



Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"



Сучасні Інформаційні Системи

Advanced Information Systems

Том 2, № 4

Volume 2, No. 4

**Щоквартальний
науково-технічний журнал**

Заснований у березні 2017 року

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

Засновник і видавець:

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

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

Телефон:

+38 (057) 707-61-65

E-mail редколегії:

kuchuk56@ukr.net

Інформаційний сайт:

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

**Quarterly
scientific and technical journal**

Founded in March 2017

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

Founder and publisher:

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

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

Phone:

+38 (057) 707-61-65

E-mail of the editorial board:

kuchuk56@ukr.net

Information site:

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

*Затверджений до друку Вченою Радою Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут" (протокол від 22 грудня 2018 року № 10).*

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

Харків • 2018

Редакційна колегія

Головний редактор:

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

Заступник головного редактора:

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

Члени редакційної колегії:

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

Відповідальний секретар:

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

Технічний секретар:

ГРЕБЕНІЮК Дарина Сергіївна.

Editorial board

Editor-in-Chief:

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

Associate editor:

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

Editorial board members:

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

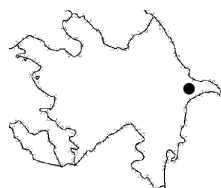
Responsible secretary:

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

Technical secretary

Daryna HREBENIUK.

Географія статей номера



Азербайджан
Azerbaijan



Іран
Iran



Німеччина
Germany



Польща
Poland



Україна
Ukraine

З М І С Т

ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<i>Мартовицький В. А., Рубан І. В., Севєрінов О. В., Бологова Н. М.</i> Відбір параметрів моніторингу мережної інфраструктури для класифікації стану мережі	5
---	---

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Дубницький В. Ю., Зубрицька Г. Г., Кобылин А. М.</i> Интервальное оценивание количества участников массовых протестных акций	11
<i>Несміян О. Ю.</i> Метод створення мультитонального сигналу в системах підтримки та прийняття рішень АСУ (eng.) .	21
<i>Рудницький В. М., Лада Н. В., Козловська С. Г.</i> Технологія побудови двооперандних операцій криптографічного перетворення інформації за результатами моделювання	26
<i>Сторчак В. С.</i> Принципи побудови перспективних тренажерних систем підготовки операторів автоматизованих систем управління повітряним рухом	31
<i>Циганенко О. С., Рзаєв Х. Н., Мамедова Т. А.</i> Математична модель модифікованої крипто-кодової конструкції Нідеррайтера (eng.)	37
<i>Шостак І. В., Рахіми Я.</i> Моделирование полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину с применением вложенных сетей Петри	45

МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

<i>Ухїна Г. В., Ситніков В. С., Пуц К. О.</i> Оцінка стабільності на основі застосування трикутника стабільності допереравальных функцій вище другого порядку (eng.)	49
---	----

МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Мелешко Є. В.</i> Метод колаборативної фільтрації на основі асоціативних мереж подоби користувачів (eng.)	55
<i>Морозова О. І.</i> Основи інтеграції прикладних інформаційних технологій в системах з дуальних процесами (eng.)	60
<i>Худов В. Г.</i> Інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням методології системного моделювання IDEF0	64

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Животовський Р. М., Моміт О. С.</i> Аналіз властивостей неортогональних методів обробки сигналів в системах MIMO (eng.)	70
<i>Молчанов Г. І., Жмаєв А. Ю.</i> Circuit Breaker у системах, що базуються на мікросервісній архітектурі (eng.)	74

TABLE OF CONTENTS

PROBLEMS OF IDENTIFICATION IN INFORMATION SYSTEMS

<i>Martovytskyi V., Ruban I., Sievierinov O., Bolohova N.</i> Selection of network infrastructure monitoring parameters to classify network status (ukr.)	5
---	---

INFORMATION SYSTEMS MODELING

<i>Dubnitskiy V., Zubrytska H., Kobylin A.</i> Interval estimation of the number of participants of mass protest actions (rus.)	11
<i>Nesmiian O.</i> Method of the multitoneal signal construction in decision support systems ACS	21
<i>Rudnyskiy V., Lada N., Kozlovska S.</i> Technology of two operand operations construction of information cryptographic transformation by modeling results (ukr.)	26
<i>Storchak V.</i> Principles of construction of automated control system operator training perspective simulator systems (ukr.)	31
<i>Tsyhanenko O., Rzaev Kh., Mammadova T.</i> Mathematical model of the modified Niederreiter crypto-code structures	37
<i>Shostak I., Rahimi Ya.</i> Modeling of the complete logistic chain of dried fruits supplies to Ukraine with the use of nested Petri nets (rus.)	45

ADAPTIVE CONTROL METHODS

<i>Ukhina H., Sytnikov V., Puts K.</i> Stability evaluation based on the sustainability triangle application for transfer functions above 2-nd order	49
---	----

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS SYNTHESIS

<i>Meleshko Ye.</i> Method of collaborative filtration based on associative networks of users similarity	55
<i>Morozova O.</i> Applied informational technologies integration principles in systems with dual processes	60
<i>Khudov V.</i> Information technology of thematic segmentation of images of onboard optical-electronic observation systems using system modeling IDEF0 (ukr.)	64

INFORMATION SYSTEMS RESEARCH

<i>Zhyvotovskiy R., Momit O.</i> Analysis of the properties of non-orthogonal methods of signal processing in MIMO systems	70
<i>Molchanov H., Zhmaiev A.</i> Circuit breaker in systems based on microservices architecture	74

<i>Налатко О. Л., Шишацький А. В.</i> Аналіз технічних характеристик мережі з можливістю до самоорганізації (eng.)	78	<i>Nalanko O., Shyshatskyi A.</i> Analysis of technical characteristics of the network with possibility to self-organization	78
<i>Ткачук М. В., Сокол В. Є., Білова М. О., Космачов О. С.</i> Класифікація, типова функціональність та особливості застосування систем електронного навчання та тренінгу персоналу в ІТ-компаніях	87	<i>Tkachuk M., Sokol V., Bilova M., Kosmachov O.</i> Classification, typical functionality and application peculiarities of learning management systems and training management systems at IT-companies (ukr.)	87
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ		INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS	
<i>Тімочко О. О.</i> Метод верифікації програмного продукту нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів (eng.)	96	<i>Timochko O.</i> Method of software verification of air objects classification fuzzy logical system	96
<i>Левикін В. М., Чала О. В.</i> Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань	101	<i>Levykin V., Chala O.</i> Support decision-making in information control systems using the temporal knowledge base (ukr.)	101
МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ		METHODS OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION	
<i>Гордійчук В. В.</i> Методика підвищення скритності в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням за рахунок використання таймерних сигнальних конструкцій (eng.)	108	<i>Hordüchuk V.</i> Method of accuracy increase in radio control systems with orthogonal frequency multiplexing at the consideration of the timer signal constructions use	108
<i>Тецький А. Г.</i> Метод вибору заходів захисту Web-застосунка від атак (eng.)	114	<i>Tetskyi A.</i> The method of selecting measures to protect the Web application against attacks	114
ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ		APPLIED PROBLEMS OF INFORMATION SYSTEMS OPERATION	
<i>Роянов О. М., Гарбуз С. В.</i> Оцінювання масштабів та ризику виникнення техногенної ситуації, під час процесу дегазації резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів (eng.)	119	<i>Roianov A., Garbuz S.</i> The assessment of the scales and the risk of the appearance technogenous situations during the process of degassing the storage tanks of light petroleum products	119
<i>Триснюк В. М., Шумейко В. О., Кащичин О. В., Курило А. В., Сметанін К. В.</i> Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів	124	<i>Trysnyuk V., Shumeyko V., Kashchyshyn O., Kurilo A., Smetanin K.</i> Monitoring use and environmental state of the land by aid of safe little apparatus (ukr.)	124
<i>Шматко О. В., Алексієв В. О., Лянг Донг</i> Алгоритм розпізнавання морського горизонту на фото і відеозображеннях (eng.)	128	<i>Shmatko O., Aleksiyev V., Liang Dong</i> An algorithm for sea-sky line detection under visible sea image	128
<i>Зув А. О.</i> Метод первинної обробки термограм отриманих за допомогою малорозмірних тепловізорів	136	<i>Zuev A. O.</i> The method of primary processing of thermograms obtained using small-size thermal imagers (ukr.)	136
Наші автори	141	Authors	141
Алфавітний покажчик	144	Alphabetical index	144



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

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

Problems of identification in information systems

УДК 004.8

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.01

В. А. Мартовицький, І. В. Рубан, О. В. Северінов, Н. М. Бологова

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ВІДБІР ПАРАМЕТРІВ МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СТАНУ МЕРЕЖІ

Предметом дослідження в статті є етап попередньої обробки даних для алгоритмів машинного навчання і розгляд різних технік попередньої обробки та оцінки інформативності ознак при визначенні параметрів контролю мережевої інфраструктури для більш ефективного інтелектуального аналізу стану мережевої інфраструктури. **Мета роботи** – розгляд різних технік попередньої обробки даних і оцінки інформативності при визначенні параметрів контролю мережевої інфраструктури для більш ефективного інтелектуального аналізу. В статті вирішуються наступні **завдання**: розгляд методів відбору параметрів, визначення множини параметрів для оцінки стану мережі. Використовуються методи фільтрації, які організовані на критеріях, що не залежать від методу класифікації; методи обгортки, що ґрунтуються на інформації про важливість ознак, яка отримана від методів класифікації або регресії, і тому можуть визначити більш глибокі закономірності в даних, ніж фільтри; вбудовані методи, які виконують відбір ознак під час процедури навчання класифікатора, і явно оптимізують набір використовуваних ознак для досягнення кращої точності. Отримано такі результати: проаналізовані різні техніки попередньої обробки та оцінки інформативності ознак при визначенні параметрів контролю мережевої інфраструктури для більш ефективного інтелектуального аналізу стану мережевої інфраструктури. Досліджені результати застосування методів відбору ознак для спрощення різних моделей машинного навчання. Сформовано мінімальний набір параметрів, які потрібні для моніторингу стану мережевої інфраструктури. **Висновки**: Застосування методів відбору ознак дозволило зменшити вхідний набір параметрів для методів класифікації стану мережевої інфраструктури.

Ключові слова: машинне навчання; відбір ознак; методи фільтрації; методи обгортки; вбудовані методи; мережі.

Вступ

Постановка проблеми. Збільшення кількості інформації, що обробляється обчислювальними кластерами, а також економія на кількості обслуговуючого персоналу потребують використання ефективних засобів моніторингу обчислювальних ресурсів. Результатом цього є зростання кількості параметрів, які повинна відстежувати така система моніторингу. За рахунок великих потоків даних від різних датчиків зростає ймовірність пропуску адміністратором системи негативних змін в контрольованих параметрах мережі обчислювального кластера [1]. Для вирішення даної проблеми в системі моніторингу глобально починають впроваджувати засоби автоматизованого експертного аналізу даних, заснованого на машинному навчанні.

Підготовка даних для використання в машинному навчанні включає декілька етапів. Прийнято вважати, що близько 60-70% часу займає перший етап робочого процесу: очищення, фільтрація і перетворення даних в формат, який підходить для застосування в алгоритмах машинного навчання. На другому етапі виконується попередня обробка і безпосереднє навчання моделей.

Попередня обробка і очищення даних – це важливі етапи, що забезпечують ефективне використання набору даних для машинного навчання. Необроблені дані часто є спотвореними і ненадійними, і в них можуть бути пропущені значення. Використання таких даних при моделюванні може призво-

дити до невірних результатів. Ці завдання є частиною процесу обробки і аналізу даних групи і зазвичай мають на увазі початкове вивчення набору даних, що використовується для визначення і планування необхідної попередньої обробки.

Дана стаття присвячена етапу попередньої обробки даних для алгоритмів машинного навчання і розгляду різних технік попередньої обробки та оцінки інформативності ознак при визначенні параметрів контролю мережевої інфраструктури для більш ефективного інтелектуального аналізу стану мережевої інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Система моніторингу мережі необхідна для контролю стану всієї мережевої інфраструктури, з усіма пристроями і системами. Адміністратори можуть спостерігати за всіма компонентами мережевої інфраструктури, яка використовує певний інтерфейс і обмінюється інформацією про свій стан за стандартним протоколом.

Для виявлення різних видів загроз та порушень система моніторингу повинна відстежувати велику кількість параметрів компонентів мережі, які реалізуються на канальному, мережному, сеансовому і прикладному рівнях моделі OSI.

Спостереження на даних рівнях моделі OSI дає можливість контролювати ступінь використання ресурсів системи, а також знаходити несправності, пов'язані з роботою обладнання, що потрібно для підтримки високої надійності функціонування мережевої інфраструктури.

В [2] описується технологія використання нейронних мереж для вирішення завдання виявлення аномальної мережної активності в мережі. Також розглянута методика збору даних про мережеву активність і виділення параметрів мережних пакетів для подальшого аналізу. У даній статті здійснюється контроль на одному з рівнів мережевої інфраструктури, що призводить до зменшення спроможності виявлення загроз, направлених на різноманітні об'єкти мережевої інфраструктури.

В [3] автор для прогнозування і класифікації аномального трафіку використовує векторну машину (SVM) з урахуванням показників ефективності. Основні параметри включають дисперсію, автокореляцію та самоподібність. Перевагою даного методу є те, що він не використовує дані заголовків пакетів. Це дозволяє впроваджувати цей метод в системах реального часу. Недоліком даного підходу є те, що параметри, які передаються, включають в себе невеликий набір даних, за рахунок чого даний метод може ефективно і точно виявляти аномальний трафік лише протягом короткого періоду часу.

У [4] розглянуто підхід до мережевого моніторингу на основі технології мобільних та інтелектуальних агентів. Недолік даного підходу полягає у відсутності фільтрації даних від шумових і неінформативних параметрів, що значно ускладнює та інколи навіть погіршує модель машинного навчання. Перед ускладненням алгоритму треба переконатися в тому, що вже неможливо підвищити точність його роботи шляхом лише зміни параметрів. Тому одним з основних параметрів, що вимагає ретельної оптимізації в кожному алгоритмі, є складність моделі.

Починати ускладнення треба не з алгоритму, а з додавання параметрів, що мають фізичну інтерпретацію, важливу для прогнозування цільової величини, – їх зазвичай формулюють експерти предметної області. Оскільки часто подібні ознаки є нелінійними перетвореннями початкових даних, то складні алгоритми не здатні їх відтворити самостійно. Разом з тим, оскільки ці параметри мають характерний фізичний зміст, їх врахування в простих моделях нерідко дозволяє такі моделі зробити більш точними, ніж складні моделі, які не враховують цих параметрів.

Метою даної роботи є розгляд різних технік попередньої обробки даних і оцінки інформативності при визначенні параметрів контролю мережевої інфраструктури для більш ефективного інтелектуального аналізу. Для досягнення поставленої мети були сформовані такі завдання:

- розглянути методи відбору параметрів;
- визначити множини параметрів для оцінки стану мережі на прикладі даних, представлених в [5].

Виклад основного матеріалу

Методи відбору ознак. Інтелектуальний аналіз даних великої розмірності в даний час є дуже важливим. Рішення такої задачі нерідко ускладнюється завдяки не дуже великим вибіркам або наявності некорельюючих ознак по відношенню до цільової змінної, а також надмірних ознак.

Якісні дані – це необхідна умова для створення якісних моделей прогнозування. Щоб уникнути появи ситуації «сміття на вході, сміття на виході» і підвищити якість даних і, як наслідок, ефективність моделі, необхідно провести моніторинг працездатності даних, як можна раніше виявити проблеми і вирішити, які дії щодо попередньої обробки і очищення даних необхідні [6]. Тому виникає задача відбору інформаційних ознак.

Виходячи з природи ознак можна виділити дві основні причини відбору ознак:

1. *Велика кількість ознак, що істотно збільшує час роботи класифікаторів.* На сьогодні розвиваються ансамблеві методи машинного навчання, тому час, необхідний на обчислення, може стати просто величезним через велику кількість ознак. Також це може призвести до відмови в обслуговуванні за рахунок переповнення оперативної пам'яті. Це тягне необхідність модифікації алгоритмів класифікації для кожної платформи окремо.

2. *Зі збільшенням кількості ознак часто знижується точність прогнозування.* Особливо, якщо в даних багато шумових ознак (обмаль корельюючих з цільовою змінною). Також це призводить до появи дубльованих інформаційних ознак, і, як наслідок, до перенавчання (overfitting).

Методи відбору ознак діляться на 3 категорії.

Методи фільтрації організовані на критеріях, які не залежить від методу класифікації. Наприклад, такі, як кореляція ознак з цільовим вектором, критерії інформативності. Даний метод використовується до застосування алгоритмів класифікації. Перевагою методів фільтрації є те, що їх можна застосовувати в якості попередньої обробки для зниження розмірності множини ознак і подолання перенавчання [7].

Фільтри використовуються для відбору ознак в кластеризації, для побудови початкового наближення. Недолік таких методів – неможливість виявлення складних зв'язків між ознаками.

Прикладом фільтрації ознак є метод взаємної інформації. В основі цього методу лежить поняття ентропії інформації

$$H(X) = -\sum_{x_i \in X} p(x_i) \cdot \log_2(p(x_i)), \quad (1)$$

де $p(x_i)$ – ймовірність того, що змінна X приймає значення x_i . У даному прикладі ця ймовірність розраховується як кількість прикладів, в яких $X=x_i$, поділене на всі приклади.

Для розрахунку кореляції між змінними використовуються ще дві величини:

$$H(Y | X = x_i) - \quad (2)$$

частинна умовна ентропія – ентропія $H(Y)$, розрахована тільки для тих записів, для яких $X=x_i$;

$$H(Y | X) = \sum_{x_i \in X} p(x_i) \cdot H(Y | X = x_i) - \quad (3)$$

умовна ентропія – щільність розподілу безперервної випадкової величини X .

Різниця між цими двома величинами визначає ступінь кореляції (взаємну інформацію) між значеннями X і Y , і наскільки вона велика:

$$IG(Y|X) = H(Y) - H(Y|X). \quad (4)$$

Методи обгортки ґрунтуються на інформації про важливість ознак, яка отримана від методів класифікації або регресії, і тому можуть визначити більш глибокі закономірності в даних, ніж фільтри [8]. Обгортки можуть використовувати будь-який класифікатор, який визначає ступінь важливості ознак.

Розрізняють два підходи в реалізації цих методів: методи включення (forward selection) і виключення (backwards selection) ознак. Перші починаються з пустої підмножини, до якої поступово додаються різні ознаки [9]. У другому випадку метод починається з підмножини, яка дорівнює вихідній множині ознак, і з нього поступово видаляються ознаки. При цьому кожен раз здійснюється перерахунок класифікатора.

Один із прикладів таких методів – рекурсивне видалення ознак (recursive feature elimination). Як впливає з назви, він відноситься до алгоритмів поступового виключення ознак із загального пулу.

З огляду на зовнішню оцінку вагових характеристик (наприклад, коефіцієнти лінійної моделі), метою якої є рекурсивне усунення ознак відмітимо таке. По-перше, алгоритм оцінки навчається за першим набором ознак і визначає важливість кожної ознаки. Потім найменш важливі ознаки видаляються з їх поточного набору. Ця процедура рекурсивно повторюється доти, поки в кінцевому результаті не буде досягнута бажана кількість ознак.

Вбудовані методи виконують відбір ознак під час процедури навчання класифікатора, і саме вони явно оптимізують набір використовуваних ознак для досягнення кращої точності [10]. Основним методом з цієї категорії є регуляризація. Є різні її реалізації, але основний принцип є загальним. Якщо розглянути роботу класифікатора без регуляризації, то вона полягає в побудові такої моделі, яка найкращим чином налаштувалася б на передбачення всіх точок тренувального сету. Наприклад, якщо алгоритмом класифікації є лінійна регресія, то підлаштовуються коефіцієнти полінома, який апроксимує залежність між ознаками і цільовою змінною.

Ідея регуляризації полягає в тому, щоб побудувати алгоритм, який мінімізує не тільки помилку, але і кількість використовуваних змінних [11].

Перевагою вбудованих алгоритмів є те, що вони, як правило, знаходять рішення швидше, уникаючи перепідготовки даних з нуля, при цьому зникає необхідність розділяти дані на навчальну і тестову множини. Разом з тим на даний час невідомі будь-які вбудовані методи, що дозволяють вирішити всі існуючі задачі.

Прикладом таких методів є метод регуляризації Тихонова (ridge regression). Розглянемо його так само на прикладі лінійної регресії. Якщо в тестовому наборі дана матриця ознак A і вектор цільової змінної b , то рішення буде мати вигляд $Ax = b$.

У процесі роботи алгоритму мінімізується вираз

$$\|Ax - y\|^2 + \alpha \|x\|^2, \quad (5)$$

де перший доданок є середньоквадратичною помил-

кою, а другий – регуляризуючим оператором (сума квадратів всіх коефіцієнтів, помножена на альфа). У процесі роботи алгоритму розміри коефіцієнтів будуть пропорційні важливості відповідних змінних, а перед тими змінними, які дають найменший внесок в усунення помилки, будуть наближатися до нуля.

Параметр α дозволяє налаштувати внесок регуляризуючого оператора в загальну суму. З його допомогою можна вказати пріоритет – точність моделі або мінімальну кількість використовуваних змінних.

Для проведення порівняльного аналізу використовувалися дані з чемпіонату по машинному навчанню KDD 1999 і дані, отримані під час моніторингу мережевої інфраструктури навчального дата-центру, розгорнутого на основі мережної файлової системи Lustre, докладний опис яких представлено в табл. 1. Дані мають 38 ознак, з них: 27 числових ознак і 11 категоріальних.

Таблиця 1 – Параметри мережі

№	Параметри
1	Тривалість з'єднання, с
2	Протокол транспортного рівня
3	Сервіс прикладного рівня
4	Вхідний потік, байт
5	Вихідний потік, байт
6	Прапори, встановлені в заголовку TCP-паketу
9	Наявність термінових даних в пакеті (прапор URG)
10	Кількість гарячих індикаторів
11	Кількість невдалих спроб входу
12	Успішний вхід
13	Доступ з правами адміністратора
14	Кількість спроб доступу з правами адміністратора
15	Кількість операцій з файлами контролю доступу
16	Кількість операцій створення файлу
17	Кількість операцій з файлами управління доступом
20	Ознака гість системи
21	Кількість з'єднань з співпадаючим хостом
22	Відсоток з'єднань з помилкою SYN
23	Кількість з'єднань з одним каналом вихідного порту
24	Відсоток з'єднань з помилкою REJ
25	Відсоток з'єднання з сервісом, що збігається
26	Відсоток з'єднань з різними послугами
27	Кількість зв'язків з сервісом, що збігається
28	Відсоток з'єднань з помилкою SYN джерела
31	Відсоток з'єднань з помилкою REJ джерела
32	Кількість експорту на MDT, в тому числі інші сервери Luster
33	Кількість клієнтських з'єднань по NID
34	Кількість блокувань
35	Luster-розподілений менеджер блокування (ldlm) передавав блокування
36	ldlm-блокування рівня надання GR
37	ldlm-блокування рівня відміни CP
38	Кількість вихідних команд у ftp-сеансі

У табл. 2 розставлені в порядку убавання значення кореляції ознаки щодо цільової змінної.

Таблиця 2 – Список параметрів мережі

Методи	Номера ознак
Info gain	5, 3, 6, 4, 30, 29, 33, 34, 35, 38
Chi-squared	5, 3, 6, 4, 29, 30, 33, 34, 35, 12
ReliefF	3, 29, 4, 32, 38, 33, 30, 12, 36, 6
Variance threshold	3, 6, 4, 32, 29, 33, 30, 12, 36, 38

Різна впорядкованість ознак викликана тим, що у кожного методу застосовуються свої алгоритми ранжирування.

Для тестування якості класифікації данні були розбиті на три частини для використання кроссвалідації за трьома фолдами. В якості класифікатора

використовувався XGBClassifier, Random Forest, AdaBoost, а помилка алгоритмів оцінювалась по метриці MSE.

На рис. 1 представлена середня помилка за трьома фолдами для кожного з методів фільтрації. Як видно з графіку, після фільтрації ознак якість алгоритму класифікації практично не змінилася. А час, необхідний для побудови моделі класифікації, який є тривалістю процесу навчання класифікатора після застосування кожного методу, істотно зменшився (табл. 3).

Наступним етапом експерименту було використання методу обгортки, а саме використання Random Forest. Число дерев в Random Forest варіювалося від 100 до 500. На рис. 2 наведено графік, на якому для перших 12 ознак показана їх важливість для трьох частин вибірки за допомогою вбудованого алгоритму в Random Forest.

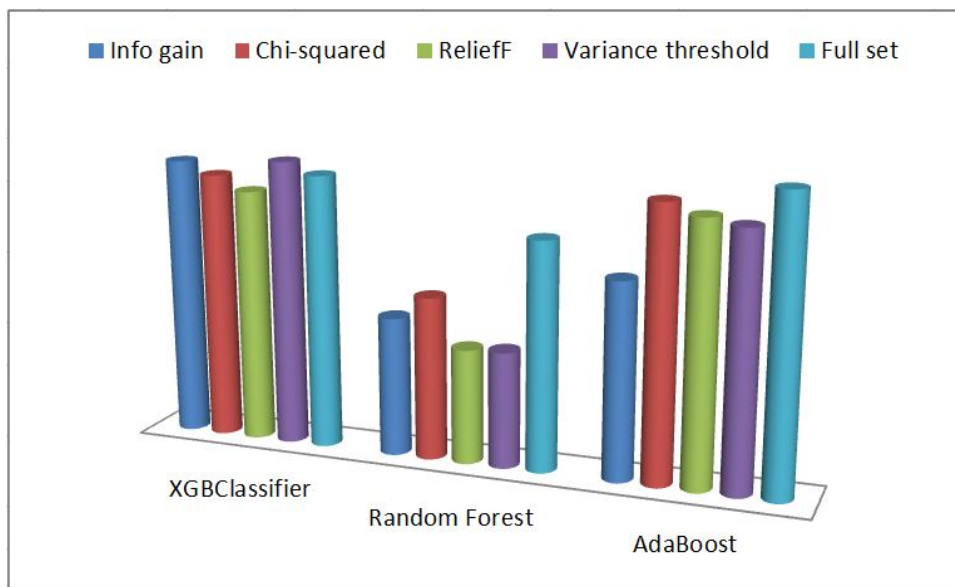


Рис 1. Точність класифікації для методів фільтрації

Таблиця 3 Показник ефективності

Метод	Алгоритм	MSE(%)	Час (с)
Info gain	XGBClassifier	88,74	182
	Random Forest	84,34	167
	AdaBoost	86,12	170
Chi-squared	XGBClassifier	88,36	183
	Random Forest	85,08	163
	AdaBoost	88,49	172
ReliefF	XGBClassifier	87,92	183
	Random Forest	83,58	165
	AdaBoost	88,13	172
Variance threshold	XGBClassifier	88,92	182
	Random Forest	83,62	165
	AdaBoost	87,93	170
Full set	XGBClassifier	88,56	263
	Random Forest	87,12	197
	AdaBoost	89,07	243

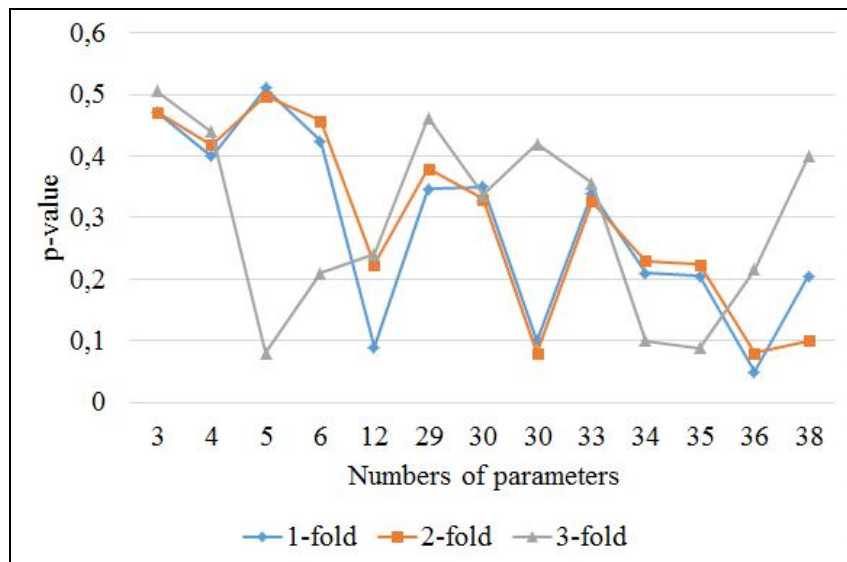


Рис. 2. Важливість ознак

Інші ознаки мали важливість меншу 0,1. Використовуючи лише ті ознаки, які мали максимальну важливість, побудований простий алгоритм, середня помилка якого по метриці MSE мало чим відрізняється від XGBClassifier, але швидкість роботи алгоритму збільшилась.

