуються для визначення вертикального секціонування, в той час як предикати типів 2 і 3 можуть бути використані для горизонтального секціонування.

За допомогою предиката розбиття, є можливість моделювати завдання розбиття даних (DPP), у вигляді оптимізаційних задач, метою яких є поділ набору простих предикатів, $P = \{P_1, P_2, ..., P_l\}$, над гібридною хмарою, щоб загальна вартість виконання робочого навантаження Q була мінімальною.

Завдання розбиття (DPP) будується як оптимізаційна задача, яка визначається простим предикатом множини P', де $P' \subseteq P_t$:

$$\min_p \sum_{i=1}^{n} freg(Q_i) \times QPC_{Q_i}(P)$$

$$subject_to_store(P') + \sum_{i=1}^{n} freg(Q_i) \times \left(comm_{Q_i}(P') + proc_{Q_i}(P')\right) \leq PRA_COST$$

$$sens\left(\bigcup_{p \in P'}\right) \times dis_\cos t \leq DIS_COST,$$

де $freg(Q_i)$ – доступ до частоти запиту Q_i;

$QPC_{Q_i}(P')$ – обробка запитів вартості Q_i враховуючи, що множина P' зберігається на публічній хмарі;

PRA_COST – максимально допустиме виділення коштів на витрати;

DIS_COST – максимально допустиме розкриття витрат.

Використання запропонованої моделі у поєднанні з обмеженнями (публічна сторона витрат і конфіденційні дані про ризики) дозволяє захопити кілька реалістичних сценаріїв у тих же рамках.

Прикладами таких сценаріїв можна назвати:

– користувачів, які не допускають зберігання конфіденційних даних у публічних хмарах, із-за законів/правил.

– користувачів, які хочуть досягти швидкості у продуктивності, і готові платити за ризик зберігання конфіденційних даних на публічній стороні. Крім того, такі загальні рамки також дозволяють вивчати різні співвідношення, які існують у предметній області на систематичній основі.

Формалізація задачі DPP описаної вище відноситься до трьох різних метрик продуктивності – вартість обробки запиту (тобто продуктивність), витрати та ризики.

Продуктивність (QPC): продуктивність запиту залежить від стратегії, використовуваної для виконання запиту. Враховуючи конкретний план запиту, є можливість оцінити витрати продуктивності з використанням стандартних методів оцінки вартості для розподіленої обробки запитів. Вартість включає в себе розрахунок на публічних і приватних хмарах, а також мережу обміну даними між приватними і публічними хмарами.

Витрати: всі хмарні провайдери, як правило, підтримують конкурентні цінові моделі і надають різні угоди про рівень обслуговування (SLA) для зберігання даних і зручності обробки.

Ризики: ризик розкриття є важливим питанням для організацій, які мають справу з конфіденційними даними, так як в тому випадку, якщо вони втратять секретну інформацію, вони будуть зобов'язані платити штрафи відповідності, а також можливі судові витрати [11].

В рамках описаної моделі, оцінюється сумарне розкриття витрат на набір предикатів $\left(P^{'}\right)$ як твір кількості чутливих кортежів над предикатом безлічі P' (обраховується як $sens\left(\bigcup_{p\in P^{'}}\right)$, так як там може бути перекриття предикатів). Крім того, ризик розкриття залежить від представлення даних, які використовуються для зберігання конфіденційних даних, що фіксується в задачі розбиття даних. Крім того, обчислена вартість розкриття обмежена користувальницьким значенням, DIS_COST[7].

Висновки. У межах даної статті у моделі поділу предиката використовуються прості предикати як фундамент, на якому можна здійснювати горизонтальний і вертикальний поділ стратегій, які лежать в основі рішень задачі розбиття даних. Використання предикатів дозволяє представити різні варіанти розбиття даних (між публічною і приватною хмарами) в рамках однієї загальної структури. Представлена модель може використовувати інші методи оцінки ризику зміни вартості розкриття інформації для предиката p_j.

Перспективи подальших розробок у даному напрямку спираються на можливість об'єднати ризики і витрати в принципову моду на одне обмеження. Це, вимагає нормалізувати дві витрати в єдину метрику.

Список використаної літератури

1. Публичные облака vs Частные облака // Tadviser. Государство. Бизнес. IT. – http://www.tadviser.ru/index.php

2. Гибридное облако для малого бизнеса // VMware. – http:// vmware.com./ru/smb/cloud-services-hosting

3. Ратушная Е.А., Ковальчук В.А. Облачные вычисления: новые технологии в образовании // Международный студенческий научный вестник. – 2014. – № 1. – С. 40.

4. Лысенко В. И. Облачные технологии в образовательном процессе / В. И. Лысенко, Т. А. Колесникова // 1-я Международная научно-техническая конференция «Полиграфические, мультимедийные и WEB-технологии (PMW-2016)», 16–20 мая 2016 г. – Харьков : ХНУРЭ, 2016. – Т. 2 : – С. 101-105.

5. Использование облачных технологий как способ повышения защищенности тестовых обучающих систем / Н.А. Маслова, Р.А. Сорокин // Искусственный интеллект. – 2013. – № 4. – С. 463–475.