Висновки

Однією з основних проблем, з якими стикаються існуючі системи виявлення вторгнень і моніторингу, є обробка великих масивів даних, що ускладнює їх інтелектуальний аналіз.

Відбір ознак є важливим етапом побудови алгоритмів машинного навчання. Даний етап необхідний для позбавлення від шумових ознак, завдяки цьому покращується якість і збільшується швидкість роботи машинних алгоритмів. Проведені експерименти підтверджують, що алгоритми відбору ознак за допомогою Random Forest і методи фільтрації ефективно виконують це завдання.

Представлений в статті [5] алгоритм класифікації станів мережі на основі відібраних параметрів дозволить використовувати його в системах реального часу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Ruban I. Designing a monitoring model for cluster super-computer / I. Ruban, V. Martovytskyi, N. Lukova-Chuiko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №6 (84). – С. 32-37.
- Катасев А. С. Нейросетевая диагностика аномальной сетевой активности / А. С.Катасев, Д. В. Катасева, А. П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 18. – С. 163-167.
- Gavalas Damianos. Advanced network monitoring applications based on mobile/intelligent agent technology / Gavalas Damianos // Computer Communications. – 2000. – № 23. – P. 720-730.
- Liu L. Anomaly diagnosis based on regression and classification analysis of statistical traffic features / Liu L. // Security and Communication Networks. – 2014. – № 7. – P. 132-138. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-3664\(99\)00232-7](https://doi.org/10.1016/S0140-3664(99)00232-7).
- Рубан И.В. Подход к классификации состояния сети на основе статистических параметров для обнаружения аномалий в информационной структуре вычислительной системы / И. В. Рубан, В. А. Мартовицкий, Н. В. Лукова-Чуйко // Кибернетика и системный анализ. – 2018. – № 54 (2). – С. 142-150.
- Task to prepare data for enhanced machine learning [Electronic resource]. – Access mode: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/team-data-science-process/prepare-data>.
- Chandrashekar G. Survey on feature selection methods / G. Chandrashekar, F. Sahin // Computers & Electrical Engineering. – 2014. – № 40 (1). – P. 16-28.
- Hu Z. Hybrid filter-wrapper feature selection for short-term load forecasting / Z. Hu // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2015. – № 40 (1). – P. 17-27.
- Reif M. Efficient feature size reduction via predictive forward selection / M. Reif, F. Shafait // Pattern Recognition. – 2014. – № 47 (4). – P. 1664-1673.
- Osanaïye O. Ensemble-based multi-filter feature selection method for ddos detection in cloud computing / O. Osanaïye, H. Cai, K.-K. R. Choo, A. Dehghantanha, Z. Xu, M. Dlodlo // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2016. – № 1. – ppP. 130-140.
- Tibshirani R. J. Exact post-selection inference for sequential regression procedures / R. J. Tibshirani // Journal of the American Statistical Association. – 2016. – № 111(514). – P. 600-620.
- Дьяконов А. Г. Методы решения задач классификации с категориальными признаками / А. Г. Дьяконов // Прикладная математика и информатика. – 2014. – № 46. – С. 103-127.

REFERENCES

- Ruban, I., Martovytskyi, V. and Lukova-Chuiko, N. (2016), “Designing a monitoring model for cluster super-computer“, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 84, pp. 32-37.

2. Katasev, A.S., Kataseva, D.V. and Kyrpychnykov, A.P. (2015), "Neural network diagnosis of abnormal network activity", *Bulletin of Kazan Technological University*, No. 18, pp. 163-167.
3. Liu L. (2014), "Anomaly diagnosis based on regression and classification analysis of statistical traffic features", *Security and Communication Networks*, No. 7, pp. 132-138.
4. Gavalas D. (2000), "Advanced network monitoring applications based on mobile/intelligent agent technology", *Computer Communications*, No. 23, pp 720-730, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-3664\(99\)00232-7](https://doi.org/10.1016/S0140-3664(99)00232-7).
5. Ruban, I., Martovytskyi V. and Lukova-Chuiko N. (2016), "An approach to classifying a network state based on statistical parameters for detecting anomalies in the information structure of a computer system", *Cybernetics and Systems Analysis*, Vol. 546 No. 2, pp. 142-150.
6. Task to prepare data for enhanced machine learning, available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/team-data-science-process/prepare-data>.
7. Chandrashekar, G. and Sahin, F (2014), "Survey on feature selection methods", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 40, No. 1, pp. 16-28.
8. Hu, Z. (2015), "Hybrid filter-wrapper feature selection for short-term load forecasting", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 40, No. 1, pp. 17-27.
9. Reif, M. and Shafait, F. (2014), "Efficient feature size reduction via predictive forward selection", *Pattern Recognition*, Vol. 47, No. 4, pp. 1664-1673.
10. Osanaiye, O., Cai, H. Choo, K.-K. R., Dehghantanha, A., Xu, Z. and Dlodlo, M. (2016), "Ensemble-based multi-filter feature selection method for ddos detection in cloud computing", *EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking*, No. 1, pp. 130-140.
11. Tibshirani, R.J. (2016), "Exact post-selection inference for sequential regression procedures", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 111, No. 514, pp. 600-620.
12. Dyakonov A.G. (2014), "Methods for solving classification problems with categorical features", *Applied Mathematics and Computer Science*, Vol. 46, pp. 103-127.

Received (Надійшла) 27.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.11.2018

Отбор параметров мониторинга сетевой инфраструктуры для классификации состояния сети

В. А. Мартовицкий, И. В. Рубан, А. В. Северинов, Н. Н. Бологова

Предметом исследования в статье является этап предварительной обработки данных для алгоритмов машинного обучения и рассмотрение различных техник предварительной обработки и оценки информативности признаков при определении параметров контроля сетевой инфраструктуры для более эффективного интеллектуального анализа состояния сетевой инфраструктуры. **Цель** работы - рассмотрение различных техник предварительной обработки данных и оценки информативности при определении параметров контроля сетевой инфраструктуры для более эффективного интеллектуального анализа. В статье решаются следующие **задачи**: рассмотрение методов отбора параметров, определение множества параметров для оценки состояния сети. Используются методы фильтрации, организованные на условиях, независимых от метода классификации, методы обертки, основанные на информации о важности признаков, полученной от методов классификации или регрессии, и поэтому могут определить более глубокие закономерности в данных, чем фильтры, встроенные методы, выполняющие отбор признаков во время процедуры обучения классификатора и явно оптимизирующие набор используемых признаков для повышения точности. Получены следующие результаты: проанализированы различные техники предварительной обработки и оценки информативности признаков при определении параметров контроля сетевой инфраструктуры для более эффективного интеллектуального анализа состояния сетевой инфраструктуры. Исследованы результаты применения методов отбора признаков для упрощения различных моделей машинного обучения. Сформирован минимальный набор параметров, необходимых для мониторинга состояния сетевой инфраструктуры. **Выводы**: Применение методов отбора признаков позволило уменьшить входной набор параметров для методов классификации состояния сетевой инфраструктуры.

Ключевые слова: машинное обучение; отбор признаков; методы фильтрации; методы обертки; встроенные методы; сети.

Selection of network infrastructure monitoring parameters to classify network status

V. Martovytskyi, I. Ruban, O. Sievierinov, N. Bolohova

The subject of research in the article is the stage of preliminary data processing for machine learning algorithms and consideration of various pre-processing techniques and evaluation the informativeness of features-based parameters network infrastructure monitoring for effective intellectual state analysis. **The aim** of the work - to consider various data preprocessing techniques and evaluation of informativeness for determining controls parameters of network infrastructure for more efficient intellectual analysis. The article solves following **tasks**: consideration of methods for selecting parameters; parameter determination for assessing the state of a network filtration methods, based on algorithms that are not related to classification methods; wrapper methods, based on importance features information, obtained from classification or regression methods, which can determine data deeper patterns; embedded methods that perform feature selection during the classifier training procedure and optimize the set of features used to improve accuracy. **Results**: various preliminary processing techniques and evaluation of informativeness of feature were analyzed to determine the parameters of network infrastructure monitoring. The results of feature selection methods were analyzed to simplify the different machine learning models. The minimum parameters set has been formed for monitoring the state of the network infrastructure. **Conclusions**: The use of feature selection methods made it possible to reduce the input parameter set for classifying the state of the network infrastructure methods.

Keywords: machine learning; feature selection; filtration methods; wrapping methods; embedded methods; networks.

Information systems modeling

УДК 519.876:316.485.22

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.02

В. Ю. Дубницкий¹, Г. Г. Зубрицкая², А. М. Кобылин¹¹ Харьковський учебно-научний інститут ГВУЗ Університета банківського дела, Харків, Україна² Ягеллонський університет, Краков, Польща

ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА УЧАСТНИКОВ МАССОВЫХ ПРОТЕСТНЫХ АКЦИЙ

Выполнен краткий литературный обзор по проблеме моделирования массовых протестных акций. Показано, что изучение этого общественного феномена было начато в конце XIX века. В настоящее время в рассматриваемой проблеме выделилось два направления. Первое – социологическое, и второе, в котором массовые протестные акции стали предметом изучения методами исследования операций. Показано, что в настоящее время появился такой источник влияния, как социальные сети. Это обстоятельство необходимо учитывать при построении математических моделей массовых протестных акций. Для модели, устанавливающей связь между уровнем ВВП и уровнем социальной напряженности, построена функция эластичности уровня социальной напряженности в обществе по величине относительного уровня величины ВВП. Показано, что относительное приращение величины ВВП снижает относительный уровень социальной напряженности. Рассмотрена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая изменение во времени относительного количества участников массовых протестных акций. Для определения погрешностей их определения в результате погрешностей определения численных значений переменных и параметров модели использованы методы приближенных вычислений. Показано, что эти методы приводят к усложнению процесса идентификации модели. Для упрощения определения погрешностей использованы методы интервальных вычислений с числами, определёнными в системе центр – радиус. Получено выражение для степенной функции для аргументов, заданных в системе центр – радиус. Для решений приведенной модели выполнено интервальное оценивание количества участников массовых протестных акций. Полученные результаты позволяют прогнозировать долю лиц, принимающих участие в массовых протестных акциях. Они также могут быть использованы органами правопорядка для планирования мероприятий по обеспечению безопасности при проведении массовых протестных акций.

Ключевые слова: массовые протестные акции; нелинейные дифференциальные уравнения; методы вычислений; теория погрешностей; интервальные вычисления.

Введение

Массовые протестные акции, вследствие которых происходят смены правительств, а то и правящих режимов или, даже, систем государственного управления, имеют давнюю историю. Однако предметом научных исследований они стали в конце XIX века. Пионером в этой области стал Гюстав Лебон (1841–1931). Его работа «Психология народов и масс» [1], первое издание вышло в 1895 г, ознаменовала рождение новой области знаний – социальной психологии. Бурные события начала XX века привели к пониманию того, что вне зависимости от целей, которые ставят организаторы массовых протестных акций, в технологии их проведения имеется много общих черт. Одной из первых работ такого рода стала работа [2], (первое издание – 1931 г.), вышедшая под красноречивым названием «Техника государственного переворота». В ней автор, на основе анализа массовых протестных акций в различных странах Европы, имевших место в первой четверти XX века, выполнил классификацию их типов, намеренно отвлекаясь от идеологической окраски и целей, заявленных их руководителями. В годы Второй Мировой Войны методы психологического воздействия на умы людей, для достижения нужных организаторам этих воздействий целей, получили название психологической войны. Способы ведения психо-

логической войны, использованные в этот период, подробно рассмотрены в работе [3], первое издание вышло в 1954 г. В конце XX века эти методы получили название методов политтехнологии. Целью этого вида деятельности является подготовка и разработка политики, политических акций, имиджа политиков и политических партий для достижения определённых политических целей. Людей, использующих эти методы, стали называть политтехнологами. Ну, а если есть специалисты, то должны быть и справочники для них, носящие весьма откровенные названия. Например, такое, как работа [4]. Результаты работ по этой тематике, полученные в последние годы, изложены в работе [5]. Следует отметить, и это важно для последующего изложения, что причины массовых протестных акций не так очевидны, как это казалось раньше. Длительное время преобладало мнение о том, что в основе массовых протестных акций лежит, прежде всего, недовольство материальным положением протестующих. Об этом очень точно сказано в известной пьесе Бертольда Брехта: «Трёхгрошовая опера» [6, С. 220]:

Вы учите нас честно жить и строго,
Не воровать, не лгать и не грешить.
Сначала дайте нам пожрать немного,
А уж потом учите честно жить
Поборник благонравья и добра,
Ханжа и скромник с толстым животом!

Раз навсегда запомнить вам пора:
Сначала хлеб, а нравственность – потом.
Добейтесь, чтоб людская голь сначала
Ломоть от каравая получала.

Следует отметить, что это предположение считали общепринятым до появления массовых протестных акций в относительно благополучных государствах. Изменение условий жизни и появление новых средств массовых коммуникаций привели во многих случаях к новым побудительным причинам массовых протестных акций. Подробно это рассмотрено в работе [7]. В этой работе показано, что наиболее высокие риски дестабилизации имеют страны со средним уровнем ВВП на душу населения. Только при высоком уровне ВВП есть тенденция к уменьшению этих рисков.

Среди работ, в которых рассмотрены модели массовых беспорядков в современных условиях, следует выделить работы [8–9]. В них рассмотрены социально-экономические причины, вызвавшие эти беспорядки. В частности, в работе [8] показано влияние виртуального протестного общения на увеличения количества реально протестующих лиц и отмечено появление новой специфической среды – виртуальной толпы. В работе [9] уже не только проанализированы социально-экономические причины, вызывающие протестные настроения у части общества, но и предложены количественные индикаторы этих причин. Особо следует отметить работы [10–11], авторы которых показали на конкретных примерах, что слишком быстрый экономический рост тоже может быть причиной массовых протестных акций. Такая ситуация может возникнуть из-за неосуществления завышенных социальных ожиданий их участников.

Причины возникновения массовых протестных акций оказались не только в центре внимания специалистов в области социальной психологии, но и специалистов в области исследования операций.

Анализ литературы. Условно принято, что одной из первых работ по применению математических методов для моделирования социально-экономических процессов была работа [12]. В этой работе была предложена модель для оценки влияния развития сети железных дорог в США на развитие чёрной металлургии и связанные с этим социальные процессы. Особенностью этой работы было использование первичных архивных материалов с 1840 по 1860 г.г. Таким образом, в этой работе, возможно впервые, был использован математический аппарат для анализа архивных данных о количестве участников массовых протестных акций. В первые десятилетия XX века в России также начали проводить подобные исследования. Однако они были прерваны внешними причинами, а судьбы многих исследователей трагически оборвались. Истории судеб этих людей и краткое содержание их работ изложены в работе [13]. В последней трети XX века завершилось формирование научного направления, в котором рассматривают возможности использования количественных методов для анализа социальных и исторических процессов. Это направление получи-

ло название клиометрики или клиометрии. Его современное состояние описано в работах [14, 15].

В настоящее время для моделирования социальных процессов стали использовать нелинейные дифференциальные уравнения. Это научное направление стали называть нелинейной динамикой. Основополагающие принципы применения методов нелинейной динамики для анализа социальных процессов рассмотрены в работе [16]. В работе [17] рассмотрены возможности моделей нелинейной динамики для качественного моделирования социальных процессов. В этой работе правильно, по мнению авторов настоящего сообщения, отмечено, что эти методы позволяют государственным структурам разрабатывать соответствующие упреждающие воздействия, необходимые для стабилизации ситуации в обществе. Непосредственное отношение к тематике данного сообщения имеют работы [18–19]. В этих работах предложены нелинейные дифференциальные модели массовых беспорядков, охватывающих отдельный регион или страну в целом. Предметом моделирования было выбрано стачечное движение в России в начале XX века. Было показано, что начиная с некоторого количества участников, начинают проявляться эффекты самоорганизации. Отмечено также, что анализ таких моделей даёт важные сведения о качественном протекании процесса, но точность определения количества участников массовых акций ограничена точностью определения параметров модели. Отмечено также существенное расхождение оценок количества участников, приведенное в официальных и неофициальных материалах. Применение моделей нелинейной динамики при анализе полученных решений естественно приводит к анализу возникающих при этом катастроф и их анализу. В частности, в работе [20] получены нелинейные дифференциальные уравнения взаимодействия элиты и трудящихся. Показана возможность возникновения катастрофы типа складки при изменении количества стационарных точек решения уравнения.

В технологию проведения массовых протестных акций и мобилизацию их участников существенную новизну внёс фактор появления социальных сетей. Это обстоятельство рассмотрено в работах [8; 21].

В работе [8] показано влияние виртуального протестного общения на увеличения количества реально протестующих лиц и отмечено появление специфической среды – виртуальной толпы. В работе [21] предложена модель информационно-психологического воздействия деструктивного характера, распространяющегося в социальных сетях, в виде нелинейного дифференциального уравнения с её подробным исследованием и проведен детальный анализ опыта моделирования человеческого поведения. В цитируемой работе сделан вывод, что математические модели динамики информационно-психологического воздействия на современном этапе развития психологической науки перспективны лишь применительно к массовому сознанию. Утверждается, что модель дала хороший результат в ее приложении к описанию распространению идей “арабской весны” через социальные сети.

В работе [22] было введено понятие уровня нестабильности и описан способ его определения. В этой работе показано, что положительна корреляция между уровнем ВВП и уровнем нестабильности для более бедных стран более заметна, чем отрицательная корреляция для богатых стран. Исследование этого обстоятельства подробно выполнено в работе [23]. Для связи между уровнем ВВП и уровнем социальной напряженности получено выражение вида:

$$P = \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arctg \left(\frac{b\Delta E}{E} \right) \right) \right]^n, \quad (1)$$

где P – напряженность в обществе; E – уровень ВВП; ΔE – приращение ВВП. График этой зависимости при $b = 20$ и $n = 2$ приведен в цитируемой работе и показан на рис. 1.

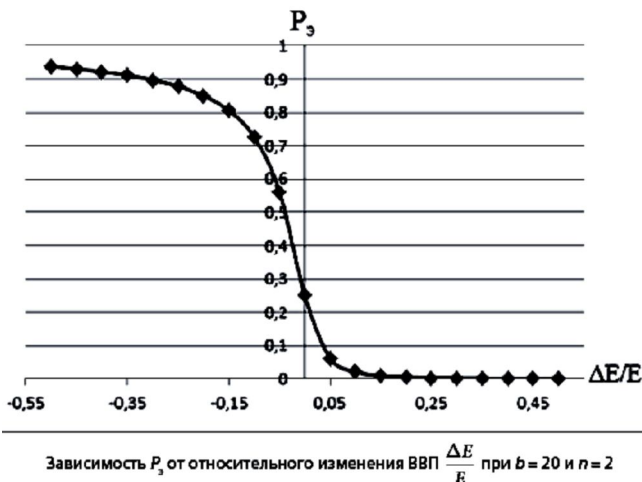


Рис. 1. Зависимость величины напряженности в обществе P от величины относительного приращения ВВП (по данным работы [22])

Действительно, с возрастанием относительного уровня изменения ВВП социальная напряженность в обществе уменьшается. Примем, что $\Delta E / E = \varepsilon$. Тогда:

$$P = \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{\pi} \arctg (b\varepsilon) \right) \right]^n. \quad (2)$$

Для определения относительного приращения уровня социальной напряженности P по отношению к относительному приращению величины P , то есть величины используем понятия эластичности P по ε :

$$E_\varepsilon(P) = \frac{dP}{d\varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{P}; \quad (3)$$

$$\frac{dP}{d\varepsilon} = \frac{2^{1-n} b n \left[(\pi - 2 \arctg (b\varepsilon) / \pi) \right]^n}{\left[2 \arctg (b\varepsilon - \lambda) \right] \cdot (b^2 \varepsilon^2 + 1)}. \quad (4)$$

Следовательно:

$$E_\varepsilon(P) = 2b\varepsilon / \left(\left[2 \arctg (b\varepsilon - \lambda) \right] \cdot (b^2 \varepsilon^2 + 1) \right). \quad (5)$$

График этой зависимости показан на рис. 2.

Из рис. 1, 2 видно, что относительное приращение величины ВВП снижает относительный уровень социальной напряженности.

Однако, более внимательное изучение этого явления, с учётом выводов работ [10–11], привело исследователей к выводу о том, что такая зависимость имеет более сложный вид.

Например, в работе [7] показано, что наиболее высокие риски дестабилизации имеют страны со средним уровнем ВВП на душу населения. Только при высоком уровне ВВП есть тенденция к уменьшению этих рисков.

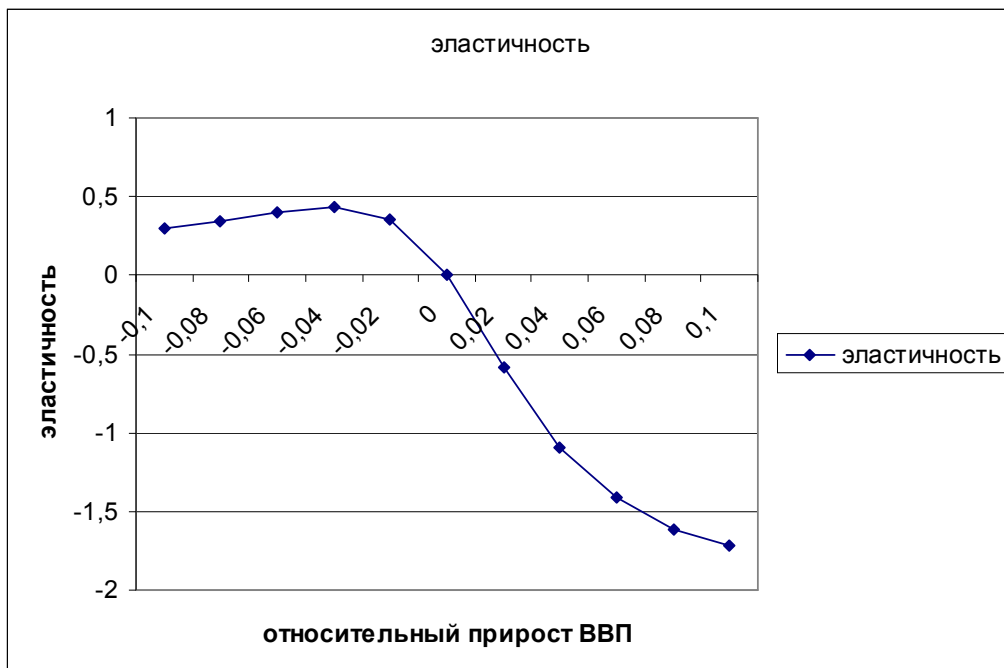


Рис. 2. Эластичность уровня напряженности в обществе P по переменной ε – относительному уровню величины ВВП

Для дальнейшего изложения результатов данной работы наиболее важны работы [24–25].

Работа [24] была выполнена по результатам изучения массовых протестных акций в Лейпциге в 1989-1990 г.г. В этой работе для моделирования динамики количества участников этих акций предложена система нелинейных дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = -\alpha N_1 N_2 + \theta N_2; \\ \frac{dN_2}{dt} = \alpha N_1 N_2 + \delta N_3 - \beta N_2 N_3 - \eta N_2^2 - \theta N_2; \\ \frac{dN_3}{dt} = -\delta N_3 + \beta N_2 N_3 + \eta N_2^2, \end{cases} \quad (6)$$

при

$$N_1 + N_2 + N_3 = 1 \quad (7)$$

В рамках модели принято, что N_1 – доля пассивных людей, не участвующих в протестных акциях; N_2 – доля возбуждённых людей, потенциальных участников протестных акций, испытывающих дискомфорт из-за социально-политической ситуации в обществе; N_3 – доля лиц, участвующих в протестной акции. Начальные условия приняты такие:

$$N_1(0) = N_{10}, \quad N_2(0) = N_{20}, \quad N_3(0) = 0.$$

Величины N_i , $i = 1, 2, 3$ – переменные модели, $\alpha, \beta, \delta, \eta, \theta$ – параметры модели. Способ их определения предложен в этой же работе.

Решение системы (6) при условии (7) получено в работе [25]. При решении этой системы авторы работы [25] приняли, что величина $\theta = 0$. Подобное предположение, по их мнению, допустимо потому, что переход из протестного состояния в невозбуждённое возможен только при удовлетворении требований протестующих. Полученное решение приведено в виде:

$$N_3 = \frac{-2c(1 - \exp(zt))}{b(1 - \exp(zt)) + z(1 + \exp(zt))}; \quad (8)$$

$$z = \sqrt{b^2 - 4ac}; \quad (9)$$

$$a = \eta - \beta; \quad (10)$$

$$b = (\beta - 2\eta)(1 - N_{10}) - \delta; \quad (11)$$

$$c = \eta(1 - N_{10})^2. \quad (12)$$

Для величины N_1 получено выражение:

$$N_1 = \frac{N_{10}}{N_{10} + (1 - N_{10}) \exp(\alpha t)}. \quad (13)$$

В работах [24–25] отмечено, что точность полученных результатов существенно зависит от величин погрешностей при определении начальных условий и параметров модели.

По мнению авторов данного сообщения, модель вида (6) может служить основой для выполнения расчётов, необходимых органам правопорядка при проведении мероприятий по обеспечению общественной безопасности. В тех же случаях, когда ситуация может выйти из под контроля, стоит воспользоваться рекомендациями работы [26, С. 77]:

Чтоб там речей не тратить по - пустому,
Где нужно власть употребить.

Модели действия силовых структур в этом случае описаны в работах [27–28]. В этих работах предложена модель рефлексивной игры для выбора наилучшего варианта действий при противодействии массовым беспорядкам и двумерная имитационная модель, позволяющая определить возможные места сосредоточения элементов толпы. Параметрами модели служат геометрические характеристики плоскости развития массовых беспорядков и отдельных элементов толпы.

Постановка задачи. Использование математической модели любого процесса предполагает определение вычислительных погрешностей при её применении. Поэтому, цель работы – определение относительных вычислительных погрешностей при оценивании количества участников массовых протестных акций с использованием модели, представленной условиями (6–7).

Полученные результаты

Причины появления погрешностей при использовании выражения (6) можно разделить на две группы. Погрешности первой группы, условно назовём их статистическими, вызваны самим процессом получения оценок параметров модели. Исходными данными для их определения служат данные о количестве участников массовых протестных акций, сгруппированные по признакам их отношения к происходящему. Эти сведения можно считать случайными величинами. Таким образом, для корректной идентификации параметров модели вида (6) следует применять такую разновидность регрессионного анализа, как конъюнктный анализ. Основным его допущением служит предположение о том, что переменные модели определены со случайными ошибками. Более подробно этот вид анализа данных описан в работе [29]. Для дальнейшего исследования примем, что коэффициенты модели уже определены. Примем, что абсолютная погрешность их определения равна ширине доверительного интервала, определённого с тем уровнем доверительной вероятности, который исследователь считает для себя приемлемым. Аналогичное допущение примем и при определении абсолютной погрешности переменных модели вида (6). Следовательно, с учётом принятых допущений задача определения относительной погрешности количества участников массовых протестных акций сведена к задаче определения относительной погрешности, возникающей при использовании выражений вида (8) и (13).

Из теории приближенных вычислений, например, работа [30], известно, что для функции вида

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ предельная относительная ошибка равна

$$\varepsilon[y] = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{1}{y} \right| \Delta x_i, \quad (14)$$

где Δx_i – предельная абсолютная погрешность определения i -й переменной.

Для определения величины $\varepsilon[N_3]$ применён следующий порядок вычисления предельных относительных погрешностей, для условий, определяемых соотношениями (8–12):

$$(12) \rightarrow (11) \rightarrow (10) \rightarrow (9) \rightarrow (8).$$

Для этих выражений результат применения условия (14) представим, опуская промежуточные действия ввиду их очевидности, в таком виде.

Для условия (12) получим, что:

$$\varepsilon[c] = \left| \frac{1}{\eta} \right| \Delta(\eta) + \left| \frac{2}{1 - N_{10}} \right| \Delta(N_{10}). \quad (15)$$

Для условия (11) получим, что:

$$\varepsilon[b] = A_1 + A_2 + A_3; \quad (16)$$

где

$$A_1 = \left| \frac{1 - N_{10}}{(\beta - 2\eta)} \right| \Delta\beta; \quad (17)$$

$$A_2 = \left| \frac{2(N_{10} - 1)}{(\beta - 2\eta)(1 - N_{10}) - \delta} \right| \Delta\eta; \quad (18)$$

$$A_3 = \left| \frac{2\eta - \beta}{(\beta - 2\eta)(1 - N_{10}) - \delta} \right| \Delta N_{10}. \quad (19)$$

Для условия (10) получим, что:

$$\varepsilon[a] = \left| \frac{1}{\eta - \beta} \right| \Delta\eta + \left| \frac{-1}{\eta - \beta} \right| \Delta\beta. \quad (20)$$

Для условия (9) получим, что:

$$\varepsilon[b] = B_1 + B_2 + B_3; \quad (21)$$

где

$$B_1 = \left| \frac{b}{b^2 - 4ac} \right| \Delta b; \quad (22)$$

$$B_2 = \left| \frac{2c}{b^2 - 4ac} \right| \Delta a; \quad (23)$$

$$B_3 = \left| \frac{-2a}{b^2 - 4ac} \right| \Delta c. \quad (24)$$

Для условия (8) получим, что:

$$\varepsilon[N_3] = \varepsilon[z] = \left| \frac{1}{c} \Delta c \right| + \left| \frac{-1}{b} \Delta b \right| + \left| \frac{\exp(2tz) - 2tz \exp(z) - 1}{\exp(2tz) \cdot (z - 1) + 2 \exp(tz) - z - 1} \right| \Delta z. \quad (25)$$

Особенность условия (25) в том, что предельная относительная ошибка величины N_3 , соответст-

вующей доле лиц, участвующих в протестной акции, будет функцией времени. Это обстоятельство усложняет решение поставленной задачи. Пусть:

$$U = \frac{\exp(2tz) - 2tz \exp(z) - 1}{\exp(2tz) \cdot (z - 1) + 2 \exp(tz) - z - 1}. \quad (26)$$

Тогда:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} U = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{t(z+1)}{\exp(tz) \cdot (z-1) + z+1} + \frac{2}{(z-1) \cdot [\exp(tz) \cdot (z-1) + z+1]} + \frac{t}{\exp(tz) - 1} - \frac{1}{z-1} \right) = -\frac{1}{z-1}. \quad (27)$$

Для получения этого выражения была использована система компьютерной алгебры DERIVE. Следовательно:

$$\varepsilon[z] = \left| \frac{1}{c} \Delta c \right| + \left| \frac{-1}{b} \Delta b \right| + \left| -\frac{1}{z-1} \right| \Delta z. \quad (28)$$

Очевидно, что исходя из содержательного смысла задачи, этот предельный переход неприемлем для любой из сторон, участвующих в конфликте. Поэтому для решения поставленной задачи, по мнению авторов данного сообщения, следует использовать способ, более отвечающий реальным возможностям определения погрешностей переменных величин и параметров модели. В работе [31] было показано, что для оценки влияния неопределённости при определении исходных данных на неопределённость получаемых результатов целесообразно использовать интервальные вычисления с интервальными числами, определёнными в системе центр – радиус. Основные принципы действий с интервальными числами в этом случае изложены в работе [32]. В работе [33] описан специализированный программный калькулятор для осуществления соответствующих вычислительных операций. Для выполнения вычислений использованы следующие операции: “+”, “-”, “×”, “÷”, “ e^x ”, “ x^a ”.

В соответствии с этими работами рассмотрим множество действительных чисел R , на котором определим интервальное число A в виде замкнутого интервала:

$$A = (a, \bar{a}) = (a_1, a_2), \quad a \leq \bar{a}; \quad a_1 \leq a_2, \quad (29)$$

и представим в виде:

$$A = \langle a, r_a \rangle, \quad (30)$$

$$\text{где } a = \frac{a_1 + a_2}{2}, \quad r_a = \frac{a_2 - a_1}{2}, \quad a, r_a \in R. \quad (31)$$

В рамках данной работы примем, что границы интервалов, которые ограничивают рассматриваемые числа, образованы вычислительными ошибками, погрешностями измерений или неполным знанием области изменения некоторой физической величины.

Поэтому в условии (30) должны быть выполнены неравенства:

$$a \geq r_a \geq 0, \quad b \geq r_b \geq 0, \quad (32)$$

иначе будем считать, что задача, в рамках наших представлений об исследуемом объекте, физическо-го смысла не имеет.

При применении системы центр-радиус действия сложения и вычитания с интервальными числами выполняют по следующим правилам:

$$A + B = \langle a + b, r_a + r_b \rangle; \quad (33)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a + r_b \rangle. \quad (34)$$

Рассмотрим основные арифметические операции в том случае, когда один из операндов – постоянное число.

В системе центр-радиус, постоянное число C представим в виде $C = \langle c, 0 \rangle$. Примем, что $A = \langle a, r_a \rangle$ и $B = \langle b, 0 \rangle$. Тогда операции сложения и вычитания представим в виде:

$$A + B = \langle a + b, r_a \rangle; \quad (35)$$

$$A - B = \langle a - b, r_a \rangle. \quad (36)$$

Операция умножения и деления в системе центр-радиус в виде:

$$\langle a, r_a \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab + r_a r_b, ar_b + br_a \rangle; \quad (37)$$

$$\frac{\langle a, r_a \rangle}{\langle b, r_b \rangle} = \left\langle \frac{ab + r_a r_b}{b^2 - r_b^2}, \frac{ar_b + br_a}{b^2 - r_b^2} \right\rangle. \quad (38)$$

Для умножения интервального числа, представленного в системе центр-радиус, на постоянную величину примем, что:

$$AB = \begin{cases} \langle a, 0 \rangle \langle b, r_b \rangle = \langle ab, ar_b \rangle, A = \text{const}, B \neq \text{const}; \\ \langle a, r_a \rangle \langle b, 0 \rangle = \langle ab, br_a \rangle, A \neq \text{const}, B = \text{const}. \end{cases} \quad (39)$$

При операции деления интервального числа на постоянное число получим, что:

$$\frac{A}{B} = \frac{\langle a, r_a \rangle}{\langle b, 0 \rangle} = \left\langle \frac{ab}{b^2}, \frac{br_a}{b^2} \right\rangle = \left\langle \frac{a}{b}, \frac{r_a}{b} \right\rangle \quad (40)$$

или

$$\frac{A}{B} = \frac{\langle a, 0 \rangle}{\langle b, r_b \rangle} = \left\langle \frac{ab, ar_b}{b^2 - r_b^2} \right\rangle = \left\langle \frac{ab}{b^2 - r_b^2}, \frac{ar_b}{b^2 - r_b^2} \right\rangle. \quad (41)$$

В нашем случае, исходя из содержательного смысла модели, показатель экспоненты положителен, то, согласно работе [33], численное значение экспоненты будем определять по условию:

$$e^{\langle x, r_x \rangle} = 1 / \left[\sum_{k=0}^6 \langle a, r_a \rangle_k \langle x, r_x \rangle^k \right]^{-4}, \quad (42)$$

так как

$$\left(x^a = \exp(a \ln x) \right) \Rightarrow \left(\sqrt{x} = \exp\left(\frac{1}{2} \ln x\right) \right). \quad (43)$$

В нашем случае получим, что

$$\sqrt{\langle x, r_x \rangle} = \exp\left(\frac{1}{2} \ln \langle x, r_x \rangle\right). \quad (44)$$

Логарифмическую функцию, следуя работе [33], представим в виде:

$$\ln \langle x, r_x \rangle = \sum_{i=1}^6 \langle a_i, 0 \rangle \left[\langle -1; 0 \rangle^{i-1} + \frac{\langle 1; 0 \rangle}{\langle x, r_x \rangle^i} \right] \frac{(\langle x, r_x \rangle - \langle 1; 0 \rangle)^i}{\langle i; 0 \rangle}. \quad (45)$$

Коэффициенты a_i , необходимые для вычисления величины $\ln \langle x, r_x \rangle$, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значение коэффициентов для приближения функции $\ln(x)$

a_1	0,500000	a_4	0,030303
a_2	0,227273	a_5	0,007576
a_3	0,090909	a_6	0,0001082

Оценим, используя полученные результаты, предельную относительную погрешность для условия (13). Тогда, используя условие (14) для условия (13) получим, что:

$$\varepsilon[N_{10}] = \left| \frac{\exp(\alpha t)}{N_{10} [N_{10} - \exp(\alpha t) \cdot (N_{10} - 1)]^3} \right| \times \times \Delta[N_{10}] + \left| \frac{t \exp(\alpha t) (1 - N_{10})}{\exp(\alpha t) (N_{10} - 1) - N_{10}} \right| \Delta \alpha. \quad (46)$$

Рассмотрим применение полученных результатов на примере численных данных о значениях параметров модели [6], приведенных в работе [25].

Для прогнозирования доли лиц, не принимающих участие в протестных акциях, величины N_{10} , используем выражение (13). Примем, что величина $\alpha = 0,9$. Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что с увеличением продолжительности массовой протестной акции доля лиц, не участвующих в ней, резко уменьшается. Условно примем, что относительная погрешность в определении величин N_{10} и α одинакова и равна величине $\varepsilon = 0,15$. Тогда при $N_{10} = 0,4$ используя условие (30) получим, что:

$$[N_{10}] = \langle 0, 4; 0, 06 \rangle = [0, 36; 0, 46];$$

$$[\alpha] = \langle 0, 9; 0, 135 \rangle = [0, 765; 1, 035].$$

Результаты вычислений значений условия (13) и выполненные в интервальном виде представлены в табл. 3.

Для интервального оценивания доли лиц, принимающих участие в протестных акциях, использу-

ем условия (8–11) и границы интервалов, указанные в работе [25]. Эти данные приведены в табл. 4.

Таблица 2 – Прогнозирование доли лиц, не участвующих в протестных акциях

Доля лиц, не участвующих в протестных акциях, N_{10}	Продолжительность протестной акции в условных единицах времени, t		
	2	4	6
0,2	0,04	0,007	$1 \cdot 10^{-3}$
0,4	0,1	0,02	$3 \cdot 10^{-3}$
0,6	0,6	0,04	$6 \cdot 10^{-3}$
0,8	0,4	0,1	0,017

Таблица 3 – Прогнозирование доли лиц, не участвующих в протестных акциях, выполненное в интервальном виде

	Доля лиц не участвующих в протестных акциях		
	Нижняя граница интервала	Центр интервала	Верхняя граница интервала
2	0,08	0,1	0,124
4	0,015	0,02	0,025
6	0,002	0,003	0,004

Таблица 4 – Интервалы параметров модели, используемой для прогнозирования доли лиц, участвующих в протестных акциях

Границы интервалов параметров модели	Параметры модели					
	α	β	η	a	b	c
Нижняя граница	0,792	1,869	0,456	-1,947	0,21	0,16
Верхняя граница	1,008	2,331	0,544	-1,353	0,63	0,63

Результаты вычислений показаны на рис. 3. Время протестной акции принято условное. Масштаб времени зависит от масштаба времени, приня-

того при построении модели (8–12). При построении графика на рис. 3 принят условный масштаб времени.

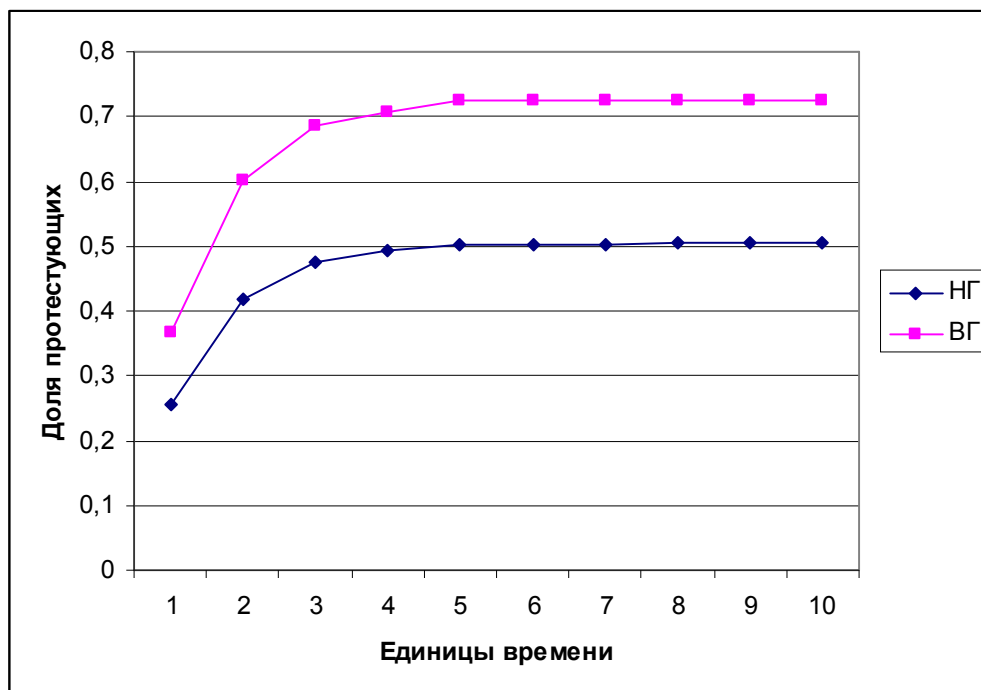


Рис. 3. Интервальное прогнозирование доли лиц, участвующих в протестных акциях: НГ – нижняя граница интервала, ВГ – верхняя граница интервала

Полученные результаты позволяют прогнозировать долю лиц, принимающих активное участие в массовых протестных акциях. Они также могут быть использованы как составная часть программного продукта, предназначенного для планирования органами правопорядка мероприятий по обеспечению безопасности при проведении массовых протестных акций.

Выводы

1. Выполнен краткий литературный обзор по проблеме моделирования массовых протестных акций. Показано, что изучение этого общественного феномена было начато в конце XIX века. В настоящее время в рассматриваемой проблеме выделено два направления. Первое – социологическое и второе, в котором массовые протестные акции стали предметом изучения методами исследования операций.

2. Показано, что в настоящее время появился такой источник влияния, как социальные сети. Это обстоятельство необходимо учитывать при построении математических моделей массовых протестных акций.

3. Для модели, устанавливающей связь между уровнем ВВП и уровнем социальной напряженности, построена функция эластичности уровня социальной напряженности в обществе по величине относительного уровня величины ВВП.

Показано, что относительное приращение величины ВВП снижает относительный уровень социальной напряженности.

4. Рассмотрена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая изменение во времени относительного количества участников массовых протестных акций. Для определения погрешностей их определения в результате погрешностей определения численных значений переменных и параметров модели использованы методы приближенных вычислений.

5. Показано, что эти методы приводят к усложнению процесса идентификации модели.

6. Для упрощения определения погрешностей использованы методы интервальных вычислений с числами, определёнными в системе центр – радиус.

7. Получено выражение для степенной функции для аргументов, заданных в системе центр – радиус.

8. Для решений приведенной модели выполнено интервальное оценивание количества участников массовых протестных акций.

9. Полученные результаты позволяют прогнозировать долю лиц, принимающих участие в массовых протестных акциях. Они также могут быть использованы органами правопорядка для планирования мероприятий по обеспечению безопасности при проведении массовых протестных акций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебон Г. Психология народов и масс / Г. Лебон. – Москва: Академический проспект, 2011. – 238 с.
2. Малапарте К. Техника государственного переворота / К. Малапарте. – Москва: Аграф, 1998. – 224 с.
3. Лайнберджер П. Психологическая война / П. Лайнберджер. – Москва: Воениздат, 1962. – 350 с.
4. Luttwak Edward. Coup d'état: a practical handbook / Edward Luttwak. - Harvard University Press, 1979. – 304 p.
5. Почепцов Г. Революция.com – Основы протестной инженерии / Г. Почепцов. – Москва: ЕВРОПА, 2005. – 520 с.
6. Брехт Б. Театр / Б. Брехт. – Москва: Искусство, 1963. – 518 с.
7. Коротаев А. В. Экономический рост и социально-политическая дестабилизация: опыт глобального анализа / А. В. Коротаев, С. Э. Биллота, А. Р. Шишкина // Полис. Политические исследования. – 2017. – № 2. – С. 155-169. – DOI: <https://doi.org/10.17976/jpps/2017.02.11>.
8. Бодюл Л. В. Теоретичні аспекти моделювання протестного іміджу в соціальній мережі / Л. В. Бодюл // Держава і регіони. – 2016. – № 2 (26). – С. 77-86.
9. Габа О. И. Протестные настроения молодежи: теоретическая и эмпирическая каузальные модели [Электронный ресурс] / О. И. Габа // Информационный гуманитарный портал «Знание. Понимание. Умение». – 2015. – № 1. – С. 43-57. – URL: http://zpu-journal.ru/e-zpu/2015/1/Gaba_Protest-Moods-Youth/.
10. Хантингтон С. Политический порядок в меняющихся обществах / С. Хантингтон. – М.: Прогресс-Традиция, 2004.
11. Olson M. Rapid Grows as a Destabilizing Force Economic / M. Olson // Journal of Economic History. – 1963. – Vol. 23, № 4. – P. 529-552.
12. Fogel R. W. The new economic history, its finding and methods / R. W. Fogel // Economic History Reviv. – 1966. – XIX (December 1966). – P. 642-656.
13. Jasny N. Soviet Economists of the Twenties: names to be remembered. – New York: Cambridge University Press, 1972.
14. Святець Ю. А. Кліометрика. Інформаційні технології та інструменти : Підручник для іст. ф-тів вищих навч. закладів / Ю. А. Святець, П. К. Доорн. – Дніпропетровськ: ДДУ, 1998. – 248 с.
15. Святець Ю. А. Кліометрика. Формально-кількісні та математико-статистичні методи : Підручник / Ю. А. Святець. – Дніпропетровськ: вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2003. – 384 с.
16. Малинецкий Г. Г. Нелинейная динамика и «историческая механика» / Г. Г. Малинецкий // Общественные науки и современность. – 1997. – № 2. – С. 103-109.
17. Польовий М. А. Нелінійна динаміка сучасних політичних процесів / М. А. Польовий // Вісник Одеського національного університету. Соціологія і політичні науки: Науковий журнал. – 2011. – Т. 16. – Вип. 8. – С. 118-124.
18. Андреев А. Ю. Нелинейная модель стачечного движения: анализ эффектов самоорганизации / А. Ю. Андреев, Л. И. Бородин // Крут идей: электронные ресурсы исторической информатики. Ред. Л. И. Бородин, В. Н. Владимиров. – Москва, 2003. – С. 434-489.
19. Калпак Е. П. Математическая модель стачечного движения в России в начале XX века / Е. П. Калпак, А. И. Бронникова, В. Ю. Полежаев // Молодой учёный. – 2015. – № 3 (83). – С. 4-15.
20. Каменецкий С. Е. О влиянии нелинейных эффектов на стабильность общества / С. Е. Каменецкий, З. Х. Хосаева, Е. К. Бакаева // Математические заметки Северо-Восточного Федерального Университета. – 2015. – Т. 22, № 3. – С. 78-83.

21. Минаев В. А. Обоснование и описание модели динамики информационно-психологических воздействий деструктивного характера в социальных сетях / В. А. Минаев, С. В. Дворянkin // Безопасность информационных технологий. – 2016. – №3. – С. 35-48.
22. Коротаев А. Гипотеза Олсона-Хантингтона о криволинейной зависимости между уровнем экономического развития и социально-политической дестабилизацией: опыт количественного анализа / А. Коротаев, И. Васкин, С. Билуга // Социологическое обозрение. – 2017. – Т. 16. – № 1. – С. 9-49.
23. Басаева Е. К. Математическое моделирование изменения социальной напряженности в СССР в послевоенные годы / Е. К. Басаева, Е. С. Каменецкий, З. Х. Хосаева // Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании. – 2016. – № 1-2. – С. 12-19.
24. Lohman S. The dynamics of informational cascades: the Monday demonstration in Leipzig, East Germany, 1989 – 1991 / S. Lohman // World Politics. – 1994. – Vol. 47, No. 1, P. 42-101.
25. Хосаева З. Х. Математическая модель протестных акций / З. Х. Хосаева // Компьютерные исследования и моделирование. – 2015. – № 6 (Т. 7). – С. 1331-1341.
26. Крылов И. А. Басни / И. А. Крылов; издание подг. А. М. Могилянский – Москва: АН СССР, 1956. – 658 с.
27. Єрмошин М. О. Пропозиції щодо визначення області варіантів участі військової частини внутрішніх військ у припиненні масових заворушень / М. О. Єрмошин, В. В. Шулежко, С. П. Купін, М. М. Романюк // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 3 (27). – С. 85-89.
28. Дробаха Г. А. Комплексна модель дій натовпу під час проведення масових заходів / Г. А. Дробаха, Л. В. Розанова, В. Е. Лісцин, В. А. Музичук // Системи обробки інформації. – 2014. – № 8 (124). – С. 177-182.
29. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений: учебное пособие для вузов / А. А. Грешилов. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 584 с.
30. Демидович Б. П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М.: Наука, 1966. – 664 с.
31. Дубницький В. Ю. Оценка влияния неопределённости исходных данных на определённость результатов косвенных измерений / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылин, О. А. Кобылин // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2016. – Вип. 1. – С. 47-51.
32. Жуковська О. А. Основи інтервального аналізу / О. А. Жуковська. – К.: Освіта України, 2009. – 136 с.
33. Дубницький В. Ю. Вычисление значений элементарных и специальных функций с интервально заданным аргументом, определённым в системе центр-радиус / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылин, О. А. Кобылин // Прикладная радиоэлектроника. – 2017. – Т. 16, № 3-4. – С. 147-154.

REFERENCES

1. Le Bon, Gustave (2011), *The psychology of nations and the masses*, Akademicheskij prospect, Moscow, 238 p.
2. Malaparte, K. (1998), *Technology coup d'état*, Agraf, Moscow, 224 p.
3. Laynberdzher, P. (1962), *Psychological warfare*, Military Publishing, Moscow, 350 p.
4. Luttwak, Edward (1979), *Coup d'état: a practical handbook*, Harvard University Press, Cambridge, 304 p.
5. Pocheptsov, G. (2005), *Revolution.com - The basics of protest engineering*, Publishing House "EUROPE", Moscow, 520 p.
6. Brekht, B. (1963), *Theater*, Publishing House "Iskusstvo", Moscow, 518 p.
7. Korotayev, A.V., Bilyuta, S.E. and Shishkina, A.R. (2017), "Economic growth and socio-political destabilization: the experience of global analysis", *Polis: Journal of Political Studies*, No. 2, pp. 155-169, DOI: <https://doi.org/10.17976/jpps/2017.02.11>.
8. Bodiul, L.V. (2016), "Theoretical aspects of modeling a protest image in a social network", *State and regions*, No. 2 (26), pp. 77-86.
9. Gaba, O.I. (2015), "Protest Moods of Youth: Theoretical and Empirical Causal Models", *Knowledge. Understanding. Skill*, No. 1, pp. 43-57, available at: www.zpu-journal.ru/e-zpu/2015/1/Gaba_Protest-Moods-Youth, (accessed 9 September 2018).
10. Khantington, S. (2004), "Political order in changing societies", Publishing House "Progress-Traditsiya", Moscow.
11. Olson, M. (1963), "Rapid Grows as a Destabilizing Force Economic", *Economic History*, Vol. 23, No 4, pp. 529-552.
12. Fogel, R.W. (1966), "The new economic history, its finding and methods", *Economic History Review*, XIX, pp. 642- 656.
13. Jasny, Naum (1972), *Soviet Economists of the Twenties: names to be remembered*, Cambridge University Press, New York.
14. Sviatets, Yu.A. and Doorn, P.K. (1998), *Cliometric: Information Technology and Tools*, Publishing House of Dnepropetrovsk State University, Dnepropetrovsk, 248 p.
15. Sviatets, Yu.A. (2003), *Cliometric: Formal-quantitative and mathematical-statistical methods*, Publishing House of Dnepropetrovsk State University, Dnepropetrovsk, 384 p.
16. Malinetskiy, G.G. (1997), "Nonlinear dynamics and "historical mechanics", *Social sciences and modernity*, No. 2, pp. 103-109.
17. Polovyi, M.A. (2011), "Nonlinear Dynamics of Modern Political Processes", *Bulletin of Odessa National University. Sociology and political science. Scientific Journal*, Vol. 16 (8), pp. 118-124.
18. Andreyev, A.Yu. and Borodkin, L.I. (2003), "Nonlinear Model of Strike Movement: Analysis of the Effects of Self-Organization", *Circle of ideas: electronic resources of historical informatics*, pp. 434-489.
19. Kalpak E.P., Bronnikova, A.I. and Polezhayev, V.Yu. (2015), "Mathematical model of the strike movement in Russia at the beginning of the 20th century", *Molodoy uchenyy*, No. 3 (83), pp. 4-15.
20. Kamenetskiy, S.E., Khosayeva, Z.Kh. and Bakayeva, E.K. (2015), "On the influence of nonlinear effects on the stability of society", *Matematicheskiye zametki Severo-Vostochnogo Federalnogo Universiteta*, Vol. 22, No. 3, pp. 78-83.
21. Minayev, V.A. and Dvoryankin, S.V. (2016), "Justification and description of the model of the dynamics of information-psychological effects of destructive nature in social networks", *Bezopasnost informatsionnykh tekhnologiy*, No. 3, pp. 35-48.
22. Korotayev, A., Vaskin, I. and Bilyuga, S. (2017), "Olson-Huntington hypothesis on the curvilinear relationship between the level of economic development and socio-political destabilization: the experience of quantitative analysis", *Russian Sociological Review*, Vol. 16, No. 1, pp. 9-49.
23. Basayeva, E.K., Kamenetskiy, E.S. and Khosayeva, Z.Kh. (2016), "Mathematical Modeling of Social Tension Change in Postwar USSR", *Istoricheskaya informatika. Informatsionnyye tekhnologii i matematicheskiye metody v istoricheskikh issle-*

- dovaniyakh i obrazovanii*, No. 1-2, pp. 12-19, available at: www.kleio.asu.ru/2016/1-2/hcsj-122016_12-19.pdf (accessed 9 September 2018).
24. Lohman, S. (1994), The dynamics of informational cascades: the Monday demonstration in Leipzig, East Germany, 1989 – 1991, *World Politics*, Vol. 47, No. 1, pp. 42-101.
 25. Khosayeva, Z.Kh. (2015), “Matematicheskaya model protestnykh aktsiy” [Mathematical model of protest actions], *Computer Studies and Modeling*, Vol. 7, No. 6, pp. 1331-1341.
 26. Krylov, I.A. (1956), *Fables*, Publication of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 658 p.
 27. Yermoshyn, M.O., Shulezhko, V.V., Kupin, S.P. and Romaniuk, M.M. (2011), “Proposals for determining the scope of options for participation of the military unit of internal troops in stopping the riots”, *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 3(27), pp. 85-89.
 28. Drobakha, H.A., Rozanova, L.V., Lisitsyn, V.E. and Muzychuk, V.A. (2014), “Kompleksna model dii natovpu pid chas provedennia masovykh zakhodiv” [Comprehensive model of action of the crowd during mass events], *Information Processing Systems*, Vol. 8(124), pp. 177-182.
 29. Greshilov, A.A. (2006), *Mathematical methods of decision-making*, Bauman MSTU, Moscow, 584 p.
 30. Demidovich, B.P. and Maron, I.A. (1966), *Fundamentals of Computational Mathematics*, Nauka, Moscow, 664 p.
 31. Dubnitskiy, V.Yu., Kobylin, A.M. and Kobylin, O.A. (2016), “Estimation of the influence of the uncertainty of the initial data on the determination of the results of indirect measurements”, *Systems of control, navigation and communication*, Vol. 1, pp. 47-51.
 32. Zhukovska, O.A. (2009), *Fundamentals of interval analysis*, Osvita Ukrainy, Kyiv, 136 p.
 33. Dubnitskiy, V.Yu., Kobylin, A.M. and Kobylin, O.A. (2017), “Calculation of elementary and special function values with interval stated argument determined in center-radius system”, *Applied Radio Electronics*, Vol. 16, No. 3-4, pp. 147-154.