6. Онуфриева Т.А., Матросов А.С. Информационная безопасность в инновационном интерактивном сервисе-облачные технологии // Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы технических наук». –2015. – С. 161-164.

7. Меленец А.В. Архитектура интеграции облаков распределенной системы хранения, оперативного обновления и предоставления данных о потенциально опасных объектах на основе технологии Cloud Computing / А.В. Меленец // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7 (59). – С. 54-59

8. Buyya, R. Goscinski Cloud computing. Principles and paradigms / R. Buyya, J. Broberg // John Wiley & Sons, Inc. – Hoboken, New Jersey, USA, 2011. – 637 p.

9. Egorova V., Chechulina D., &Krendelev S. F. (2013) New View on Block Encryption (Unpublished) Available: https://db.tt/vnE9wfg

10. Barr, J. Host Your Web Site in the Cloud: Amazon Web Services Made Easy / J. Barr // Amazon Web Services, LLC, a Delaware limited liability company, Seattle, USA, 2010. – 364 p.

11. Sosinsky, B. Cloud computing bible / B. Sosinsky // John Wiley & Sons, Inc. – Hoboken, New Jersey, USA, 2011. – 708 p.

12. Cloud Security Alliance. The Notorious Nine. Cloud Computing Top Threats in 2013. – https://downloads.cloudsecurityalliance.org/initiatives/top_threats/The_Notorious_Nine_Cloud_Computing_Top_Threats_in_2013.pdf

13. Паскова А. А., Бутко Р. П. Гибридные облака в IT-инфраструктуре предприятия // Экономика и экономические науки: Символ науки. – 2016. – № 10-2. – С. 73-75.

References

1. Public Clouds vs Private Clouds // Tadviser. Gosudarstvo. Biznes. IT. – http://www.tadviser.ru/index.php

2. Hybrid Cloud for Small Business // VMware/ – http:// vmware.com./ru/smb/cloud-services-hosting

3. Ratushnaja E.A., Koval'chuk V.A. Cloud Computing: New Technologies in Education] // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. – 2014. – № 1. – PP. 40.

4. Lysenko V. I. Cloud Technologies in Educational Process / V. I. Lysenko, T. A. Kolesnikova // 1-st International scientific technical conference «Polygraph, multymedia and WEB-technology – 2016. – T. 2 : – PP. 101-105.

5. Use of Cloud Technologies as a Way to Increase Security of Test Training Systems / N.A. Maslova, R.A. Sorokin // Iskusstvennyj intellekt. – 2013. – № 4. – PP. 463–475.

6. Onufrieva T.A., Matrosov A.S. Information Security in an Innovative Interactive Service-Cloud Technologies // International scientific practical conference «Problem and prospect of engineerings sciences». – 2015. – PP. 161-164.

7. Melenec A.V. Cloud Integration Architecture of Distributed Storage System, Online Updation and Provision of Data on Potentially Dangerous Objects Based on Cloud Computing Technology / A.V. Melenec // Radioelektronni i komp'juterni sistemi. – 2012. – № 7 (59). – PP. 54-59.

8. Buyya, R. Goscinski Cloud computing. Principles and paradigms / R. Buyya, J. Broberg // John Wiley & Sons, Inc. – Hoboken, New Jersey, USA, 2011. – 637 p.

9. Egorova V., Chechulina D., &Krendelev S. F. (2013) New View on Block Encryption (Unpublished) Available: https://db.tt/vnE9wfg

10. Barr, J. Host Your Web Site in the Cloud: Amazon Web Services Made Easy / J. Barr // Amazon Web Services, LLC, a Delaware limited liability company, Seattle, USA, 2010. – 364 p.

11. Sosinsky, B. Cloud computing bible / B. Sosinsky // John Wiley & Sons, Inc. – Hoboken, New Jersey, USA, 2011. – 708 p.

12. Cloud Security Alliance. The Notorious Nine. Cloud Computing Top Threats in 2013. Available: https://downloads.cloudsecurityalliance.org/initiatives/top_threats/The_Notorious_Nine_Cloud_Computing_Top_Threats_in_2013.pdf

13. Paskova A. A., Butko R. P. Hybrid Clouds in IT-Infrastructure of Enterprise // Jekonomika i jekonomicheskie nauki: Simvol nauki, 2016. – № 10-2. – PP. 73-75.

Автор статті

Лабжинський Володимир Анатолійович – доцент, кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Author of the article

Labzhynskyi Volodymyr Anatoliiovych – candidate of sciences (technical), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Дата надходження в редакцію: 14.04.2017 р.

Рецензент: доктор технічних наук, професор М. М. Климаш *Національний університет «Львівська політехніка»*

Т Е Л Е К О М У Н І К А Ц І Й Н І Т А І Н Ф О Р М А Ц І Й Н І Т Е Х Н О Л О Г І Ї

Науковий журнал

№ 2(55) 2017

Відповідальний за випуск І. І. Тищенко

Наклад 200 прим. Зам. 634

Видавець і виготовлювач: Державний університет телекомунікацій.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №2539 від 26.06.2006р.

03680, Київ, вул. Солом'янська, 7.
Тел. +380 (44) 249 25 76