Надійшла (received) 16.09.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 14.11.2018

Інтервальне оцінювання кількості учасників масових протестних акцій

В. Ю. Дубницький, Г. Г. Зубрицька, А. М. Кобилін

Виконано стислий огляд публікацій щодо моделювання масових протестних акцій. Показано, що вивчення цього суспільного феномена було розпочато в кінці XIX століття. В даний час в зазначеній проблемі виділилося два напрямки. Перший - соціологічний і другий, в якому масові протестні акції стали предметом вивчення методами дослідження операцій. Також показано, що в даний час з'явився таке джерело впливу, як соціальні мережі. Це обумовлює необхідність їх врахування при побудові математичних моделей масових протестних акцій. Для моделі, що встановлює зв'язок між рівнем ВВП та рівнем соціальної напруженості, побудовано функцію еластичності рівня соціальної напруженості в суспільстві за величиною відносного рівня величини ВВП. Показано, що відносне збільшення величини ВВП знижує щодо відносний рівень соціальної напруженості. Розглянуто систему нелінійних диференціальних рівнянь, що описує зміну в часі відносної кількості учасників масових протестних акцій. Для визначення похибок їх визначення в результаті похибок визначення чисельних значень змінних і параметрів моделі використані методи наближених обчислень. Показано, що ці методи приводять до ускладнення процесу ідентифікації моделі. Для спрощення визначення похибок використаного методу інтервальних обчислень з числами, що визначені в системі центр - радіус. Отримано вираз для статичної функції для аргументів, заданих в системі центр - радіус. Для рішень наведеної моделі виконано інтервальне оцінювання кількості учасників масових протестних акцій. Отримані результати дозволяють прогнозувати частку осіб, які беруть участь в масових протестних акціях. Вони також можуть використовуватись органами правопорядку для планування заходів щодо забезпечення безпеки при проведенні масових протестних акцій.

Ключові слова: масові протестні акції; нелінійні диференціальні рівняння; методи обчислень; теорія похибок; інтервальні обчислення.

Interval estimation of the number of participants of mass protest actions

V. Dubnitskiy, H. Zubrytska, A. Kobylin

A brief literature review on the issue of modeling mass protest actions has been carried out. It is shown that the study of this public phenomenon was begun at the end of the XIX century. At present, there are two directions in this problem. The first is a sociological and the second, in which mass protest actions have been the subject of study by methods of operations research. It is shown that at present there is such a source of influence as social networks. This circumstance must be considered when constructing mathematical models of mass protest actions. The function of the elasticity of the level of social tension in society by the magnitude of the relative level of GDP is built for a model that establishes a relationship between the level of GDP and the level of social tension. It is shown that the relative increment of the level of GDP decreases the relative level of social tension. The system of nonlinear differential equations describing the time variation of the relative number of participants in mass protest action has been considered. The method approximate calculations were used to determine the errors of the numerical values of the variables and parameters of the model. It is shown that these methods lead to the complication of the model identification process. The methods of interval calculations with the numbers determined in the center – radius system are used to simplify the determination of errors. An expression for the power function is obtained for the arguments specified in the center – radius system. Interval estimation of the number of participants in mass protest actions is carried out to estimate the model. The obtained results make it possible to predict the proportion of people participating in mass protest actions. They may also be law enforcement agencies to plan security activities during mass protest actions.

Keywords: mass protest actions; nonlinear differential equations; methods of calculation; theory of errors; interval calculations.

O. Nesmiian

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

METHOD OF THE MULTITONAL SIGNAL CONSTRUCTION IN DECISION SUPPORT SYSTEMS ACS

Subject: The article deals with the issues of creation of a psychoacoustic model of perception of sound quality of sound signals, the development on its basis of the method of creating a multi-tonal signal, which provides a high correlation with subjective evaluation. **Purpose:** to develop a multitone signal creation method. **Objective:** To analyze the distortion of the sound signals that arise during reproducing them on the sound reproduction devices. Classify these distortions and assess the extent of their impact on subjective assessment. Allocate the most significant of them in terms of impact on the quality of sound. Investigate modern methods for assessing the quality of reproduction of sound signals, standards and recommendations devoted to this task; to evaluate the effectiveness of modeling the human auditory system used in the development of these methods; formulate the scientific and applied requirements for developing objective quality assessment method. **Results.** The method of creating an artificial multi-tone signal for precise allocation of the nonlinear distortion (ND) signal and its processing after passage through the sound path of the tested device for analysis and evaluation of the electromagnetic radiation is developed. In the developed method, the calculation of a set of quantitative characteristics of distortions of different types, which have the greatest impact on the generalized assessment of sound quality. For formalization of the transition from a multidimensional quality indicator to a generalized objective quality assessment by one number, a multiple regression model is used. **Conclusions:** The application of the developed method will allow obtain results that coincide with the data of subjective and statistical examinations (SSE) with the accuracy required for practice.

Keywords: DSS; ACS; multitone signal; a model of quality perception.

Introduction

Formulation of the problem: Despite the fact that today there are a fairly large variety of processing audio signals algorithms, as well as elements of sound reproduction systems and their characteristics, there is a problem of choosing the best combination of sound reproduction devices and algorithms for the audio signal arise. Since the audio reproduction devices cause large distortions in the reproduced signal itself, existing methods for evaluating their quality do not provide a comprehensive characterization of the distortion, but only, at best, indicate a high degree of difference of the reproduced signal from the original. All this makes the actual task of developing fundamentally new methods for creating multi-tone signals, which allow to ensure the efficiency and reliability of the solution of functional problems by operators.

Analysis of recent research and publications: The problem solving of quantitative assessment of sound quality began to be engaged in the middle of the last century. In the 40s-50s, the work of H. Fletcher [1], D.K. Gannet [2] and WBSnow [3], which investigated the required bandwidth for quality reproduction of certain musical instruments, male and female voices; sensitivity of the human auditory system to changes in the reproduced frequency range, perception of nonlinear distortions, etc. The disadvantages of these works include the lack of completeness of the perception of distortions in the case of their simultaneous presence in the evaluated signal and the impact on the subjective quality assessment. In the 1990s, several methods for objectively assessing sound quality using psychoacoustic modeling were developed. In the magazine AES 23 (Audio Engineering Society) were published works, which considered the problem of

objective quality assessment using knowledge of the human auditory system features. As a result of the received data, the method [4] PERCEVAL (PERCEptual EVALuation) was proposed. This method based on the comparison of the signal of additive noise with the threshold of masking, calculated from the reference signal and the calculation of the probability of detecting these noise by the human auditory system. The next generation of this method was the method PAQM (Perceptual Audio Quality Measure) [5], which is based on the comparison of "internal representations" calculated for the reference signal and the investigated signal.

The result of comparing the "internal representations" of signals is interpreted in the assessment of the sensitivity of distortions. In addition to the aforementioned methods, a number of reports were also presented at the AES conferences on psychoacoustic methods for assessing the quality of sound [6], [7], [8]. As a result of a detailed investigation and comparison of all available methods, the PSQM algorithm was approved in recommendation P.861. The results of objective assessments obtained with the PSQM method have a high correlation (> 97%) with the results of subjective listening tests, which allowed the successful implementation of this method in the telecommunications market. Since the original algorithm proposed by the ITU-T can not be used to assess the quality of sound paths in general (taking into account losses, delays and distortions), the authors continued to work on improving the method in order to realize the possibility of taking into account time delays. As a result, extensions of the standard were developed: PSQM+, PSQM99 and PSQM/IP, which it was decided to integrate into the new PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) standard. This standard was presented as a new recommendation of the

ITU-T Rec. P.862 [9]. The second group of ITU-R developed a method that allows an objective assessment of the quality of broadband music codecs. As a result of the research, the group presented the recommendation ITU-R BS.1387 [9] describing PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality). Currently, this method is the most reliable tool for evaluating the quality of musical signals.

Purpose of the article: The purpose of the article is to develop a method for creating a multi-tone signal in the DSS ACS.

Main material presenting

The magnitude and spectrum of nonlinear distortions introduced by the sound tracks of the reproduction devices depends on the reproduced signal characteristics.

Consequently, the generated multi-tone signal must have a similar spectral composition with the original signal, i.e. envelope of the spectrum of the artificial signal should correspond to the envelope spectrum of the input signal at each instant of time.

The proposed method for obtaining a multi-tone signal in its base is based on the audio signal processing procedures used in the psychoacoustic model used in the MREO-1 180 / IEC 11172-3 [10] standard.

Outbound audio signals used to subjectively assess the sound quality of reproducing devices are subdivided into samples, the size of which depends on the amplitude-time characteristics of the signal. The size (duration) of the samples is determined by the resolution of the human auditory system and specified by the requirements of implementing the FFT algorithm.

It is established that the auditory system of a person processes audio signals of a duration from 80 to 140 ms [11]. For implementation of FFT algorithms are used samples, the number of readings in which are equals two in the integer degree. So, at a standard sampling frequency of 44.1 kHz, the largest sampling length not exceeding 80 ms and corresponding two raised to the integer power, is a sample of 2048 signal counts, that is, approximately equals 48 msec. In some cases, the length of the sample may vary depending on the structure of the audio signal within the sample, at moments of sharp jumps, the sound sample length will be 1024 counts (24 msec).

Change the length of the sample criteria is a peak factor value [12]. Psychoacoustic entropy [13] is the criteria for compression algorithms for digital audio data, which is calculated for a long sampling. The use of shorter samples (12 msec) is inappropriate, since the human hearing apparatus, due to inertia, is not able to accurately assess the spectral composition of short sound segments, i.e. to notice the additive noise.

The use of a 50% overlay of samples used in the short-term spectral analysis allows to reduce the distortions that arise during orthogonal transformation.

Before the FFT procedure, the sound samples should be processed by the Hannah function, which allows to clear the signal from additional distortions, known as the Gibbs effect, that arise when performing a direct FFT.

As source material for investigation were created multi-tone test signal which are used in the ICAO radio exchange

The main steps of the algorithm for creating a multi-tone signal:

Step 1. Analysis of the sound signal in the time domain for the selection of samples with energy above the threshold.

Step 2. Calculate the peak factor of the signal of the selected samples, which is necessary to select their length (1024 or 2048 counts of the sound signal).

Step 3. Calculation of the normalizing factor.

Step 4. The calculation of the energy spectrum using FFT is performed for each selected sample.

Step 5. Calculate the energy of the sample signal in critical audible bands; selection from the spectrum of the sampling signal of the tonal components.

Step 6. The list of noise-like components creation.

Step 7. Thinning of the spectrum of tonal and non-tonal (noise-like) components considering the absolute threshold of sensitivity and simultaneous masking.

Step 8. Adjustment of the energy of the spectral components to ensure the equality of energy of the initial and synthesized multi-tone signals.

Step 9. Restore the time form of the multi-tone signal.

On the first step of creating a multi-tone signal, an analysis of the output signal in the time domain is performed.

During creating a multi-tone signal it makes no sense to analyze all the samples in a row, but rather select those whose energy level exceeds a certain threshold.

On the second step for decision making about the length of the sample, the peak factor value calculation for a long sample is performed using the formula (1):

$$CF(dBFS) = \frac{s_{\max}(dBFS)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (s(n)(dBFS) - s(dBFS))^2 / N}}, \quad (1)$$

where i - input signal sample number,

n - input signal count,

s_{\max} - maximum reference value,

s - average reference value for the sampling signal.

All values are expressed here are in $dBFS$. At magnitude of the peak factor greater than $dBFS$, the length of the sample for analysis is 1024 (short sampling), otherwise it is equals 2048 counts (long sample) of the sound signal.

On the third step of creating a multi-tone signal, the rationing of the fac coefficient and rationing of the counts selection of the input signal is made:

$$fac = 10^{L_p/20} / Norm \quad (2)$$

$$x(n) = fac \cdot s(n), \quad (3)$$

where $x(n)$ - normalized samples.

In formula (2), a tone signal with a frequency of 989 Hz and an amplitude of 0 dB is used to determine the normalization coefficient *Norm*, and the spectral maximum for several frames is calculated. The value of this maximum is taken as the value of the normalizing factors, and then the calculation of the energy spectrum of the sample is performed:

$$X(k) = 10 \ln \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot x(n) e^{-jkl2\pi/N} \right|^2 + 90.309 \text{dB}, \quad (4)$$

where $h(n) = 0.5 \cdot [1 - \cos(2\pi n / (N-1))]$ – window function Hannah; $k = 0, 1 \dots N/2$; $N = 2048$ or 1024 ; k – index of the spectral component of FFT; $X(k)$ – level of k spectral component, in dB;

In this case, the normalization of FFT coefficients to 96 dB SPL is used.

On the fourth step, the energy of the sample signal is calculated in critical listening lanes [14]. The total energy of all spectral components in each critical band is calculated by the expression (5):

$$E_{sb}(z) = 10 \lg \left(\sum_{k \in z} 10^{X(k)/10} \right), \text{dB} \quad (5)$$

In the fifth step, the allocation of so-called tonal components is carried out. Spectral components of the energy spectrum $X(k)$ exceeding the frequency, except for two neighboring at least 7 dB, are identified as tonal. Note that the area of the examined frequencies expands with increasing frequency [10]. The set of tonal spectral components of 8T is determined by the following expression

$$S_T = \left\{ X(k) \left| \begin{array}{l} X(k) \triangleright X(k \pm 1), \\ X(k) \triangleright X(k \pm \Delta_k) + 7 \text{dB} \end{array} \right. \right\}, \quad (6)$$

where $X(k)$ – k spectral maximum, Δ_k depends on the bandwidth and varies from 2 to k .

Examples of spectra of samples of a sound signal with different number of tonal components are shown in Fig. 1.

At the sixth stage, the formation of a list of noisy components is taking place.

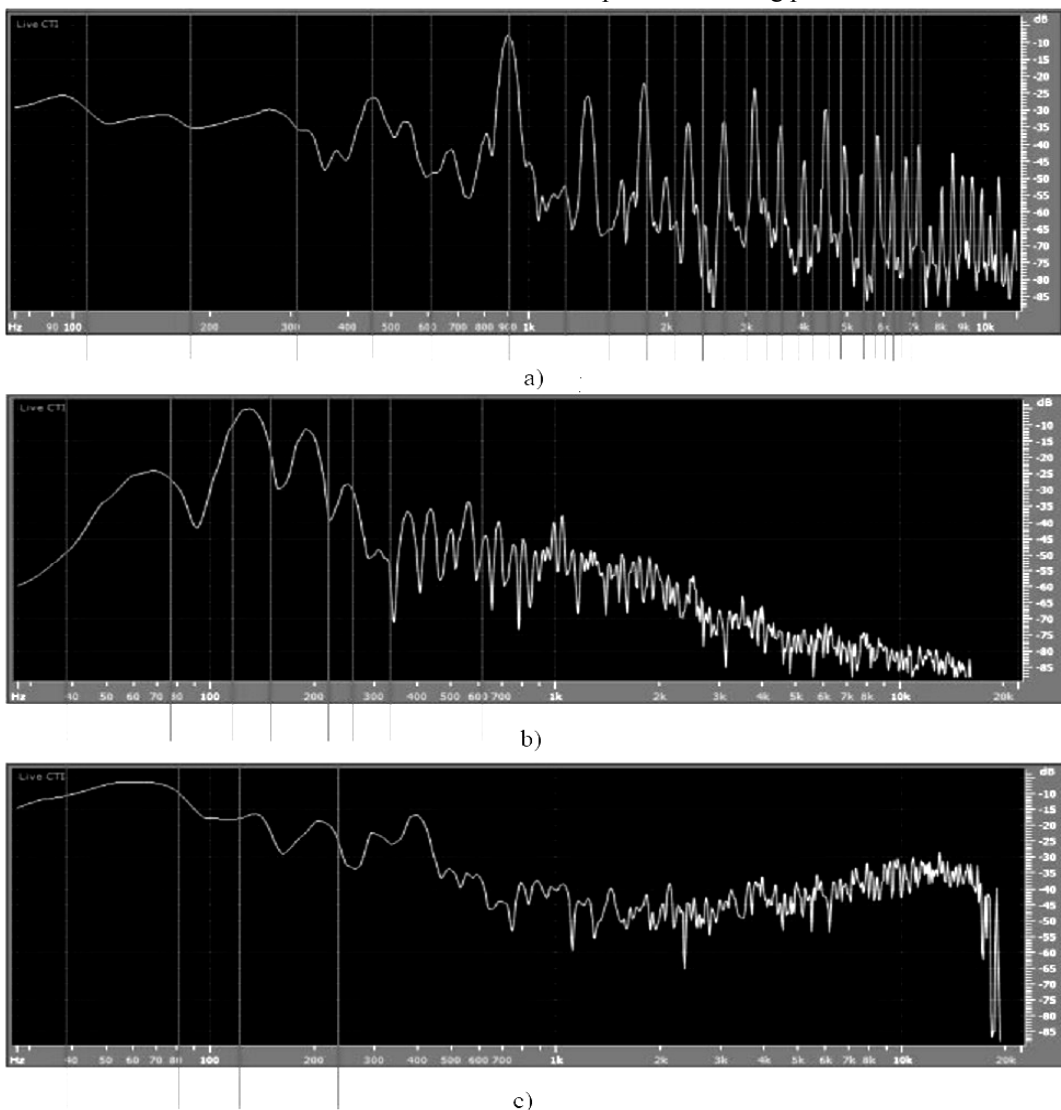


Fig. 1. Spectra of samples of signals: a – 26 tonal, b – 8 tonal, c – 4 tonal

To do this, from the output signal of the spectrum of the sample, all sub-tone and adjacent components are removed, after which the energy $X_{nm}(z)$ of the spectral components in each critical band is calculated. As a result, the real noise-like components of the sample signal are replaced by one spectral component whose energy is equal to the total energy of the noise-like components that have fallen into the critical listening band (7):

$$X_{nm}(\bar{k}) = 10 \lg \left[\sum_{j=l}^u 10^{0.1 \cdot X(j)} \right], \quad (7)$$

$$\forall X(j) \notin \{X_{lm}(k, k \pm 1, k \pm \Delta k)\}.$$

At the seventh stage, the thinning of the received tonal and noise-like components is carried out. That is mean, that the number of components is reduced based on two criteria: the absolute threshold of sensitivity and frequency degradation. The tone and noisy components below the absolute threshold of sensitivity are discarded, and only the components that satisfy the condition are left

$$X_{lm, nm}(k) \geq X_y(l), \quad (8)$$

where $X_{lm, nm}(k)$ - the sound pressure level corresponding to the absolute threshold of sensitivity in silence for the k spectral component.

Then, using a sliding window with a width of 0.5 barks, from any pair of dedicated spectral components appearing in this window, one that has the highest level of energy is selected.

At the eighth stage, there is an adjustment of the energy remaining after the reduction of the spectral components in order to ensure the equality of the energies of the initial and generated signals in each critical listening band.

To do this, in each critical listening band, the scaling factor is calculated as the ratio of the output signal energy to the sum of the energies of the generated multi-tonal test signal components:

$$scf(z) = E_{sb} / \sum_{k=l}^u X_{mt}(k), \quad (9)$$

where $X_{mt}(k)$ - components of the multi-tone signal in the critical band. After that, the adjusted energy of the component is calculated:

$$\bar{X}_{mt}(k) = X_{mt}(k) \cdot scf(z), \quad \forall k \in z. \quad (10)$$

This correction is necessary to achieve the same level of load on the audio path of the tested device, real and synthesized multi-tone signals.

At the final stage, the recovery of the time form of the multi-tonal signal is carried out using the inverse Fourier transform.

At the end of the multi-tone synthesis procedure, a passport that contains information on sample length, sets of numbers (indexes) of the spectral components, and information about the type of each component (tonal or noisy) is created. For the convenience of analysis of the recorded signal (to search the beginning and end of the content of the signal), before the main multi-tone signal and after it, is added special tone pulses.

For analyzing of the listening space noise between the tone pulses and the useful signal, a section of the signal with a zero level is inserted.

Conclusion

On the basis of a thorough analysis of psychoacoustic models, procedures are selected and validated for assessing the magnitude of certain types of distortion introduced into the signal by sound tracks of sound reproducing devices.

The revision of these procedures due to their joint use within the framework of a single psychoacoustic model was performed.

The method of creating an artificial multi-tone signal for precise allocation of the nonlinear distortion signal and its processing after passage through the sound path of the tested device for analysis and evaluation of the electromagnetic radiation is developed.

In the developed method, the calculation of a set of quantitative characteristics of distortions of different types, which have the greatest impact on the generalized assessment of sound quality.

The following list includes the following indicators:

- the likelihood of hearing ailment of the nonlinear distortion;
- the number of strongly distorted fragments of the signal;
- noise mask ratio in three frequency bands;
- effective dynamic range;
- peak factor;
- distinction of specific volumes of signals in frequency bands;
- uneven frequency response in the field of voice frequencies.

For formalization of the transition from a multidimensional quality indicator to a generalized objective quality assessment by one number, a multiple regression model is used.

REFERENCES

1. Fletcher, H. (1942), "Hearing the determining factor for high fidelity transmission", *Proceedings of the IRE*, No. 30(6), pp. 266–277, DOI: <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1942.230995>.
2. Gannet, D.K. and Kerny, J. (1944), "The discernibility of changes in program band width", *Bell Systems Technical Journal*, Vol. 23, pp. 1–10.
3. Stuart, J.R.: (1992), "Implementation and measurement with respect to human auditory capabilities", *AES UK DSP Conference*, London, September 1992.
4. Paillard B. Mabillean, P. and Morissette S. (1992), "PERCEVAL: Perceptual Evaluation of the Quality of Audio Signals", *Journal of the Audio Engineering Society*, 1992 January/February, Vol. 40 (1/2), pp. 21–31.

5. Beerends, J.G. and Stemerdink, J.A. (1992), "A Perceptual Audio Quality Measure Based on a Psychoacoustic Sound Representation", *J. Audio Eng. Soc.*, Vol 40, No. 12. pp. 963–973.
6. Geddes, E.R. and Lee, L.W. (2003), "Auditory Perception of Nonlinear Distortion – Theory", *AES 115th Convention*, Paper 5890.
7. Olive, S. (2004), "A Multiple Regression Model For Predicting Loudspeaker Preference Using Objective Measurements: Part I-Listening Test Results", *116th Convention*, 2004 May 8–11, Berlin, Germany.
8. Olive, S. (2004), "A Multiple Regression Model for Predicting Loudspeaker Preference Using Objective Measurements: Part II - Development of the Model", *117th Convention*, 2004 Oct 28–31, San Francisco, USA.
9. ITU-T Recommendation P.862 (2001), PESQ an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs, February 2001.
10. ISO/IEC 11172-3 (1993), Information Technology - Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbit/s - part 3: Audio, 1993.
11. ITU-R Recommendation BS.562-3, Subjective assessment of sound quality, 1990.
12. Shitov, L.V. and Belkin, B.G. (1970), "Statistical characteristics of signals representing natural sound, and their use in the research of electro-acoustic systems", *Works of the Research and Development Film Photo Institute*, No. 56, pp. 77–173.
13. Kovalgin, I.A. and Vologodin, E.I. (2004), "Tsifrovoe kodirovanie zvukovyih signalov" [Digital coding of sound signals], Korona print, Saint Petersburg.
14. Sheluhin, O.I. and Lukiantsev, N.F. (2000), *Digital processing and voice transmission*, Radio and communication, Moscow, 456 p.

Надійшла (received) 30.09.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 07.11.2018

Метод створення мультитонального сигналу в системах підтримки та прийняття рішень АСУ

О. Ю. Несміян

Предмет: У статті розглянуті питання створення психоакустичної моделі сприйняття якості звучання звукових сигналів, розробки на її основі методу створення мультитонального сигналу, що забезпечує високу кореляцію з суб'єктивною оцінкою. **Мета:** розробка методу створення мультитонального сигналу. **Завдання:** Провести аналіз спотворень звукових сигналів, що виникають при відтворенні їх звуковідтворюючими пристроями. Класифікувати ці спотворення і оцінити ступінь їх впливу на суб'єктивну оцінку. Виділити найбільш значущі з них з точки зору впливу на якість звучання. Провести вивчення сучасних методів оцінки якості відтворення звукових сигналів, стандартів і рекомендацій, присвячених даній задачі; оцінити ефективність моделювання слухової системи людини, що застосовується при розробці цих методів; сформулювати наукові та прикладні вимоги, що пред'являються до методу об'єктивної оцінки якості, який розробляється. **Результати.** На основі ретельного аналізу психоакустичних моделей відбираються і перевіряються процедури для оцінки величини певних типів спотворень, що вносяться в сигнал звуковими доріжками звуковідтворювальних пристроїв. Розроблено метод створення штучного багатотонального сигналу для точного виділення сигналу нелінійного спотворення і його обробки після проходження звукового тракту тестуемого пристрою для аналізу і оцінки електромагнітного випромінювання. У розробленому методі проводиться розрахунок сукупності кількісних характеристик спотворень різних типів, які мають найбільший вплив на узагальнену оцінку якості звуку. Для формалізації переходу від багатовимірного показника якості до узагальненої об'єктивної оцінки якості по одному числу використовується модель множинної регресії. **Висновки.** Застосування розробленого методу дозволить отримати результати, що збігаються з даними суб'єктивно-статистичних експертиз (ССЕ) з необхідною для практики точністю.

Ключові слова: СППР; АСУ; мультитональний сигнал; модель сприйняття якості.

Метод создания мультитонального сигнала в системах поддержки и принятия решений АСУ

О. Ю. Несмиян

Предмет: В статье рассмотрены вопросы создания психоакустической модели восприятия качества звучания звуковых сигналов, разработки на ее основе метода создания мультитонального сигнала обеспечивает высокую корреляцию с субъективной оценкой. **Цель:** разработка метода создания мультитонального сигнала. **Задача:** Провести анализ искажений звуковых сигналов, возникающих при воспроизведении их звуковоспроизводящими устройствами. Классифицировать эти искажения и оценить степень их влияния на субъективную оценку. Выделить наиболее значимые из них с точки зрения влияния на качество звучания. Провести изучение современных методов оценки качества воспроизведения звуковых сигналов, стандартов и рекомендаций, посвященных данной задаче; оценить эффективность моделирования слуховой системы человека, применяется при разработке этих методов; сформулировать научные и прикладные требования, предъявляемые к методу объективной оценки качества, который разрабатывается. **Результаты.** На основе тщательного анализа психоакустических моделей отбираются и проверяются процедуры для оценки величины определенных типов искажений, вносимых в сигнал звуковыми дорожками звуковоспроизводящих устройств. Разработан метод создания искусственного многотонального сигнала для точного выделения сигнала нелинейного искажения и его обработки после прохождения звукового тракта тестируемого устройства для анализа и оценки электромагнитного излучения. В разработанном методе проводится расчет совокупности количественных характеристик искажений разных типов, которые оказывают наибольшее влияние на обобщенную оценку качества звука. Для формализации перехода от многомерного показателя качества к обобщенной объективной оценке качества по одному числу используется модель множественной регрессии. **Выводы.** Применение разработанного метода позволит получить результаты, совпадающие с данными субъективно-статистических экспертиз с необходимой для практики точностью.

Ключевые слова: СППР; АСУ; мультитональный сигнал; модель восприятия качества.

В. М. Рудницький¹, Н. В. Лада¹, С. Г. Козловська²

¹ Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

² Східноєвропейський університет економіки і менеджменту, Черкаси, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ДВОХОПЕРАНДНИХ ОПЕРАЦІЙ КРИПТОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ

Самими універсальними операціями криптоперетворення, з погляду застосування є двохоперандні операції, яким на жаль не приділялося достатньої уваги. **Метою статті** є розробка технології побудови математичних моделей двохоперандних операцій криптоперетворення, аналогічних моделям модифікованих операцій з точністю до перестановки, за результатами комп'ютерного моделювання. **Результати.** Розглянуті операції були розбиті на 24 набори двохоперандних операцій, по чотири операції в кожному наборі. Дані набори формувалися виходячи з наявності в них однакових однооперандних двохоперандних операцій криптоперетворення. Всім наборам двохоперандних операцій був присвоєний порядковий номер. Наведена і проілюстрована послідовність кроків переходу від результатів комп'ютерного моделювання до придатної в інженерній практиці формалізованої операції криптоперетворення відображає технологію побудови математичних моделей двохоперандних операцій криптографічного перетворення інформації. **Висновки.** Експериментально синтезовані 96 двохоперандних операцій криптографічного перетворення було класифіковано на 4 математичні групи операцій по 24 операції в кожній, а також виділили 24 набори двохоперандних операцій по 6 в кожній групі, виходячи з наявності в них однакових однооперандних двохоперандних операцій. На прикладі одного з наборів двохоперандних операцій розглянута послідовність математичних перетворень, які забезпечують побудову узагальнених математичних моделей криптооперацій. Послідовність кроків переходу від результатів комп'ютерного моделювання до придатної в інженерній практиці формалізованої операції криптоперетворення відображає технологію побудови математичних моделей двохоперандних операцій криптографічного перетворення інформації.

Ключові слова: криптографічне кодування; крипто перетворення; додавання за модулем два; перестановки; математична модель операції.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні наукові дослідження в сфері криптографічного захисту інформації все більше уваги приділяють аналізу та синтезу операцій, на основі яких будуються системи криптографічного захисту інформації. Збільшення кількості операцій, придатних для криптоперетворення, їх застосування замість, наприклад, стандартної операції додавання за модулем дає змогу підвищувати надійність та стійкість шифрування [1-2], що є надзвичайно актуальним в наш час.

Операції криптографічного перетворення інформації по аналогії з командами які реалізуються в комп'ютерних системах класифікуються по кількості операндів на однооперандні, двохоперандні та багатооперандні [3]. Однооперандні операції криптографічного перетворення застосовуються в блокових шифрах. Двохоперандні операції застосовуються в блокових та потокових шифрах. Основною областю застосування багатооперандних операцій є багатомірні примітиви блокового шифрування. Самими універсальними операціями криптоперетворення, з погляду застосування є двохоперандні операції, яким на жаль не приділялося достатньої уваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Синтез двохоперандних операцій криптоперетворення може розвиватися по двох основних напрямках. Перший напрям полягає в модифікації операцій додавання за модулем на основі перестановок операндів і результатів виконання операцій. Результати даних досліджень представлено в роботах [4-6]. В роботах [7-8] запропоновано другий напрям синтезу двохоперандних операцій криптоперетворення, в основі якого лежить моделювання двохоперандних операцій

криптоперетворення на основі однооперандних. Проте отримані результати є розрізненими і не систематизованими.

Метою роботи є розробка технології побудови математичних моделей двохоперандних операцій криптоперетворення, аналогічних моделям модифікованих операцій з точністю до перестановки, за результатами комп'ютерного моделювання.

Основний матеріал

Математичні моделі операцій криптографічного додавання по модулю два з точністю до перестановки мають вигляд [9]:

$$O_1^{\oplus} = \begin{vmatrix} x_1 \oplus y_1 \\ x_2 \oplus y_2 \end{vmatrix}; \quad O_2^{\oplus} = \begin{vmatrix} x_1 \oplus y_1 \\ x_2 \oplus y_2 \oplus 1 \end{vmatrix};$$

$$O_3^{\oplus} = \begin{vmatrix} x_1 \oplus y_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus y_2 \oplus 1 \end{vmatrix}; \quad O_4^{\oplus} = \begin{vmatrix} x_1 \oplus y_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus y_2 \end{vmatrix}.$$

де $x_{i,j} \in \{0, 1\}$ – операнд, $i \in \{1, 2\}$ – номер операнда, $j \in \{1, 2\}$ – номер розряду операнда, \oplus – операція додавання за модулем два.

Результати обчислювального експерименту по моделюванню двохоперандних операцій криптоперетворення на основі двохоперандних операцій криптоперетворення, були опубліковані в [10]. В процесі дослідження синтезованих 96 операцій [10], було виділено 4 математичні групи операцій по 24 операції в кожній. Результати даного дослідження наведені в табл. 1. Для подальшого дослідження, наведені в табл. 1 операції були розбиті на 24 набори двохоперандних операцій (НДО), по чотири операції в кожному наборі.

Таблиця 1 – Результати моделювання операцій над двома операндами

Група операцій 1		Група операцій 2		Група операцій 3		Група операцій 4	
НДО 1	НДО 4	НДО 7	НДО 10	НДО 13	НДО 16	НДО 19	НДО 22
$O_{1,7,13,19}$	$O_{4,16,10,22}$	$O_{1,8,13,20}$	$O_{4,17,10,23}$	$O_{1,10,16,19}$	$O_{4,13,7,22}$	$O_{1,7,15,21}$	$O_{4,16,12,24}$
$O_{7,1,19,13}$	$O_{10,22,4,16}$	$O_{8,13,20,1}$	$O_{10,23,4,17}$	$O_{10,19,1,16}$	$O_{7,4,22,13}$	$O_{7,1,21,15}$	$O_{12,24,16,4}$
$O_{13,19,1,7}$	$O_{16,4,22,10}$	$O_{13,20,1,8}$	$O_{17,10,23,4}$	$O_{16,1,19,10}$	$O_{13,22,4,7}$	$O_{15,21,7,1}$	$O_{16,4,24,12}$
$O_{19,13,7,1}$	$O_{22,10,16,4}$	$O_{20,1,8,13}$	$O_{23,4,17,10}$	$O_{19,16,10,1}$	$O_{22,7,13,4}$	$O_{21,15,1,7}$	$O_{24,12,4,16}$
НДО 2	НДО 5	НДО 8	НДО 11	НДО 14	НДО 17	НДО 20	НДО 23
$O_{2,20,14,8}$	$O_{5,23,11,17}$	$O_{2,19,14,7}$	$O_{5,22,11,16}$	$O_{2,24,18,8}$	$O_{5,21,9,17}$	$O_{2,20,17,11}$	$O_{5,23,8,14}$
$O_{8,14,20,2}$	$O_{11,17,5,23}$	$O_{7,2,19,14}$	$O_{11,16,5,22}$	$O_{8,18,24,2}$	$O_{9,5,17,21}$	$O_{11,17,2,20}$	$O_{8,14,23,5}$
$O_{14,8,2,20}$	$O_{17,11,23,5}$	$O_{14,7,2,19}$	$O_{16,5,22,11}$	$O_{18,2,8,24}$	$O_{17,9,21,5}$	$O_{17,11,20,2}$	$O_{14,8,5,23}$
$O_{20,2,8,14}$	$O_{23,5,17,11}$	$O_{19,14,7,2}$	$O_{22,11,16,5}$	$O_{24,8,2,18}$	$O_{21,17,5,9}$	$O_{20,2,11,17}$	$O_{23,5,14,8}$
НДО 3	НДО 6	НДО 9	НДО 12	НДО 15	НДО 18	НДО 21	НДО 24
$O_{3,9,21,15}$	$O_{6,18,24,12}$	$O_{3,12,21,18}$	$O_{6,15,24,9}$	$O_{3,11,23,15}$	$O_{6,14,20,12}$	$O_{3,9,19,13}$	$O_{6,18,22,10}$
$O_{9,3,15,21}$	$O_{12,24,18,6}$	$O_{12,21,18,3}$	$O_{9,6,15,24}$	$O_{11,15,3,23}$	$O_{12,20,14,6}$	$O_{9,3,13,19}$	$O_{10,22,6,18}$
$O_{15,21,9,3}$	$O_{18,6,12,24}$	$O_{18,3,12,21}$	$O_{15,24,9,6}$	$O_{15,23,11,3}$	$O_{14,12,6,20}$	$O_{13,19,3,9}$	$O_{18,6,10,22}$
$O_{21,15,3,9}$	$O_{24,12,6,18}$	$O_{21,18,3,12}$	$O_{24,9,6,15}$	$O_{23,3,15,11}$	$O_{20,6,12,14}$	$O_{19,13,9,3}$	$O_{22,10,18,6}$

Дані набори формувалися виходячи з наявності в них однакових однооперандних двоохрозрядних операцій криптоперетворення. Всім наборам двоохрозрядних операцій був присвоєний порядковий номер.

Розглянемо перший НДО наведений в табл. 1. Даний набір включає в себе операції:

$$O_{1,7,13,19}, O_{7,1,19,13}, O_{13,19,1,7}, O_{19,13,7,1}.$$

Умовно будемо вважати операцію $O_{1,7,13,19}$ основною, так як вона представлена першою в даному наборі. Дослідимо можливість побудови математичних моделей НДО №1, по аналогії з дослідженнями моделей модифікацій операцій з точністю до перестановки, наведеними в [11].

Математична модель основної операції першого НДО $O_{1,7,13,19}$ матиме вигляд:

$$O_{1,7,13,19} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 1, \end{cases} \quad (1)$$

де k_1 і k_2 – команди управління криптографічним перетворенням.

Для встановлення сутності операції (1), її можна представити як:

$$O_{1,7,13,19} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \quad (2)$$

$$= \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Таким чином, операцію $O_{1,7,13,19}$, представлену виразом (1) можна записати як:

$$O_{1,7,13,19} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases}$$

або

$$O_{1,7,13,19} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Виходячи з виразу (3), операцію (1) можна представити таким чином:

$$O_{1,7,13,19} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus y_1 \\ x_2 \oplus y_2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

По аналогії з побудовою математичної моделі основної операції першого набору двохоперандних операцій $O_{1,7,13,19}$ дослідимо можливість побудови інших двохоперандних операцій даного набору.

Математична модель операції $O_{7,1,19,13}$, що є синтезованою на основі моделі основної операції $O_{1,7,13,19}$ першого набору двохоперандних операцій, представляються у вигляді:

$$O_{7,1,19,13} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Отже, операцію $O_{7,1,19,13}$, представлену виразом (5) можна представити у вигляді, що розкриває її сутність, а саме:

$$O_{7,1,19,13} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases}$$

або
$$O_{7,1,19,13} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Виходячи з виразу (6), операцію (5) можна представити таким чином:

$$O_{7,1,19,13} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus y_1 \\ x_2 \oplus y_2 \oplus 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Математична модель операції $O_{13,19,1,7}$, що є синтезованою на основі моделі основної операції $O_{1,7,13,19}$ першого набору двохоперандних операцій, матиме вигляд:

$$O_{13,19,1,7} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Для встановлення сутності операції $O_{13,19,1,7}$, її можна представити аналогічно виразу (2) як:

$$O_{13,19,1,7} =$$

$$= \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Відповідно, операцію $O_{13,19,1,7}$ можна записати таким чином:

$$O_{13,19,1,7} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Виходячи з виразу (9), операцію (8) можна представити таким чином:

$$O_{13,19,1,7} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus y_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus y_2 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Математична модель операції $O_{19,13,7,1}$, що є синтезованою на основі моделі базової операції $O_{1,7,13,19}$ першого набору двохоперандних операцій, представляються у вигляді:

$$O_{19,13,7,1} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases} \quad (11)$$

Операцію (11) також можна представити як:

$$O_{19,13,7,1} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 0; k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, & \text{якщо } k_1 = 1; k_2 = 1. \end{cases}$$

Таким чином, операцію $O_{19,13,7,1}$ можна записати як:

$$O_{19,13,7,1} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Таким чином, виходячи з виразу (12), операцію (11) можна представити таким чином:

$$O_{19,13,7,1} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus k_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus y_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus y_2 \oplus 1 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Наведена і проілюстрована послідовність кроків переходу від результатів комп'ютерного моделювання до придатної в інженерній практиці формалізованої операції криптоперетворення відображає технологію побудови математичних моделей двохоперандних операцій криптографічного перетворення інформації.

Висновки

Проведене дослідження дало змогу зробити наступні висновки.

1. Класифіковано чотири математичні групи операцій по двадцять чотири операції в кожній з експериментально синтезованих дев'яносто шости двохоперандних операцій криптографічного перетворення.

Виділено двадцять чотири набори двохоперандних операцій по 6 в кожній групі, виходячи з наявності в них однакових однооперандних двохоперандних операцій.

2. Отримана послідовність математичних перетворень, які забезпечують побудову узагальнених математичних моделей криптооперацій на прикладі одного з наборів двохоперандних операцій.

3. Представлена послідовність кроків переходу від результатів комп'ютерного моделювання до придатної в інженерній практиці формалізованої операції криптоперетворення, що відображає технологію побудови математичних моделей двохоперандних операцій криптографічного перетворення інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рудницький В. М., Бабенко В. Г., Рудницький С. В. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного кодування та декодування інформації. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. Вип. 4 (33). С. 198-200.
2. Рудницький В. М., Миронець І. В., Бабенко В. Г. Обґрунтування можливості розширення набору функцій перекодування інформації для захисту конфіденційних інформаційних ресурсів. Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. Київ: Центр. наук.-досл. ін.-т навігації і управл., 2010. Вип. 2 (14). С. 118-122.
3. Криптографическое кодирование: кол. моногр. / Под ред. В. Н. Рудницкого, В. Я. Мильчевича. Харьков: Щедрая усадьба плюс, 2014. 240 с.
4. Lada N. V. Застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в потокових шифрах / N. V. Lada, S. H. Kozlovska // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 1 (47). – С. 127-130.
5. Лада Н. В. Аналіз коректності взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптографічного перетворення інформації. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава: ПНТУ, 2015. Вип. 4 (36). С. 73-78.
6. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Аналіз результатів виконання модифікованих операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки. The scientific potential of the present: proceedings of the Internat. sci. conf., (St. Andrews, Scotland, UK, December, 1, 2016) / ed. N. P. Kazmyna. NGO «European Scientific Platform». Vinnitsia: PE Rogal ska I. O., 2016. С. 108-111. (Шотландія, Логос).
7. Криптографічне кодування: обробка та захист інформації: колективна монографія / під ред. В. М. Рудницького. Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. – 139 с.
8. Рудницький В. М., Лада Н. В., Бабенко В. Г. Криптографічне кодування: синтез операцій потокового шифрування з точністю до перестановки: монографія. Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. 184 с.
9. Рудницький В. М., Бабенко В. Г., Рудницький С. В. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного перекодування інформації. Захист інформації: наук.-практ. журн. 2012. № 3 (56). С. 50-56.
10. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Синтез і аналіз операцій криптографічного додавання за модулем два. Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014. Вип. 2 (118). С. 116-118.
11. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Технологія дослідження операцій за модулем два. Smart and Young: щомісячний наук. журн. 2016. № 11–12. Ч. 1. С. 49–54.

REFERENCES

1. Rudnitsky, V.M., Babenko, V.G. and Rudnitsky, S.V. (2012), "The method of synthesis of matrix models of operations of cryptographic encoding and decoding of information", *Collection of scientific works of HUPS*, Kharkiv, No. 4 (33), pp. 198-200.
2. Rudnitsky, V.M., Mironets, I.V. and Babenko, V.G. (2010), "Substantiation of the possibility of expanding the set of functions of re-coding information for the protection of confidential information resources", *Control, navigation and communication systems*, Center. sciences Institute of Navigation and Management, Kyiv, Issue 2 (14), pp. 118-122.
3. Rudnitsky, V. N. and Milceovich, Ya. (2014), *Cryptographic encoding*, Generous Homestead Plus, Kharkiv, 240 p.
4. Lada N.V. and Kozlovska S.H. (2018), "Application of operations of cryptographic addition by module two with precision to permutation in stream ciphers", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, Issue 1 (47), pp. 127-130.
5. Lada, N.V. (2015), "Analysis of the correctness of the relationship between direct and inverse matrix models of operations of cryptographic information transformation", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, Issue 4 (36), pp. 73-78.
6. Babenko V.G. and Lada N.V. (2016), "Analysis of the results of the modified modification operation operations with accuracy up to permutation", *Proc. of the Int. sci. conf. NGO «European Scientific Platform»*, Vinnytsia, pp. 108-111.
7. Rudnitsky, V.M. (2018), *Cryptographic encoding: data processing and protection*, LLC "DISA PLUS", Kharkiv, 139 p.
8. Rudnitsky, V.M., Lada, N.V. and Babenko, V.G. (2018), *Cryptographic encoding: Synthesis of streaming encryption operations up to permutation*, LLC "DISA PLUS", Kharkiv, 184 p.
9. Rudnitsky, V.M., Babenko, V.G. and Rudnitsky, S.V. (2012), "The method of matrix models synthesis of cryptographic information re-encoding operations", *Information Protection*, No. 3 (56), pp. 50-56.
10. Babenko, V.G. and Lada, N.V. (2014), "Synthesis and analysis of operations of cryptographic addition by module two", *Information Processing Systems*, KhUPS, Kharkiv, No. 2 (118), pp. 116-118.
11. Babenko, V.G. and Lada, N.V. (2016), "Technology for the study of operations by module two", *Smart and Young*, No. 11-12, Part 1, pp. 49-54.

Надійшла (received) 11.09.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 31.10.2018

Технология построения двухоперандных операций криптографического преобразования информации по результатам моделирования

В. Н. Рудницкий, Н. В. Лада, С. Г. Козловская

Самыми универсальными операциями криптопреобразования, с точки зрения применения, являются двухоперандные операции, которым к сожалению не уделялось достаточного внимания. **Целью статьи** является разработка технологии построения математических моделей двухоперандных операций криптопреобразования, аналогичных моделям модифицированных операций с точностью до перестановки, по результатам компьютерного моделирования. **Результаты.** Рассмотрены операции были разбиты на 24 наборы двухоперандных операций, по четыре операции в каждом наборе. Данные наборы формировались исходя из наличия в них одинаковых однооперандных двухразрядных операций криптопреобразования. Всем наборам двухоперандных операций был присвоен порядковый номер. Приведенная и проиллюстрирована последовательность шагов перехода от результатов компьютерного моделирования к пригодной в инженерной практике формализованной операции криптопреобразования отражает технологию построения математических моделей двухоперандных операций криптографического преобразования информации. **Выводы.** Экспериментально синтезированные 96 двухоперандных операций криптографического преобразования были классифицированы на 4 математические группы операций по 24 операции в каждой, а также выделили 24 наборы двухоперандных операций по 6 в каждой группе, исходя из наличия в них одинаковых однооперандных двуразрядных операций. На примере одного из наборов двухоперандных операций рассмотрена последовательность математических преобразований, которые обеспечивают построение обобщенных математических моделей криптоопераций. Последовательность шагов перехода от результатов компьютерного моделирования к пригодной в инженерной практике формализованной операции криптопреобразования отражает технологию построения математических моделей двухоперандных операций криптографического преобразования информации.

Ключевые слова: криптографическое кодирование; криптопреобразование; сложение по модулю два; перестановки; математическая модель операции.

Technology of two operand operations construction of information cryptographic transformation by modeling results

V. Rudnitsky, N. Lada, S. Kozlovska

The most universal operation of cryptanalysis, from the point of view of application are two-step operations, which unfortunately were not given enough attention. **The purpose of the article** is to develop a technology for constructing mathematical models of two-operand operations of cryptographic, similar to models of modified operations with precision to permutations, based on computer simulation results. **Results.** The operations under consideration were broken down into 24 sets of double-action operations, in four operations in each set. These sets were formed on the basis of the presence of identical one-operand two-digit operations of cryptographic transformation in them. All sets of double-action operations were assigned a serial number. The illustrated and illustrated sequence of transition steps from the results of computer simulation to the applicable in engineering practice of the formalized operation of cryptographic transformation reflects the technology of constructing mathematical models of two-operand operations of cryptographic information transformation. **Conclusions.** Experimentally synthesized 96 two operand operations of cryptographic transformation were classified into 4 mathematical groups of operations for 24 operations in each, and also allocated 24 sets of two operand operations on 6 in each group, based on the presence of identical one operand two-bit operations in them. On the example of one of the sets of two-operand operations, a sequence of mathematical transformations is considered that provide the construction of generalized mathematical models of cryptographic operations. The sequence of steps of transition from the results of computer simulation to the applicable in engineering practice of the formalized operation of cryptographic transformation reflects the technology of constructing mathematical models of two-operand operations of cryptographic information transformation.

Keywords: cryptographic coding; cryptographic transformation; adding by module two; permutations, mathematical model of operation.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТРЕНАЖЕРНИХ СИСТЕМ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Підтримка професійно важливих якостей і відновлення їх за допомогою тренажної підготовки – це один з основних видів підготовки операторів АС УПР, що дозволяє закріпити й поглибити отримані знання, придбати навички й уміння в управлінні екіпажами в будь яких умовах навігаційно-тактичної обстановки. Від того, наскільки продуманий зміст такої підготовки, як організований і проведений навчальний процес, буде залежати рівень професійної майстерності та безпека польотів. Зазначені обставини викликають необхідність уніфікації проведення тренажної підготовки на всіх рівнях, починаючи від навчального закладу закінчуючи місцем постійної роботи фахівця. **Предметом** вивчення статті є аналіз способів та засобів забезпечення підвищення рівня професійної підготовки операторів автоматичних систем управління повітряним рухом. **Метою** роботи є визначення напрямків підвищення ефективності професійної підготовки операторів автоматичних систем управління повітряним рухом при використанні інтелектуальних технологій проектування тренажерних систем. **Задача** – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких дозволить розширити коло вирішуваних на тренажерах завдань, урізноманітнити умови проведення тренажів, адаптивно контролювати і регулювати складність вирішення контрольних завдань, а також формувати і коригувати індивідуальні програми підготовки учнів з урахуванням їх знань, досвіду та навичок. **Висновки** – з метою підвищення ефективності навчання при підготовці операторів на тренажерах повинен проводитися постійний контроль дій операторів, в тому числі процес сприйняття ситуації оператором, його осмислення, формування необхідних навичок, а також психофізіологічного стану оператора при вирішенні їм поставленого завдання. Контроль і оцінка операторської діяльності дозволяє здійснювати зворотний зв'язок, даючи можливість оцінювати ступінь досягнення поставлених цілей, коригувати подальшу програму навчання, робити висновок про рівень підготовленості оператора до практичної роботи на реальних об'єктах.

Ключові слова: тренажний комплекс; оператор АСУ; диспетчер УПР; підготовка.

Вступ

Постановка задачі. Для підтримання відповідного рівня професійної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) необхідно зосереджувати головну увагу на тренажній підготовці, її забезпеченості методичним супроводженням, сучасними тренажерними системами (комплексами), що дозволить підтримати й закріпити отримані знання, придбати навички й уміння в управлінні екіпажами в складній динамічній навігаційній обстановці та особливих ситуаціях.

При розробці сучасних автоматизованих систем управління (АСУ) динамічними об'єктами (літаками, космічними кораблями, судами та ін.) виникає велика кількість невирішених завдань. Одним з найважливіших є завдання забезпечення високої ефективності взаємодії операторів з АСУ в процесі реалізації функцій управління [1].

При автоматизованому управлінні повітряними судами (ПС) на перший план виходить проблема формування необхідного рівня професійної підготовки людини-оператора [2]. Проблема підвищення ефективності професійної підготовки операторів АС УПР стає все більш актуальною. Підвищення важливості ролі операторів АСУ, пов'язане з необхідністю управління польотами в більш складних умовах, це гостро ставить проблему вдосконалення методичних і технічних засобів підготовки операторів.

Оператор, як правило, приймає найбільш складні і відповідальні рішення по управлінню ПС, причому від правильності його дій, вміння своєчасно знайти і реалізувати правильне допустиме рішення в

складній ситуації залежить не тільки ефективність виконання польотів, але в ряді випадків цілісність самого ПС і життя людей [2].

Найбільш ефективним засобом професійної підготовки операторів АС УПР є тренажери, що забезпечують штучне відтворення умов і факторів, які мають місце в процесі роботи оператора.

На відміну від автоматичних систем, де людина повністю виключена з контуру управління, АСУ передбачає активну участь людини в процесі управління, що забезпечує необхідну гнучкість і адаптивність системи управління.

Автоматизація управління істотно розширює можливості оператора по своєчасному вирішенню завдань управління, при цьому сам оператор стає найменш надійною ланкою при реалізації процесу управління. В процесі роботи на автоматизованому робочому місці оператор може допускати помилки [4, 5, 6], які істотно знижують якість і оперативність його роботи.

Дослідження показують [1, 3-6], що більше половини помилкових дій операторів та передумов до нештатних ситуацій, класифікуються як «неграмотна» експлуатація і відбуваються через недостатні знання суті процесів, що відбуваються під час роботи системи, або недостатнього розуміння наслідків, що викликаються неправильними діями оператора.

Тому при проектуванні тренажерів для підготовки операторів АС УПР з управління ПС, повинні бути реалізовані такі основні складові їх діяльності:

- умови роботи операторів;
- зовнішнє середовище функціонування ДО;
- навчання, контроль і оцінка дій операторів.

Аналіз літератури. Проблемам створення і модернізації тренажерних комплексів різного призначення і методологічним принципам створення інтегрованої навчально-тренувальної системи підготовки приділено увагу в роботах таких авторів, як Пальоний А. С., Санніков В. А., Неділько С. Н., Красовський А. А. та ін. [3, 5, 7, 8].

Проблемі підвищення якості професійної підготовки диспетчерів УПР за рахунок реалізації індивідуального підходу до навчання з використанням процедурних тренажерів приділено увагу в роботах [4, 5], де досліджувалися питання розробки незалежних автоматизованих засобів реєстрації, аналізу та оцінки дій авіадиспетчерів і застосування їх на тренажерах управління повітряним рухом.

Однак проблема удосконалення професійної підготовки операторів АС УПР, в тому числі з використанням тренажерів, тренажерних систем для формування умінь і навичок в складній обстановці залишається недостатньо дослідженою. Не розглянуто питання проектування і розробки перспективних тренажерних систем для професійної підготовки операторів АС УПР, які дозволять не тільки формувати навички та вміння в автоматизованому управлінні екіпажами, а й здатні аналізувати, контролювати й оцінювати їх дії, ставити різні рівні складності вправ і варіювати їх зміст.

Метою статті є визначення напрямків підвищення ефективності професійної підготовки операторів АС УПР при використанні інтелектуальних технологій проектування тренажерних систем.

Результати досліджень

Залежно від призначення на тренажери можуть покладатися найрізноманітніші завдання: початкове навчання операторів, їх перенавчання та тренування з закріплення навичок, професійний відбір, рішення задач проектування, дослідження обладнання та систем управління об'єктів, відпрацювання методик і програм навчання операторів, а також відпрацювання завдань операторської діяльності на різних етапах управління ПС [2]. Конкретні завдання, покладені на тренажер, залежать від цілей його створення.

Рациональна побудова тренажерних комплексів вимагає застосування спеціальних технологій, що забезпечують інформаційне, апаратне і програмне сполучення тренажерних засобів, багаторазове, економічно рентабельне використання ресурсів, можливість постійної модернізації тренажерів і розширення їх складу. Для забезпечення формування та вдосконалення в операторів професійних навичок і умінь з управління ПС на тренажери покладаються такі основні завдання [1]:

- моделювання в регульованому (уповільненому, реальному, прискореному) масштабі часу функціонування об'єкта (динаміки його поведінки) і зовнішньої обстановки в засобах спостереження об'єкта відповідно до керуючих впливів оператора, що навчається в нормальних і критичних режимах;

- моделювання фізичних факторів робочого середовища, що викликають у учнів відчуття, адекватно пов'язані з алгоритмом їх діяльності;

- управління процесом навчання і тренування;
- контроль, оцінка та реєстрація діяльності операторів в процесі навчання і тренування;
- відтворення інформації, зафіксованої в процесі навчання і тренування, з можливістю тимчасової зупинки та повернення.

Виконання зазначених завдань і вимог забезпечується відповідною структурною побудовою тренажера. Апаратний склад конкретних тренажерів визначається, перш за все, їх призначенням, прийнятими методами підготовки та специфікою об'єктів управління, до яких готуються оператори. Однак, незважаючи на велику різноманітність зазначених факторів і відмінність конструктивних і схемних особливостей окремих тренажерів їх структури ідентичні.

З урахуванням найбільш істотних задач, які повинні бути реалізовані на тренажері, його можна уявити як систему, що складається з оператора АС УПР, автоматизованого робочого місця оператора (АРМО АС УПР), моделюючого пристрою (МП), апаратури контролю і оцінки дій тих, хто навчається (АКО) і інструктора, а також зв'язків між ними (рис. 1). Основним елементом цієї структури є автоматизоване робоче місце оператора АС УПР, на якому відтворюються умови імітованого процесу. АРМО АС УПР являє собою виконаний в натуральну величину макет робочої зони реального об'єкта або сам реальний об'єкт. На АРМО встановлюються всі необхідні органи управління, засоби відображення і засоби зв'язку, якими користується оператор при управлінні реальним об'єктом.

В якості моделюючого пристрою використовується, як правило, обчислювальна система (ОС). На основі програмно реалізованої моделі об'єкта і його систем розраховуються параметри, які необхідні для імітації умов протікання реального процесу. Ці параметри виводяться на засоби відображення АРМО АС УПР. Керуючі дії оператора є входними параметрами моделей.

Програмне забезпечення, що виконується на обчислювальних засобах, доцільно структурувати за завданнями. Наприклад, такі завдання, як управління роботою моделей систем в реальному часі, управління режимами тренажера, організація транспорту даних між прикладними програмними модулями, є фактично універсальними, тобто не залежними від специфіки об'єкта, що моделюється. Всі подібні завдання має сенс виділити і реалізувати їх в окремому пакеті програм загального математичного забезпечення тренажера (ЗМЗ).

Оскільки ЗМЗ не залежить від специфіки об'єкта, що моделюється, то, фактично, його можна вважати приналежністю ОС. Сукупність прикладних модулів, що реалізують специфічні завдання тренажера і працюють під управлінням ЗМЗ, назвемо спеціальним математичним забезпеченням (СМЗ). Крім ЗМЗ і СМЗ, до складу тренажера часто включається тестове програмне забезпечення (ТПЗ), призначене зокрема для контролю цілісності систем і працездатності обладнання в період експлуатації тренажера [1]. Найважливішими складовими СМЗ типового тренажера є:

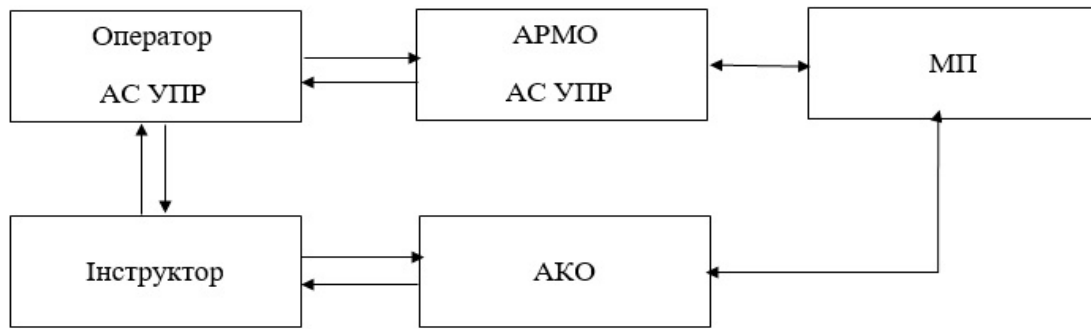


Рис. 1. Узагальнена структура тренажера

- модель об'єкта автоматизованої системи управління (що складається з апаратної частини, математичної частини імітує логіку роботи об'єкта АСУ, інтерфейс оператора);

- модель об'єкта управління;
- модель середовища;
- система імітації обстановки.

Якщо завдання підготовки операторів передбачають наявність розвинених засобів підтримки навчального процесу з використанням тренажера, то створюється система управління тренуваннями (СУТ). У цю систему можуть входити:

- пульт контролю і управління (ПКУ) з декількома робочими місцями інструкторів;
- програмне забезпечення управління тренувальним процесом з інтерфейсом користувача;
- підсистема автоматичного контролю операторської діяльності (АКОД);
- програмне забезпечення підготовки вправ, реєстрації та аналізу його результатів;
- інформаційно-довідкова система по об'єкту і тренажеру.

Зв'язок між робочими місцями на тренажері забезпечує система зв'язку (СЗ). На неї покладаються такі завдання:

- імітація зв'язку між об'єктами управління;
- імітація зв'язку «об'єкт управління - оператор АС УПР», а також між оператором та ПКУ;
- забезпечення персоналу, що проводить тренування, ремонтно-технологічним зв'язком, який міг би функціонувати паралельно існуючим каналам зв'язку.

При проектуванні тренажерів недостатньо звертається увага на процес навчання операторів, а саме на систему управління якістю професійної підготовки операторів АС УПР (підсистему автоматичного контролю операторської діяльності - АКОД) (рис. 2). Контроль операторської діяльності має на меті, по-перше, робити оцінку дій операторів щодо вимог до виконуваних завдань, по-друге, забезпечувати виявлення причин неправильних дій операторів або дій, які можуть бути наслідком недостатнього навчання і, по-третє, визначення ступеня їх підготовленості до реальних умов, а також моменту їх готовності до переходу від однієї тренувальної задачі до іншої.

Чим глибше здійснюється на тренажері аналіз результатів дій операторів і чим більш осмислено виконуються ними поставлені завдання, тим успіш-

ніше розвиваються їх здібності грамотно виконувати функціональні обов'язки. Це завдання ефективно вирішується шляхом оптимізації процесу навчання на основі кількісного аналізу функціонування системи тренажер-оператор і параметрів, що фіксуються в процесі проведення тренувань. Для цього в тренажерних комплексах, як правило, забезпечується можливість накопичення результатів подібного аналізу і накопичення даних з метою відображення існуючих взаємозв'язків між різними показниками функціонування, якістю виконання завдань і результатами навчання. Для цього в складі тренажерів створюється автоматизована система оцінки операторської діяльності [1].

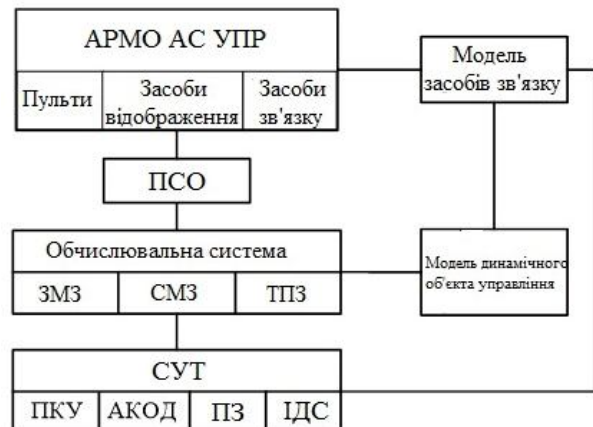


Рис. 2. Типова структура тренажера для підготовки операторів АС УПР

На рис. 3 представлена загальна схема моделі інформаційних потоків автоматизованої системи управління якістю підготовки операторської діяльності на тренажері для професійної підготовки операторів АСУ.

Розглянемо інформаційні потоки, що протікають під час вхідного контролю роботи системи в процесі навчання операторів АС УПР. На початковому етапі підготовки (перепідготовки, перенавчання, підвищення кваліфікації) операторів необхідно виявити їх рівень професійної підготовки для формування стратегії навчання. Для цього в систему заносяться персональні дані оператора, і формується набір індивідуальних завдань для відпрацювання їх дій на тренажері. Формування набору індивідуальних завдань передбачає вирішення багатокритері-

льної задачі оптимізації по формуванню набору тестів, здійснити яку можливо з використанням апарату генетичних алгоритмів.

При формуванні індивідуального набору тестових завдань необхідно враховувати: персональні дані оператора, рівень складності тестів, час їх виконання, валідність і інші характеристики [1, 2]. В процесі тестування здійснюється оперативний контроль, при якому реєструються дії оператора на пультовому обладнанні автоматизованого робочого місця (АРМ), визначаються логічні, опера-

ційні та тимчасові відхилення дій оператора (перевищення часу виконання операцій, тривала бездіяльність). В результаті всі відхилення дій оператора порівнюються з тими діями, які регламентовані в даній системі управління. При цьому виявляються порушення послідовності дій, невиконані обов'язкові або виконані неприпустимі дії. Часові відхилення також фіксуються, особливо якщо відмінність між нормативним (по інструкції) і фактичним часом виконання тієї чи іншої команди перевищує допустимий часовий інтервал.



Рис. 3. Загальна структура управління якістю підготовки диспетчера УПР на тренажері

За результатами вхідного контролю по виконанню окремих операцій і етапів розв'язуваного операторами завдання формується стратегія їх навчання, і розраховується прогноз навченості, що робить можливим реалізацію індивідуального підходу до підготовки операторів АС УПР.

Після визначення рівня підготовки і формування стратегії навчання відбувається процес ситуаційного адаптивного формування середовища навчання оператора в процесі тренажної підготовки шляхом його інтелектуалізації з використанням нечітких штучних нейронних мереж.

Більш детально процес ситуаційного адаптивного формування середовища навчання тренажної підготовки представлений на рис. 4.

На початку навчання операторів АС УПР, виходячи зі стратегії підготовки, формується перелік типових завдань для відпрацювання їх на тренажері. Далі оператор приступає до відпрацювання своїх дій.

Процес контролю дій оператора АС УПР за своєю структурою не зміниться, але в залежності від характеру вирішуваних завдань, правильності та ефективності дій операторів глибина і масштаби його проведення можуть бути різними. Процес контролю нами було розглянуто вище. Однак у міру придбання необхідних навичок операторів АС УПР тренажерні засоби повинні забезпечувати модифікацію умов проведення тренувань.

Параметри умов і ситуацій повинні змінюватися в найбільш ймовірному діапазоні, як в цілях оптимізації обсягу інформації, що пред'являється оператору на різних етапах підготовки, так і з метою формування гнучких, адаптивних навичок, які можуть бути використані в прогнозованих реальних умовах його діяльності. Тому тренажер повинен дозволяти інструкторові змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють управління об'єктом або створюють перешкоди, а також формувати вправи дозовано-прогресуючої складності. При цьому навички ранжуються за значимістю; характер завдань, які виконуються в процесі тренування, індивідуалізовано з урахуванням функціональних обов'язків і можливостей оператора.

Вихідні та проміжні результати контролю діяльності операторів АС УПР заносяться в базу даних результатів тренування і після відпрацювання комплексу типових задач автоматизована система управління якістю підготовки операторів повинна визначити ступінь підготовленості операторів АС УПР до роботи на реальному робочому місці або їх готовність до переходу на відпрацювання іншого тренувального завдання. Крім того в разі невиконання будь-якої типової задачі система повинна сформувати індивідуальну програму підготовки з урахуванням здібностей оператора, його навичок та умінь, а також спрогнозувати його подальше навчання аналізуючи результати попередньої роботи.

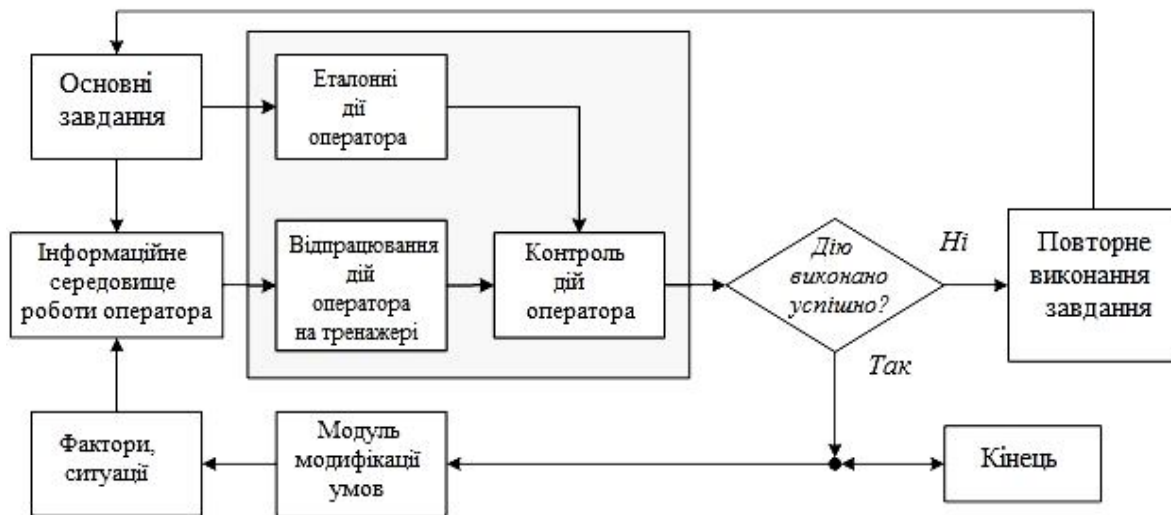


Рис. 4. Ситуаційне адаптивне формування середовища навчання оператора АС УПР в процесі тренажерної підготовки

Висновки

Підтримка професійно важливих якостей і відновлення їх за допомогою тренажерної підготовки – це один з основних видів підготовки операторів АС УПР, що дозволяє закріпити й поглибити отримані знання, придбати навички й уміння в управлінні екіпажами в будь яких умовах навігаційно-тактичної обстановки.

Від того, наскільки продуманий зміст такої підготовки, як організований і проведений навчальний процес, буде залежати рівень професійної майстерності та безпека польотів. Зазначені обставини викликають необхідність уніфікації проведення тренажерної підготовки на всіх рівнях, починаючи від навчального закладу закінчуючи місцем постійної роботи фахівця.

З метою підвищення ефективності навчання при підготовці операторів АС УПР на тренажерах повинен передбачатися постійний контроль дій операторів, в тому числі процес сприйняття ситуації оператором, його осмислення, формування необхідних навичок, а також психофізіологічного стану оператора при вирішенні їм поставленого завдання.

На даний момент питання проектування і розробки перспективних тренажерних систем для професійної підготовки операторів АС УПР, які дозволять не тільки формувати навички та вміння в автоматизованому управлінні екіпажами, а й здатні аналізувати, контролювати й оцінювати їх дії, ставити різні рівні складності вправ і варіювати їх зміст залишаються не розглянутими.

Тренажер повинен дозволяти інструкторові змінювати ситуації, вводити нові або додаткові умови, що ускладнюють управління об'єктом або створюють перешкоди. Контроль і оцінка операторської діяльності дозволяє здійснювати зворотний зв'язок, даючи можливість оцінювати ступінь досягнення поставлених цілей, коригувати подальшу програму навчання, робити висновок про рівень підготовленості оператора до практичної роботи на реальному робочому місці.

Тому подальші дослідження необхідно направити на розробку автоматизованої системи оцінки операторської діяльності, до якої включені засоби реєстрації, аналізу, оцінки дій оператора, модифікацію умов проведення тренувань і їх застосування на тренажерах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шукшунов В. Е., Циблиев В. В., Потоцкий С. И. Тренажерные комплексы и тренажеры : технологии разработки и опыт эксплуатации. М. : Машиностроение, 2005. 383 с.
2. Шукшунов В. Е., Бакулов Ю. А., Григоренко В. Н. Тренажерные системы. М.: Машиностроение, 1981. 256 с.
3. Красовский А. А. Основы теории авиационных тренажеров. М.: Машиностроение, 1995. 304 с.
4. Паленный А. С. Разработка алгоритма автоматизированной оценки действий авиадиспетчеров на тренажерах обслуживания воздушного движения. *Наукові праці академії*. Кіровоград: ДЛАУ, 2006. Вип. XI. С. 118-130.
5. Неделько С. Н., Григорецкий В. А., Паленный А. С. Разработка системы критериев оценки для автоматизированного анализа действий авиадиспетчеров на тренажерах обслуживания воздушного движения. *Наукові праці академії*. ДЛАУ. 2005. Вип. IX. С. 387-400.
6. Максютя Е. Ф., Кузнецов Ю. Н. Методика тестирования антиципирующей реакции при профессиональной подготовке специалистов по боевому управлению авиацией. *Актуальные проблемы ВУЗов ВВС*. М.: 2003. С. 16-19.
7. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Л. С. Демин, Ю. Г. Жуковский, А. П. Семенихин и др. / под ред. В. Е. Шукшунова. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.
8. Руснак І. С., Шевченко В. Л. Проблеми модернізації та створення тренажерно-моделювальних комплексів військового призначення. *Наука і оборона*. 2002. № 1. С. 26-32.

REFERENCES

1. Shukshunov, V.E., Tsibliyev, V.V. and Pototskiy S.I. (2005), Technologies of development and experience of exploitation of the trainer systems and trainers, Mashynostroenye, Moscow, Russia. 383 p.
2. Shukshunov, V.E. Bakulov, Yu.A. and Grigorenko V.N. (1981), Training systems, Mashynostroenye, Moscow, 256 p.
3. Krasovskiy, A.A. (1995), Bases of theory of aviation trainers. Mashynostroenye, Moscow, Russia. 304 p.
4. Palennyi, A.S. (2006), "Development of the algorithm for the automated estimation of air traffic controllers actions on the training simulator for maintenance of air traffic", *Scientific works of the academy*, Vol. XI, pp. 118-130.
5. Nedelko, S.P., Hryhoretskii, V.A. and Palennyi, A.S. (2005), "Development of the estimation criteria system for the automated analysis of air traffic controllers actions on the training simulator for maintenance of air traffic", *Naukovi pratsi akademii*, Issue IX, DLAU, Kirovograd, pp. 387-400.
6. Maksyuta, E.F. and Kuznetsov, Yu.N. (2003), "Testing methods antedating reaction at specialists professional training on aviation combat command and control", *Aktualnye problemy VUZov VVS*, Moscow, pp. 16-19.
7. Demin, L.S., Zhukovskiy, Y.G. and Semenikhin, A.P. (1986), "Teaching CASS of professional preparation of operators of aircrafts", *Mashinostroenie*, Moscow, Russia, 240 p.
8. Rusnak, I.S. and Shevchenko, V.L. (2002), "Problems on upgrading and creating military training systems and simulators", *Nauka i oborona*, No. 1, pp. 26-32.

Надійшла (received) 04.09.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 24.10.2018

**Принципы построения перспективных тренажерных систем подготовки операторов
автоматизированных систем управления воздушным движением**

В. С. Сторчак

Поддержка профессионально важных качеств и восстановления их с помощью тренажерной подготовки - это один из основных видов подготовки операторов АС УВД, что позволяет закрепить и углубить полученные знания, приобрести навыки и умения в управлении экипажами в любых условиях навигационно-тактической обстановки. От того, насколько продумано содержание такой подготовки, как организован и проведен учебный процесс, будет зависеть уровень профессионального мастерства и безопасность полетов. Указанные обстоятельства вызывают необходимость унификации проведения тренажерной подготовки на всех уровнях, начиная от учебного заведения заканчивая местом постоянной работы специалиста. **Предметом** изучения статьи является анализ способов и средств обеспечения повышения уровня профессиональной подготовки операторов автоматических систем управления воздушным движением. **Целью** работы является определение направлений повышения эффективности профессиональной подготовки операторов автоматических систем управления воздушным движением при использовании интеллектуальных технологий проектирования тренажерных систем. **Задача** – обоснование технических решений, внедрение которых позволит расширить круг решаемых на тренажерах задач, разнообразить условия проведения тренажей, адаптивно контролировать и регулировать сложность решения контрольных задач, а также формировать и корректировать индивидуальные программы подготовки учащихся с учетом их знаний, опыта и навыков. **Выводы** – с целью повышения эффективности обучения при подготовке операторов на тренажерах должен проводиться постоянный контроль действий операторов, в том числе процесс восприятия ситуации оператором, его осмысление, формирование необходимых навыков, а также психофизиологического состояния оператора при решении им поставленной задачи. Контроль и оценка операторской деятельности позволяет осуществлять обратную связь, давая возможность оценивать степень достижения поставленных целей, корректировать дальнейшую программу обучения, делать вывод об уровне подготовленности оператора к практической работе на реальных объектах.

Ключевые слова: тренажерный комплекс; оператор АСУ; диспетчер УВД; подготовка.

**Principles of construction of automated control system operator
training perspective simulator systems**

V. Storchak

The support of professionally important qualities and their restoration through training is one of the main types of training of operators of the AU UPR, which allows to consolidate and deepen the knowledge gained, acquire skills and ability in the management of crews in any conditions navigational and tactical environment. The level of professionalism and flight safety will depend on how well thought out the content of such training, both organized and conducted by the training process. These circumstances cause the need to unify the training exercise at all levels, from the educational institution to the place of permanent work specialist. **The subject of the study** in the article is an analysis of ways and means to improve the determination of directions of increase of efficiency of professional preparation of ACS. **The purpose** is to determinate directions of efficiency of professional preparation of ACS operator increase using of intelligent information technologies of of the trainer systems planning. **The task** is justification of technical solutions, the introduction of which in the practice allow to expand the range of tasks, vary conditions of simulators, adaptive control and regulate the complexity of the control tasks, as well as create and adjust individual training programs for students with regard to their knowledge, experience and skills. **Conclusion** – to increase the effectiveness of training in the training of operators on simulators, constant monitoring of operators' actions, including the process of perceiving the situation by the operator, his comprehension, the formation of necessary skills, as well as the psychophysiological state of the operator when solving his task, should be carried out. Monitoring and evaluation of operator activity allows us to provide feedback, making it possible to assess the degree of achievement of set goals, adjust the further training program, draw a conclusion about the level of the operator's preparedness for practical work on real objects.

Keywords: training complex; ACS operator; air training controller; training.

O. Tsyhanenko¹, Kh. Rzayev², T. Mammadova²

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

²Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

MATHEMATICAL MODEL OF THE MODIFIED NIEDERREITER CRYPTO-CODE STRUCTURES

Subject of research is the modification of the Niederreiter crypto-code construction on non-binary codes. **The purpose** of this work is to develop a mathematical model of a modified Niederreiter crypto-code structure using algebrogeometric block codes with a shortening of the information parcel. **The tasks to be solved are:** to formalize the procedures for the formation of codograms and their further decoding; develop a mathematical model of the Niederreiter crypto-code structure modified by shortening the information parcel and fixing the admissible positional vectors of the plaintext transformation based on equilibrium coding. The following **results** were obtained. Studies of the Niederreiter crypto-code structures in MES revealed the main reason for the impossibility of the practical implementation of decoding algorithms when using non-binary codes in the classical scheme. It has been established that it is necessary to fix a subset of plaintext for which the error localization procedure, with the X, P and D (private key) masking matrices selected by the sender, cannot be performed. With its help, we need to “weed out” the error vector sets that do not allow using the classical version of decoding information on the receiving side when using the classical Niederreiter scheme on m-th codes. When constructing a mathematical model, the identified feature was considered. As a result, a mathematical model of the Niederreiter crypto-code structure modified by shortening the information package and fixing admissible positional vectors of the plaintext transformation based on equilibrium coding is obtained. **Conclusion.** The scientific novelty of the obtained results is as follows: the proposed modified mathematical model of the Niederreiter crypto-code structure ensures its practical implementation. Reducing the field power when building a classic Niederreiter scheme reduces the amount of data transferred by shortening the error vector before generating the syndrome on the sender side and, accordingly, the energy costs of its implementation; The use of the quantum-stable and promising Niederreiter crypto-code construction has been further developed, the identified feature and the proposed modification ensure its competitiveness.

Keywords: modified Niederreiter crypto-code structure; modified shortened elliptic-curve codes; equilibrium coding; information secrecy.

Introduction

Modern requirements for ensuring the quality of service for users of global computer networks put forward new challenges for the integrated solution of the main criteria for the quality of service - reliability and security of service. Integrated mechanisms to ensure increased requirements are unsymmetrical crypto-code information security tools based on McEliece and Niederreiter theoretic code schemes (TKS), built on non-binary error-tolerant codes and allowing operation in various data exchange modes [1 - 5]. The asymmetric cryptosystems proposed in [1, 2] provide the required performance indicators, cryptographic strength and reliability of the transmitted data, and most importantly, the use of a single software / hardware (hardware) mechanism in ensuring the required performance of the main criteria for quality of service.

At the same time, the analysis of the software implementation of an asymmetric crypto-code system on the Niederreiter TCS carried out in [4, 5] showed significant implementation difficulties, which makes it difficult to use code-theoretic schemes to build crypto-resistant asymmetric systems. Development of modified crypto-code systems using modified algebrogeometric codes is a promising direction in solving this technical problem.

During a pilot study of Niederreiter's CCS on the MES, it was determined that the use of non-binary codes with the Niederreiter's classical ACCS requires modifications, namely, fixing a subset of open texts for which the error localization procedure, with selected X,

P and D, cannot be performed. The aim of the article is to develop a formal mathematical description of modified crypto-code information security tools based on the Niederreiter TCS using algebrogeometric block codes based on the shortening of information symbols and fixing a subset of open texts, allowing for a reduction in the volume of key data while maintaining the level of crypto resistance, crypto resistance and energy costs on their implementation.

The potential strength of theoretical-code schemes is determined by the complexity of decoding a random (n, k, d) block code. Consequently, to build potentially persistent theoretical code schemes, it is necessary to use modification methods that do not allow the minimum code distance to be reduced. By masking the code with a fast decoding algorithm (of polynomial complexity) under an arbitrary (random) block code, one can present the decoding task for an adversary as a computationally complex problem (exponential complexity). For an authorized user of the system (having a secret key) decoding is a polynomially solvable problem. In the work of Sidelnikov [1], an effective method was proposed for breaking into asymmetric McEliece and Niederreiter schemes built on generalized Reed-Solomon codes. It is noted that one of the promising directions in the development of potentially stable theoretical code schemes are schemes constructed using algebraic geometry codes. Algebraic block codes constructed from algebraic curves (algebraic codes) have good asymptotic characteristics. Their use in discrete symmetric channels allows you to get the greatest energy gain from coding (among algebraic block codes) and effectively deal with

the resulting error packets. Ways to shorten linear block codes, without changing the minimum distance, allow you to build hack-resistant asymmetric crypto-code systems with a smaller volume of cryptograms and key data. In accordance with the formal mathematical description of asymmetric crypto-code systems based on the Niederreiter TCS in the direct error correction mode and automatic questioning proposed in [2], mathematical models of modified asymmetric cryptosystems based on the Niederreiter TCS are proposed that reduce the energy costs of their implementation.

Research results

Mathematical model of a modified asymmetric crypto-code system of information protection using algebra-geometric block codes based on Niederreiter's code-theoretic scheme based on shortening (shortening of information symbols). Formally given by the combination of the following elements [2]:

- set of open texts $M_i = \{M_1, M_2, \dots, M_{q^k}\},$

where $M_i = \{e_0, e_{h_1}, \dots, e_{h_k}, e_{e-1}\}, \forall e_e \in GF(q), h_e$ – error vector symbols are zero, $|h| = e/2,$ or $e_i = 0, \forall e_i \in h;$

- the set of fixed open texts then the set of usable open texts $M = M_C - M_F;$

- set of closed texts $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{q^r}\},$ where

$S_i = \{S_{X_0}^*, S_{h_1}^*, \dots, S_{h_j}^*, S_{X_r}^*\}, \forall S_{X_r} \in GF(q);$

- a set of direct reflections (based on the use of a public key - an elliptic-curve code check matrix (EC): $\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_r\},$ where a set of back reflections (based on the use of a private (private) key - masking matrices), $\Phi^{-1} = \{\Phi_1^{-1}, \Phi_2^{-1}, \dots, \Phi_r^{-1}\},$ where

$\Phi_i^{-1} : S_{r-h_e} \rightarrow M, i = 1, 2, \dots, e.$

- the set of keys that parameterize direct mappings (public key of an authorized user):

$$KU_{a_i} = \left\{ KU_{1a_i}, KU_{2a_i}, \dots, KU_{ra_i} \right\} = \left\{ H_{X_{a_i}}^{EC1}, H_{X_{a_i}}^{EC2}, \dots, H_{X_{a_i}}^{ECr} \right\},$$

where $H_{X_{a_i}}^{ECi}$ – check $r \times n$ matrix disguised as a random algebraic-geometric block code (n, k, d) with elements $GF(q),$ i.e

$$\Phi_i : M \xrightarrow{KU_{ia_i}} S_{r-h_e}^*,$$

$i = 1, 2, \dots, e, a_i$ – set of coefficients of a polynomial curve $a_1 \dots a_6, \forall a_i \in GF(q),$ uniquely defines a specific set of curve points from space $P^2;$

- a set of keys that parameterize reverse mappings (personal (private) key of an authorized user):

$$KR = \{KR_1, KR_2, \dots, KR_r\} = \{\{X, P, D\}_1, \{X, P, D\}_2, \dots, \{X, P, D\}_r\},$$

$\{X, P, D\}_i = \{X^i, P^i, D^i\},$ where X^i – masking

nondegenerate randomly equiprobably formed by key source $k \times k$ matrix with elements from $GF(q); P$ – permutable randomly equally formed key source $n \times n$ matrix with elements from $GF(q); D$ – a diagonal matrix formed with a key source with elements from $GF(q)$ i.e

$$\Phi_i^{-1} : S_{r-h_e}^* \xrightarrow{KR_i} M, i = 1, 2, \dots, s.$$

The complexity of performing reverse mapping Φ_i^{-1} without knowing the key $K_i^* \in K^*$ connected with the solution of the theoretical complex problem of decoding a random code (code of general position). The initial data when describing the considered asymmetric crypto-code information security system are:

- nonbinary equilibrium code over $GF(q),$ i.e., multiple sequences of length n and weight $w(\varepsilon_i);$

- algebraic-geometric block (n, k, d) code C over $GF(q),$ that is, so many code words $C_i \in C,$ when equality holds $C_i H^T = 0,$ where H – algebraic block code check matrix;

- IV – initialization vector, $IV = |h| = e/2$ where – reduction elements (h_e – error vector symbols are zero, $|h| = 1/2e,$ i.e $e_i = 0, \forall e_i \in h;$);

- masking matrix mappings given by a set of matrices $\{X, P, D\}_i,$ where X – non-degenerate $k \times k$ matrix over $GF(q), P$ – permutation $n \times n$ matrix over $GF(q)$ with one nonzero element in each row and in each column of the matrix, D – diagonal $n \times n$ matrix over $GF(q)$ with nonzero elements on the main diagonal;

- r – parameter $r \in_R Z_{q^m}, Z_{q^m} = \{0, 1, \dots, 2^n - 1\},$

- n – some parameter $n \in_R Z_{q^n}, Z_{q^n} = \{1, \dots, 2^n\};$

Let $M_C = \{M_1, M_2, \dots, M_{q^k}\},$ set of all open texts (n, k, d) of block code. Define a subset of committed open texts $M_F = \{M_1, M_2, \dots, M_n\},$ where

$$M_i^u \cdot P^u \cdot D^u = M_i \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1} \cdot P^u \cdot D^u.$$

When coding, the elements of the set of fixed open texts do not participate, the set of suitable open texts will be $M = M_C - M_F.$

Based on the equilibrium coding, the closed text is formed by the entered plaintext $M_i \in M$ with a given key $H_X^{ECu}, u \in \{1, 2, \dots, s\}.$

This is done by forming a syndromic (in terms of noise-resistant coding) sequence, which corresponds to an equilibrium sequence:

$$M_i = e = \{e_0, e_1, \dots, e_{n-1}\},$$

$$S_{X_j} = \phi_u \left(M_i, H_X^{ECu} \right) = M_i \times \left(H_X^{ECu} \right)^T,$$

moreover, the Hamming weight (the number of nonzero elements) of the vector is not greater than the corrective power of used algebraic block (n, k, d) code:

$$\forall i: 0 \leq w(M_i) \leq t = \lfloor (d-1)/2 \rfloor.$$

The power of sets M and C is determined by the allowable range of weights that is, in the general case (for all valid values $w(M_i)$) we have:

$$m = \sum_{i=0}^t (q-1)^i \times C_n^i,$$

where C_n^i – binomial coefficient, $C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$.

The most appropriate value $w(M_i)$ choose according to the required value of the security of information transfer. Then for $w(M_i) = const = w(e)$

we have: $m = (q-1)^{w(e)} \times C_n^{w(e)}$, and the sequence $M_i = \{e_0, e_1, \dots, e_{n-1}\}$ from the set $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ formed as a result of some mapping ψ , implemented by redundant coding by non-binary equilibrium codes of non-redundant information sequences.

Formed closed text $C_j \in C$ uniquely corresponds to the vector $M_i = \{e_0, e_1, \dots, e_{n-1}\}$.

Form the initialization vector $IV = EC - h_j$, where h_j – information symbols are zero, $|h| = k/2$, i.e., $I_i = 0, \forall I_i \in h$.

Formation of a shortened error vector $e_x = e(A) - IV$.

The public key is generated by multiplying the check matrix of the algebraic code by the masking matrix:

$$H_X^{ECu} = X^u \cdot H \cdot P^u \cdot D^u, \quad u \in \{1, 2, \dots, s\},$$

where H_X^{ECu} – check $n \times (n-k)$ matrix of algebraic-geometric block code (n, k, d) with elements from $GF(q)$. Syndrome sequence enters the communication channel:

$$S_{r-h_e}^* = (e_n - h_e) \times H_X^{EC T}.$$

On the receiving side, an authorized user who knows the masking (matrix set $\{X, P, D\}_u = \{X^u, P^u, D^u\}$) and the initialization vectors (the number and places of the zero symbols of the error vector) form a code sequence as one (any) of the possible solutions to the equation:

$$S_{r-h_e}^* = c_{X_i}^* \cdot H_{X_j}^T,$$

that is, finds such a vector $c_{X_i}^*$, which decomposes into an amount: $c_{X_i}^* = c_{X_i} + M_i$, where c_{X_i} – one (any) of the possible code words of a masked

code with a check matrix $H_{X_j}^T$, i.e. $c_{X_i} \times H_{X_j}^T = 0$.

Then an authorized user using the matrix set $\{X, P, D\}_u = \{X^u, P^u, D^u\}$, form a vector:

$\bar{c}^* = c_X^* \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1}$, that is, unmasks the code sequence $c_{X_i}^*$. After the substitution we get the equality:

$$\begin{aligned} \bar{c}^* &= c_X^* \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1} = (c_{X_i} + M_i) \cdot (D^u)^{-1} \times \\ &\times (P^u)^{-1} = c_{X_i} \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1} + M_i \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1}. \end{aligned}$$

The authorized user who formed the vector has the ability to apply a fast (polynomial complexity) noise-resistant decoding algorithm and thus form a vector $\bar{c}^* = c_X^* \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1}$ and vector

$$M_i^u = M_i \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1}.$$

To restore the information equilibrium sequence M_i enough to multiply the vector again M_i^u and the masking matrix D^u and P^u , but in a different order:

$$M_i = M_i^u \cdot P^u \cdot D^u = M_i \cdot (D^u)^{-1} \cdot (P^u)^{-1} \cdot P^u \cdot D^u = M_i.$$

Forming the desired error vector $e: M = M_i + IV$

When deciphering a cryptogram (after receiving the error vector, before using the equilibrium coding algorithm), “zero” shortening symbols are introduced based on the initialization vector for information.

Evaluation of energy costs for software implementation and the complexity of code transformations in the proposed MACCS of Niederreiter. For the evaluation of time and speed indicators it is customary to use the unit cpb, where cpb (cycles per byte) – the number of processor cycles that must be spent to process 1 byte of incoming information. The complexity of the algorithm is calculated by the expression

$$Per = Util * CPU_clock / Rate,$$

where $Util$ – processor core utilization (%); $Rate$ – the bandwidth of the algorithm (bytes/sec).

In tabl 1 shows the results of studies of the dependence of the length of the code sequence of an algebraic code in the Niederreiter crypto-code system on the number of processor cycles to perform elementary operations in the software implementation of the crypto-code systems.

Analysis table 1, 2 shows that the use of modified (shortened) elliptic codes allows you to save the volume of transmitted data in the Niederreiter asymmetric crypto-code system, but at the same time to ensure the required level of cryptographic resistance when implemented over a smaller field $GF(2^6 - 2^8)$ due to the use of the entropy of the initialization vector h_r .

Table 1. The results of studies of the dependence of the length of the code sequence in the ACCS Niederreiter on the number of processor cycles

The length of the code sequence		Niederreiter			Niederreiter on shortened codes			Niederreiter with fixed vectors		
		10	100	1000	10	100	1000	10	100	1000
Number of function calls implementing elementary operations	Character reading	11 018 042	30 800 328	80 859 933	10 294 397	28 750 457	76 759 874	11 431 2131	33 460 317	82 473 442
	String comparison	3 663 356	10 199 898	26 364 634	3 406 921	9 246 748	25 478 498	3 673 756	12 119 867	29 469 389
	String concatenation	1 834 983	5 125 564	13 415 329	1 705 544	5 045 748	12 379 422	1 947 681	6 114 478	14 456 729
Sum		16 516 381	46 125 790	120 639 896	15 406 862	43 042 953	114 617 794	17 053 568	51 694 662	12 639 9 560
The duration of the functions* in processor cycles	Character reading	297 487	831 609	2 183 218	295 374	810 478	2 001 167	300 479	843 705	2 745 148
	String comparison	197 821	550 794	1 423 690	178 814	531 379	1 248 684	213 478	561 754	1 739 170
	String concatenation	544 990	1 522 293	3 984 353	544 990	1 328 114	3 586 486	578 174	1 647 638	4 007 883
Sum		1 040 298	2 904 696	7 591 261	1 006 781	2 749 548	7 247 488	1 092 131	3 053 097	8 492 201
Duration of execution** in ms		0,55	1,53	4	0,52	1,37	3,4	0,56	1,55	4,1

Note: * 1000 operations per processor clock cycles: character reading - 27 clock cycles, string comparison - 54 clock cycles, string concatenation - 297 clock cycles.

** for the calculation, a processor with a clock frequency of 2 GHz, considering the load by the operating system of 5%, was taken.

In table 2 the results of studies assessing the temporal and velocity indicators of the procedures for the formation and decoding of information in crypto-code systems based on the ACCS and the MCCS Niederreiter. We will conduct a comparative assessment of the developed mathematical model and practical algorithms for the implementation of the Niederreiter's MACCS at MES.

Let's introduce the following notation.: l – the length of the information sequence (block), which is fed to the input of the CCS scheme(in bits); l_K – the length of the public key (in bits); l_{K+} – private key length (in bits); l_S – codogram length (in bits); OK – the complexity of the formation of codograms (the number of group operations); OSK – the complexity of solving the problem of analysis (the

number of group operations); $OK+$ – the complexity of solving the problem of analysis (the number of group operations); L_0 – source text length R – relative coding rate; old – the classical McEliece-Niederreiter ACCS proposed in [16]. In table 3 and Fig. 1 shows the results of studies of the complexity of cryptogram formation in various $GF(2^m)$. Analysis of the results in Fig. 1 indicates an increase in the rate of cryptogram formation when using shortened MES. The length of the codogram (in bits) is determined by the expression:

$$l_S = (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k) \times m.$$

In tabl. 4 and fig. 2 shows the results of studies of the complexity of decrypting a cryptogram in various $GF(2^m)$.

Table 2. The results of studies assessing the time and speed indicators of the procedures for the formation and decoding of information

Crypto-code systems	The length of the code sequence	Algorithm Throughput Rate (bytes / sec)	CPU core utilization (%)	Algorithm complexity, Per (cpb)
Niederreiter's ACCS	100	46 125 790	56	61,5
	1000	120 639 896	56	62,0
Niederreiter's MCCS with fixed vectors	100	51 694 662	56	61,7
	1000	126 399 560	56	62,2
Niederreiter's MCCS on shortened elliptic codes	100	52 721 778	56	61,5
	1000	127 389 928	56	62,1

Table 3. Dependence of the cryptogram formation complexity in different $GF(2^m)$

$GF(2^m)$		3	4	5	6	7	8	9	10	
R	1	0.5 (old)	817	2140	8706	10722	83000	207422	710920	52704
	2	0.75 (old)	968	6282	11461	60760	210170	605005	1018079	103822
	3	0.5	817	2140	8706	10722	83000	207422	710920	4572881
	4	0.75	968	6282	11461	60760	210170	605005	1018079	5561379

Table 4. The results of studies of the complexity of decoding cryptograms in various $GF(2^m)$

$GF(2^m)$		3	4	5	6	7	8	9	10
R	1 0.5 (old)	120	680	2092	12397	127523	1203984	10637991	175645127
	2 0.75 (old)	640	2378	7512	61246	136495	1494284	12768954	193648924
	3 0.5	1280	11028	78634	760553	4566721	12948312	92516734	1.00E+09
	4 0.75	5127	23674	277830	5220573	19768512	52694229	10637991	175645127

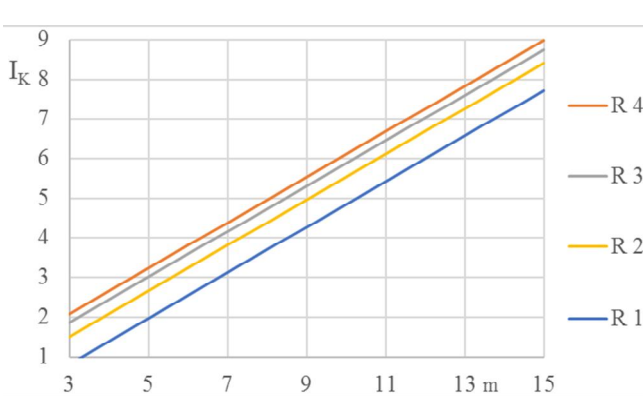


Fig. 1. The dependence of the cryptogram formation complexity in different $GF(2^m)$

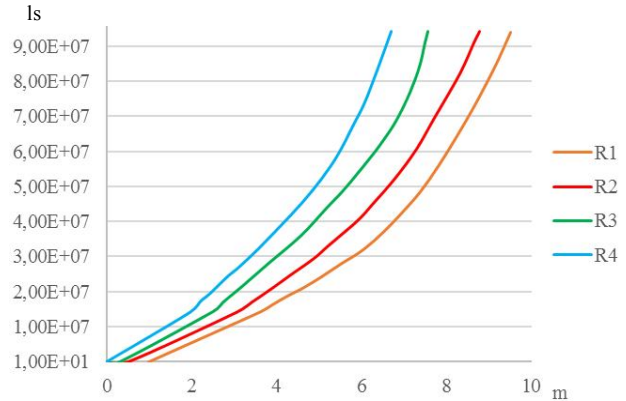


Fig. 2. The dependence of the cryptogram decoding complexity in various $GF(2^m)$

Analysis table 3, 4 and Fig. 1, 2 showed that further reduction of the Galois field power leads to a significant decrease in the complexity of formation (≈ 3 times) and decoding (≈ 5 times) of the cryptogram.

In tabl 5 and Fig. 3 shows the results of studies of the complexity of hacking by the method of decoding decoding in various $GF(2^m)$.

The complexity of forming a codogram is determined by the expressions:

- for shortened MES (when implementing systematic coding, the following expression is defined):

$$O_K = (r+1) \times (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k) + O\left(\frac{1 - K_C^u}{K_f} \times L\right);$$

for non-systematic coding:

$$O_K = O_K = (k+1) \times (k+1) \times (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k) + O\left(\frac{1 - K_C^u}{K_f} \times L\right).$$

Table 5. The dependence of the complexity of hacking over $GF(2^m)$

$GF(2^m)$		3	4	5	6	7	8	9	10
R	1 0.5(old)	2.868	4.843	6.22	7.891	8.995	10.37	11.74	13.19
	2 0.75(old)	4.867	6.613	8.03	12.245	13.13	15.16	17.18	19.23
	3 0.5	8.234	12.647	14.742	18.767	21.102	24.05	27.002	29.95
	4 0.75	9.764	13.32	16.892	19.76	22.93	26.11	29.302	32.484

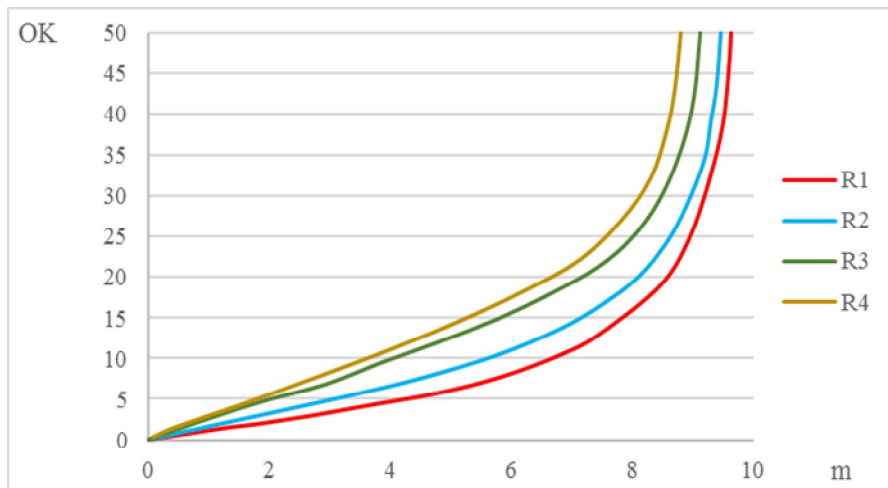


Fig. 3. The dependence of the complexity of hacking over $GF(2^m)$ (peer decoding)

Analysis of fig. 3 showed that reducing the power of the field to 26 did not lead to a significant reduction in the complexity of cracking a cryptogram using the method of decoding decoding.

The complexity of forming a codogram is determined by the expressions:

– shortened MES: for systematic and non-systematic coding, respectively, is determined by the expressions:

$$O_K = (r+1) \times (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k) + O\left(\frac{1 - K_C^u}{K_f} \times L\right);$$

$$O_K = (k+1) \times (k+1) \times (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k) + O\left(\frac{1 - K_C^u}{K_f} \times L\right).$$

The complexity of solving the problem of analysis (decoding) we define the expression:

$$O_{K+} = N_{noxp} \times (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k) \times r + N_F \vee (N_K)$$

The complexity of decoding codogram is determined by the following expressions:

$$O_{SK} = 2 \times (2\sqrt{q} + q + 1 - 1/2k)^2 + 1/2k^2 + 4t^2 + \frac{(t^2 + t - 2)^2}{4} + O\left(\frac{(\alpha - z \times \log k)}{|K_z^c \times L|}\right).$$

In tabl 6 and Fig. 4 shows the results of studies of the complexity of hacking and the complexity of coding for different speeds R in different GF (2m).

In tabl 7 and Fig. 5 shows the dependence of the volume of open key data for various indicators of sustainability.

Analysis of the results of the table 6, 7 and Fig. 4, 5 clearly demonstrates why an increase in the relative data transfer rate was obtained: the amount of key data in the proposed Niederreiter crypto-code structure on modified (shortened) elliptic codes is half as much as on binary codes in the classic Niederreiter's ACCS.

In table 8 shows the results of studies of the capacitance characteristics in the software implementation of the power field.

The resulting table 8 shows the number of group operations of the Niederreiter's ACCS software implementation when building on elliptic and modified (shortened) elliptic codes depending on the field strength.

Table 6. Hacking complexity and coding complexity for different speeds R

		$lg(ls)$	3	4	5	6	7	8	9	10
R	1	0.5 (old)	18.22	21.42	38.77	54.13	82.14	165.84	358.33	672.37
	2	0.75 (old)	33.17	51.75	61.09	78.37	83.72	179.13	371.09	684.94
	3	0.5	56.88	78.92	94.91	120.83	182.39	276.27	459.81	783.46
	4	0.75	58.03	80.52	104.56	128.79	189.74	287.33	476.52	794.28

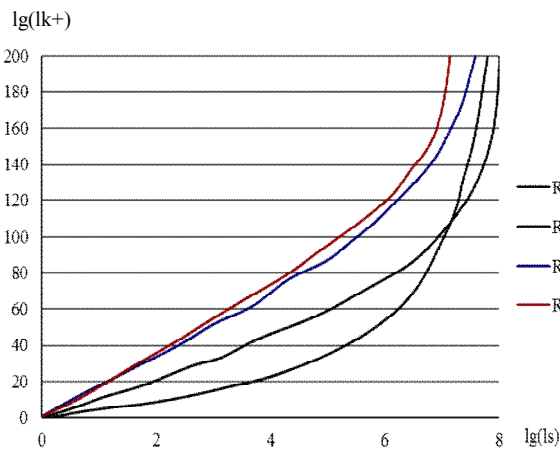


Fig. 4. Summary of hacking complexity and coding complexity

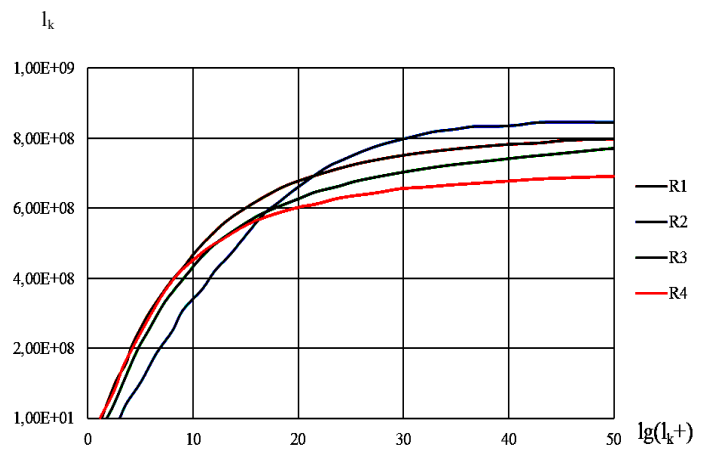


Fig. 5. Volume dependence of open key data for various sustainability indicators

Table 7. Volume Dependencies of Open Key Data

		$lg(lk+)$	5	20	35	50
R	1	0.5(old)	30	2278137	12329538	22541273
	2	0.75(old)	87	4351076	14097276	77520337
	3	0.5	968	1034682	6126273	8602376
	4	0.75	799	1897092	6832018	7027160

Table 8. The dependence of the speed of the software implementation on the power of the field (the number of group operations)

Cryptosystems	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}
Niederreiter's ACCS on ES	1×10^7	$1,8 \times 10^7$	$3,2 \times 10^7$	$4,7 \times 10^7$	$6,3 \times 10^7$	$8,2 \times 10^7$
Niederreiter's MACCS on shortened MES	1×10^7	$1,7 \times 10^7$	$2,9 \times 10^7$	$4,4 \times 10^7$	$6,2 \times 10^7$	8×10^7

Analysis table 6, showed that when implementing the Niederreiter's ACCS over GF (210), $82,5 \times 10^6$ group operations are necessary, then the implementation of MACCS on shortened MES over GF (2^6) requires $17,7 - 18,6 \times 10^6$ group operations, which is 4.5 times less than when implemented in ES.

As can be seen from the dependencies shown in Fig. 6, the proposed modified crypto-code systems based on the Niederreiter TCS provide high rates of robustness and reliability of the processed and transmitted information. Their use will allow the use of open channels of IP networks for the transmission of confidential (commercial) information in real time, providing the required indicators of security and reliability.

Conclusion

Thus, a formal mathematical description of modified crypto-code information security tools based on Niederreiter's TCS using algebraic block codes based on shortening information symbols is proposed, which allows developing practical algorithms and conducting a study of the energy costs of their implementation.

Transferring the key sequence using the Niederreiter modified ACCS based on shortened codes allows using open communication channels of communication systems and significantly reducing the volumes of key sequences stored by users of this system.

The assessment of the complexity of the software implementation of crypto-code information security tools based on the Niederreiter TCS confirms the assumption that the computational cost of calculating a cryptogram / codogram is reduced, that key data (public key) need to be stored by an authorized user. The use of shortened elliptic codes allows you to increase the amount of data transmitted by hr characters, while ensuring the resistance of the cryptosystem when it is formed in the GF field (26-28), which significantly reduces the energy costs of its implementation, and allows its use in mobile applications.

Conducted research on the use of the fraction of the weight of the error vector allows, based on the main indicators of the communication channels of the communication system, to strengthen one of the indicators of the integrated mechanism - reliability or security.

REFERENCES

- Grischuk, R.V. & Danik, Y.G. (2016), *Basics of Cyber-security*, ZhNAEU, Zhitomir, 636 p.
- Korolev, A. (2016), *Cyberspace and Information Terrorism*, URL: <http://vpoanalytics.com/2016/02/15/kiberprostranstvo-i-informacionnyj-terrorizm> (accessed on September 1, 2018).
- Donald L. Evans (2001), *Security requirements for cryptographic modules*, URL: <https://csrc.nist.gov/publications/fips/fips140-2/fips1402.pdf> (accessed on September 1, 2018).
- Yevseiev, S. & Tsyhanenko, O. (2018), "Development of asymmetrical crypto-coded construction of Niderraiter on modified codes", *Sistemi obrobki informacii*, No. 2 (153), pp. 127-135.
- Lily, Chen, Stephen, Jordan, Yi-Kai, Liu, Dustin, Moody, Ray, Perlner and Daniel, Smith-Tone (2016), *Report on Post-Quantum Cryptography*, URL: http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2016/NIST_IR.8105.pdf (accessed on September 1, 2018).
- Hang, Dinh, Cristopher, Moore and Alexander Russell (2011), *McEliece and Niederreiter Cryptosystems that Resist Quantum Fourier Sampling Attacks*, URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2033093> (accessed on September 1, 2018).
- Joo, Yeon Cho, Helmut, Griesser and Danish Rafique, (2017), "A McEliece-Based Key Exchange Protocol for Optical Communication Systems", *Proceedings of the 2nd Workshop on Communication Security*, pp 109-123. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-59265-7_8 (accessed on September 1, 2018).
- Evseev, S., Korol, O., Rzaev, H., & Imanova, Z. (2016), "Development of a modified asymmetric McEliece crypto-code system with truncated elliptic codes", *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, Vol. 4, 9 (82), pp. 18-26.
- Yevseiev, S., & Korol, O. (2018). "Teoretiko-methodological ambushes of the hybrids of crypto-coded constructions on excess codes", *Information economy: stages of development, management methods, models*, KhNEU. Kharkiv, pp. 233-280.
- Sidelnikov, V.M., (2002), "Cryptography and coding theory", *Proceedings of the conference "Moscow University and the Development of Cryptography in Russia"*, Moscow State University, pp. 1-22.
- Dudikevich, V.B., Kuznetsov, O.O. and Tomashevsky, B.P. (2010), "Crypto-code protection of information with non-binary equilibrium encoding", *The hour zahist of information*, No. 2, pp. 14-23.
- Dudikevich, V.B., Kuznetsov, O.O. and Tomashevsky B.P. (2010), "Non-dual equilibrium coding method", *Modern information protection*, No. 3, pp. 57-68.
- Kirill Morozov, Partha Sarathi Roy, Kouichi Sakurai (2017), "On unconditionally binding code-based commitment schemes", *Proceedings of the 11th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*, ACM New York, NY, USA, DOI: <https://doi.org/10.1145/3022227.3022327>.

14. Biswas, Bhaskar & Sendrier, Nicolas (2008), "McEliece Cryptosystem Implementation. Theory and Practice", *International Conference on Post-Quantum Cryptography*, pp. 47-62.
15. Evseev, S.P., Rzaev, Kh.N. and Tsyganenko, A.S. (2016). "Analysis of the software implementation of direct and inverse transformation using the method of non-binary equilibrium coding", *Bezpeka Informatsii*, 2016, Vol. 22 # 2, Nash Format, Kyiv, pp. 196-203.
16. Niederreiter, H. (1986), "Knapsack-Type Cryptosystems and Algebraic Coding Theory", *Probl. Control and Inform. Theory*, Vol. 15, pp. 19-34.
17. Rukhin, A., Soto, J., (2000), "A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications", *NIST Special Publication*, 800-22.

Надійшла (received) 11.09.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 17.10.2018

Математична модель модифікованої крипто-кодової конструкції Нідеррайтера

О. С. Циганенко, Х. Н. Рзаєв, Т. А. Мамедова

Предметом вивчення в статті є модифікація крипто-кодової конструкції Нідеррайтера на недвійковий кодах. **Метою** є розробка математичної моделі модифікованої крипто-кодової конструкції Нідеррайтера з використанням алгеброгеометричних блокових кодів з укороченням інформаційної послідовки. **Завдання:** формалізувати процедури формування кодограм і їх подальшого розкодування; розробити математичну модель крипто-кодової конструкції Нідеррайтера, модифікованої за допомогою укорочення інформаційної послідовки і фіксації допустимих позиційних векторів перетворення відкритого тексту на основі рівноважного кодування. Отримані наступні **результати**. Дослідження крипто-кодової конструкції Нідеррайтера на МЕС дозволили виявити основну причину неможливості практичної реалізації алгоритмів розкодування при використанні недвійковий кодів в класичній схемі. Встановлено, що потрібно фіксування підмножини відкритих текстів, для яких процедура локалізації помилки, при обраних відправником матрицях маскування X , P і D (особистий ключ) не може бути виконана. З його допомогою потрібно "відсіяти" набори вектора помилки, які не дозволяють використовувати класичний варіант розкодування інформації на приймальному боці при використанні класичної схеми Нідеррайтера на m -них кодах. При побудові математичної моделі врахована виявлена особливість. В результаті отримана математична модель крипто-кодової конструкції Нідеррайтера, модифікована за допомогою укорочення інформаційної послідовки і фіксації допустимих позиційних векторів перетворення відкритого тексту на основі рівноважного кодування. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: запропонована модифікована математична модель крипто-кодової конструкції Нідеррайтера забезпечує її практичну реалізацію. Зменшення потужності поля при побудові класичної схеми Нідеррайтера дозволяє знизити обсяг переданих даних шляхом укорочення вектора помилки перед формуванням синдрому під час пересилання і відповідно енергетичні витрати на її реалізацію; отримали подальший розвиток використання квантово-стійкою і перспективною в використанні крипто-кодової конструкції Нідеррайтера, виявлена особливість і запропонована модифікація забезпечує її конкурентоспроможність.

Ключові слова: модифікована крипто-кодова конструкція Нідеррайтера; модифіковані укорочені еліптичні коди; рівноважне кодування; інформаційна скритність.

Математическая модель модифицированной крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера

А. С. Цыганенко, Х. Н. Рзаев, Т. А. Мамедова

Предметом изучения в статье является модификация крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера на двоичных кодах. **Целью** является разработка математической модели модифицированной крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера с использованием алгеброгеометрических блоковых кодов с укорочением информационной послышки. **Задачи:** формализовать процедуры формирования кодограмм и их дальнейшего раскодирования; разработать математическую модель крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера, модифицированную с помощью укорочения информационной послышки и фиксации допустимых позиционных векторов преобразования открытого текста на основе равновесного кодирования. Получены следующие **результаты**. Исследования крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера на МЕС позволили выявить основную причину невозможности практической реализации алгоритмов раскодирования при использовании двоичных кодов в классической схеме. Установлено, что требуется фиксирование подмножества открытых текстов, для которых процедура локализации ошибки, при выбранных отправителем матрицах маскировки X , P и D (личный ключ) не может быть выполнена. С его помощью нужно "отсеять" наборы вектора ошибки, которые не позволяют использовать классический вариант раскодирования информации на приемной стороне при использовании классической схемы Нидеррайтера на m -ных кодах. При построении математической модели учтена выявленная особенность. В результате получена математическая модель крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера, модифицированная с помощью укорочения информационной послышки и фиксации допустимых позиционных векторов преобразования открытого текста на основе равновесного кодирования. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: предложенная модифицированная математическая модель крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера обеспечивает ее практическую реализацию. Уменьшение мощности поля при построении классической схемы Нидеррайтера позволяет снизить объем переданных данных путем укорочения вектора ошибки перед формированием синдрома на стороне отправителя и соответственно энергетические затраты на ее реализацию; получили дальнейшее развитие использование квантово-устойчивой и перспективной в использовании крипто-кодовой конструкции Нидеррайтера, выявленная особенность и предложенная модификация обеспечивает ее конкурентоспособность.

Ключевые слова: модифицированная крипто-кодовая конструкция Нидеррайтера; модифицированные укороченные эллиптические коды; равновесное кодирование; информационная скрытность.

И. В. Шостак, Я. Рахими

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК СУХОФРУКТОВ В УКРАИНУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЛОЖЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Цель статьи состоит в исследовании возможности представления полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину в форме сетевой модели, которая давала бы возможность анализа эффективности бизнес-процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям. **Результаты.** Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой адекватных сетевых моделей создания, развертывания и поддержки функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину. Показано, что при создании и функционировании ЦПС, по сравнению с другими системами класса SCM, возникает ряд специфических проблем, обусловленных сложностью взаимодействия поставщиков сырья (свежих фруктов), предприятий-изготовителей конечной продукции (сушка, упаковка), складских терминалов, дистрибьюторов, 3PL и 4PL-провайдеров (розничных торговцев). Рассмотрена модель полной ЦПС в форме сети Петри (СП) и предложена интерпретация бизнес-процессов в цепи элементами СП. Показаны недостатки классических, безопасных СП как инструмента моделирования ЦПС. **Выводы.** Сделан вывод о необходимости расширения, временем сетевой модели ЦПС для соблюдения принципа 'just-in-time' при моделировании бизнес-процессов, а также отражения иерархичности, изначально присущей структуре ЦПС. Предложено использовать для синтеза сетевой модели ЦПС вложенные сети Петри (ВСП). При этом сетевая модель функционирования ЦПС в форме ВСП включает объекты двух типов – центральное звено, отражающее деятельность фокусной компании по переработке исходного сырья (сухофруктов), и ряд подсетей, моделирующих деятельность поставщиков сырья и реализаторов готовой продукции.

Ключевые слова: поставки сухофруктов, полная логистическая цепь поставок, фокусная компания, моделирование бизнес-процессов, вложенная сеть Петри, минимизация логистических издержек.

Введение

Для анализа функционирования логистических систем, в частности, полных цепей поставок, существует обширный инструментарий, который дает возможность адекватного представления в динамике любого из конкретных вариантов реализации цепи [1]. Вместе с тем, в настоящее время существует необходимость совершенствования логистических методов управления, в том числе моделирования и анализа цепей поставок в системах SCM продуктов питания, поскольку в современных условиях экономика Украины ориентирована, преимущественно, на увеличение объема импорта и развитие розничной торговли. Типичным объектом рассматриваемого типа является цепь поставок сухофруктов в Украину (ЦПС), которая представляет собой сложную социо-технико-экономическую систему, состоящую из множества поставщиков сырья (свежих фруктов), предприятий-изготовителей конечной продукции (сушка, упаковка), складских терминалов, дистрибьюторов, 3PL и 4PL-провайдеров (розничных торговцев), которые обладают определенными ресурсами. Взаимодействие участников бизнес-процессов в ЦПС отражается множеством материальных, финансовых и информационных потоков, а также потоков услуг от источников исходного сырья до конечного потребителя. Многообразие регионов мира, из которых осуществляются поставки в Украину сухофруктов, широкая номенклатура поставляемой продукции, урожайность, колебание курсов валют, сезонность являются причинами возникновения высокого уровня неопределенности в процессах формирования и принятия решений участниками ЦПС.

Концепция SCM [2] предполагает комплексное представление бизнес-процессов, а именно производства сырья (свежих фруктов), производства и упаковки готовой продукции, доставки и дистрибуции.

Таким образом, эффективное функционирование ЦПС предполагает интеграцию ключевых бизнес-процессов: управления взаимоотношениями с потребителями; обслуживания потребителей; анализа спроса; управления выполнением заказов; обеспечения производственных процессов; управления снабжением. При этом основным механизмом повышения эффективности функционирования ЦПС являются минимизация совокупных логистических издержек, достижение максимальной прибыли или минимальных затрат отдельных звеньев при соблюдении принципа 'just-in-time' [3].

Цель статьи состоит в исследовании возможности представления полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину в форме сетевой модели, которая давала бы возможность анализа эффективности бизнес-процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям.

Основная часть

В отличие от классической сетевой модели управления, сетевая модель ЦПС имеет ряд особенностей:

- основными элементами цепи поставок являются звенья и материальные потоки;
- цели подсетей в составе ЦПС различаются;
- в сетевой модели ЦПС всегда присутствует центральное звено и подсети;

- для сетевой модели ЦПС отсутствует понятие «критический путь»;
- поставки одной подсети рамках одной ЦПС относительно независимы от поставок другой подсети.

Сетевая модель ЦПС является по своей сути дескриптивной, исходя из этого, представляется целесообразным применение для анализа функционирования ЦПС ее описание в форме сети Петри. В общем случае сеть Петри (СП) [4] представляет собой двудольный ориентированный мультиграф

$$S = (P, T, M_0, A^i, A^o),$$

где P – множество вершин типа «Позиция»; T – множество вершин типа «Переход»; M_0 – вектор начального маркирования; A^i, A^o – матрицы инцидентности, задающие, соответственно, входы и выходы дуг из вершин СП.

Наиболее часто при разработке моделей реальных объектов в форме СП, вершины типа «Позиция» интерпретируются как условия начала либо окончания какого-либо бизнес-процесса, о наличии таких условий свидетельствует маркер в позиции; позиции же типа «Переход» интерпретируются как те или иные бизнес-процессы. Динамика функционирования цепи поставок отражается перемещением маркеров по СП. На рис. 1 представлены результаты моделирования процесса формирования подсети ЦПС «Поставки свежих фруктов на переработку» в виде одной и той же СП, отражающей готовность к поставкам свежих фруктов на переработку, в первом случае (1а), первым и четвертым поставщиками, о чем свидетельствует наличие маркеров в позициях P_1 и P_4 , в во втором случае (1б) – третьим и четвертым поставщиками. При этом переходы $T_1 - T_4$ интерпретируются как процессы перевозки сырья (свежих фруктов) на склад одного из двух перерабатывающих предприятий, а переходы T_5 и T_6 отражают процессы складирования. Таким образом, с помощью начальной маркировки СП имеется возможность моделировать процессы формирования маршрутов доставки и других бизнес-процессов ЦПС.

Главным недостатком аппарата СП как модели формирования цепей поставок является изначально низкая мощность представления классических, «безопасных» СП (Safety Petri Nets) при максимальной мощности разрешения. Под мощностью представления здесь понимается наличие средств отражения базовых (пространство, время и причинность) и производных от них категорий окружающего мира. Мощность разрешения свидетельствует о возможностях анализа СП как графовых структур на наличие в них активности, достижимости, покрываемости, а также тупиков и закливаний (dead locks) [4].

При моделировании сетью Петри процесса функционирования ЦПС, с соблюдением принципа «just-in-time», принципиальным моментом является отражение временных зависимостей между отдельными бизнес-процессами. Однако на практике, повышение мощности представления СП путем так называемого расширения (временные, раскрашен-

ные, стохастические СП) неизбежно ведет к снижению их мощности разрешения, а следовательно, и к ограничению возможностей по оценке качества бизнес-процессов в ЦПС на предмет их полноты и непротиворечивости.

Процесс создания, развертывания и поддержки функционирования ЦПС может быть адекватно представлен в виде иерархической двухуровневой вложенной сети Петри (ВСП) [5]:

$$IPN = \langle SN^{(1)}, EN_1^{(2)}, \dots, EN_m^{(2)} \rangle,$$

где $SN^{(1)}$ – системная сеть, моделирующая процесс; $\{EN_i^{(2)}\}$ – множество элементарных сетей Петри, каждая из которых моделирует процессы сбора свежих фруктов, производства и упаковки готовой продукции (рис. 1).

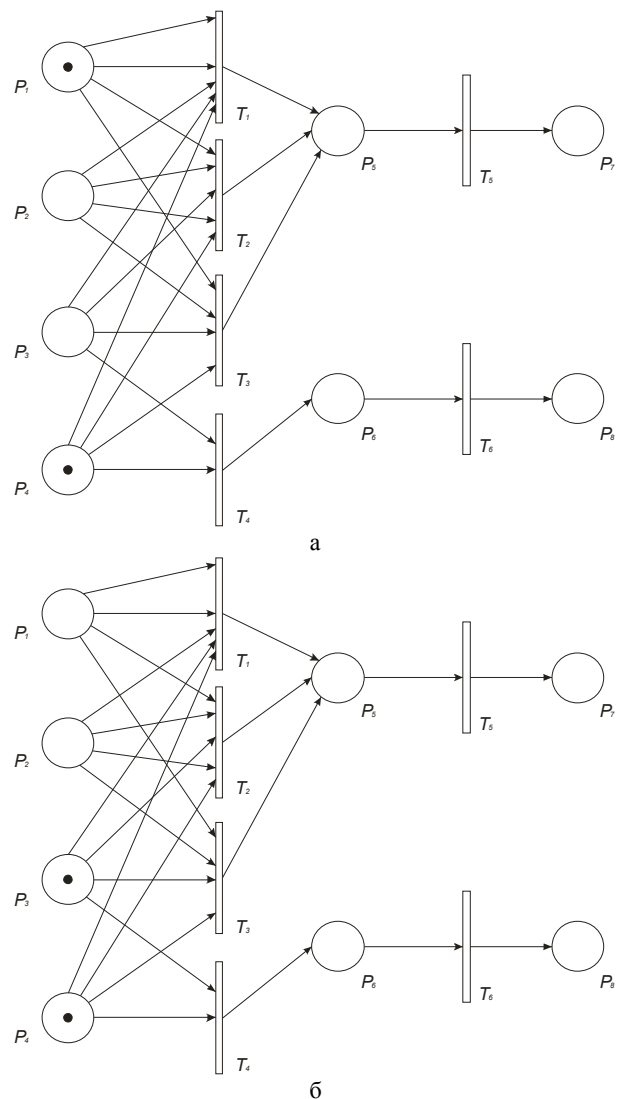


Рис. 1. СП, моделирующая подсеть ЦПС «Поставки свежих фруктов на переработку»

Сетевая модель ЦПС (рис. 2, табл. 1, 2) в данном случае представляет собой кортеж:

$$IPN = \langle N, C, W, G, \Omega, M_0 \rangle,$$

где $N = (P, T, F)$ – конечная сеть с множеством позиций P , множеством переходов T_i , отношением инцидентности F ; $C : P \rightarrow \Omega$ – функция раскраски позиций, ставящая в соответствие каждой позиции $p \in P$ ее цвет; W – функция, которая приписывает дугам сети N выражений типа

$$((p, t), (t', p')) \in F : (Type(W(p, t)) = M(C(p))) \vee (Type(W(t', p')) = M(C(p'))),$$

где $G : T \rightarrow L$ – функция, которая каждому переходу $t \in T$ ставит в соответствие некоторые логические выражения, отражающие соответствующее событие; C – функция, которая каждой позиции $p \in P$ ставит в соответствие следующее выражение:

$$\forall p \in P : (Type(M_0(p)) = M(C(p))).$$

Функция M определяет начальную разметку ВСП. Начальная разметка ВСП, включая определение цвета маркеров, отображает конкретную производственную ситуацию, обусловленную фактом наличия на складе предприятия готовой продукции.

Поскольку двухуровневые ВСП по своей природе имеют иерархическую структуру, с такими моделями производственных ситуаций в процессе моделирования ЦПС могут быть однозначно сопоставлены онтологические структуры, на основе которых целесообразно построить базу прецедентов при решении задач, возникающих при развертывании полной ЦПС.

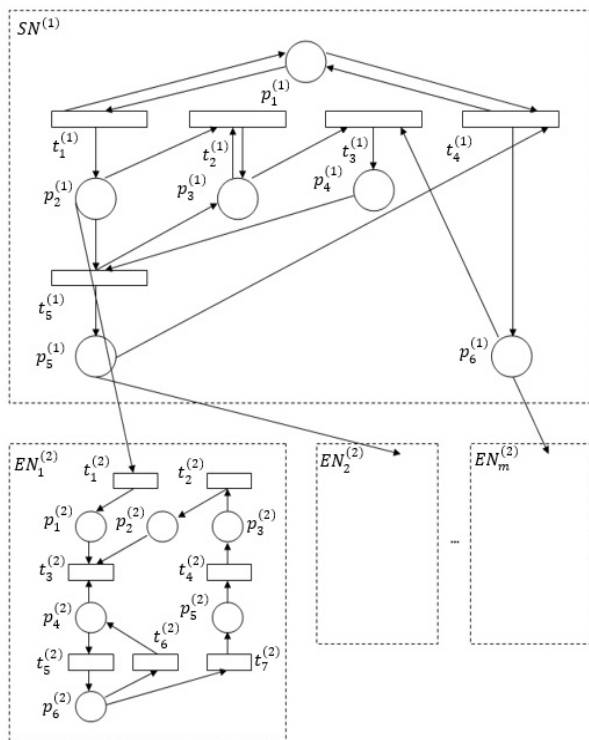


Рис. 2. Структура сетевой модели ЦПС в форме ВСП

Таблица 1. Интерпретация событий при функционировании ЦПС переходами ВСП

Условия	Содержание условий
$p_1^{(1)}$	Наличие у поставщиков производственной базы установлено
$P_2^{(1)}$	Наличие на складе поставщика достаточного количества данного вида продукции установлено
$P_3^{(1)}$	Отсутствие варианта замены поставщика установлено
$P_4^{(1)}$	Необходимый объем продукции на складе поставщика установлен
$P_5^{(1)}$	Уведомление о необходимости заказа определенного вида продукции отправлено
$P_6^{(1)}$	Заказ для m-го вида продукции оформлен
$p_1^{(2)}$ - $p_6^{(2)}$	Условия заключения договоров на поставки конкретных видов продукции

Таблица 2. Интерпретация условий в сетевой модели, которые привели к наступлению событий при функционировании

События	Суть событий
$t_1^{(1)}$	Прибытие партии продукции от внешнего поставщика на склад фокусной компании
$t_2^{(1)}$	Анализ причин срыва поставок продукции в прошлом
$t_3^{(1)}$	Определение необходимого объема продукции на складе фокусной компании
$t_4^{(1)}$	Заказ партии продукции у внешних поставщиков
$t_5^{(1)}$	Уведомление менеджменту фокусной компании об отсутствии на складе необходимого количества конкретного вида продукции
$t_1^{(2)}$ - $t_6^{(2)}$	Перечень действий, предусмотренных таможенным законодательством при организации поставок импортной продукции

Выводы

Анализ особенностей построения и функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину дал возможность обосновать выбор в качестве средства моделирования математический аппарат вложенных сетей Петри. Показана необходимость расширения аппарата безопасных СП, путем введения средств моделирования временных зависимостей между бизнес-процессами в рамках ЦПС, для оптимизации цепи с соблюдением принципа ‘just-in-time’, а также применения аппарата вложенных сетей Петри для отражения иерархичности структуры ЦПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сток, Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Джеймс Р. Сток, Дуглас М. Ламберт. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 831 с.
2. Бауэрсокс, Д.Дж., Клосс, Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: ЗАО Олимп-Бизнес, 2008. – 640 с.

3. Рахими Яшар. Знаниеориентированный подход к организации поддержки принятия решений по формированию полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину / Рахими Яшар // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 197-201.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон, – Москва : Мир, 1984. – 264 с.
5. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой / И.А. Ломазова. – М.: Научный мир, 2004. – 208 с.
6. Рахими Я. Разработка экспертной системы для выбора рационального маршрута транспортировки сухофруктов в Украину / Я. Рахими, Е. И. Феоктистова // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 85-88. – DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.14>

REFERENCES

1. Stoke, J. R. and Douglas M. Lambert (2005), Strategic Logistics Management, INFRA-M, Moscow, 831 p
2. Bowersox, D.J. and Kloss, D.J. (2008), Logistics: integrated supply chain, Olymp-Business, Moscow, 640 p.
3. Rahimi Yashar (2017), "Knowledge-oriented approach to the organization of decision-making support for the formation of a complete logistic chain of dried fruit supply chains to Ukraine", *Control Systems, Navigation and Communication*, No. 6 (46), pp. 197-201.
4. Peterson, J. (1984), Theory of Petri nets and system modeling, Mir, Moscow, 264 p.
5. Lomazova I.A. (2004), Embedded Petri nets: modeling and analysis of distributed systems with an object structure, Nauchnyi mir, Moscow, 208 p.
6. Rakhimi Ya. and Feoktistova E.I. (2018), Developing an expert system for choosing a rational route for transporting dried fruit to Ukraine, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, P. 85-88. – DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.14>

Received (Надійшла) 12.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

Моделирование полного логистического ланцюга поставок сухофруктів в Україні з використанням вкладених мереж Петрі

I. B. Shostak, Ya. Rahimi

Мета статті полягає в дослідженні можливості подання повної логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україну в формі мережевої моделі, яка давала б можливість аналізу ефективності бізнес процесів в ланцюзі за рахунок зниження фінансових і тимчасових витрат, зокрема, забезпечення своєчасної доставки сухофруктів для реалізації українським споживачам. **Результати.** Розглянуто питання, пов'язані з розробкою адекватних мережевих моделей процесів створення, розгортання та підтримки функціонування повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів (ЦПС) в Україні. Показано, що при створенні і функціонуванні ЦПС, в порівнянні з іншими системами класу SCM, виникає ряд специфічних проблем, зумовлених складністю взаємодії постачальників сировини (свіжих фруктів), підприємств-виробників кінцевої продукції (сушіння, упакування), складських терміналів, дистриб'юторів, 3PL і 4PL-провайдерів (роздрібних торговців). Розглянуто модель повної ЦПС в формі мережі Петрі (СП) і запропонована інтерпретація бізнес-процесів в ланцюзі елементами СП. Показано недоліки класичних, безпечних СП як інструменту моделювання ЦПС. **Висновки.** Зроблено висновок про необхідність розширення, часом мережевий моделі ЦПС для дотримання принципу 'just-in-time' при моделюванні бізнес процесів, а також відображення ієрархічності, спочатку присущою структурі ЦПС. Запропоновано використовувати для синтезу мережевий моделі ЦПС вкладені мережі Петрі (ВСП). При цьому мережева модель функціонування ЦПС в формі ВСП включає об'єкти двох типів - центральна ланка, що відображає діяльність фокусної компанії з переробки вихідної сировини (сухофруктів), і ряд підмереж, що моделюють діяльність постачальників сировини і реалізаторів готової продукції.

Ключові слова: поставки сухофруктів; повна логістичний ланцюг поставок; фокусна компанія; моделювання бізнес процесів; вкладена мережа Петрі; мінімізація логістичних витрат.

Modeling of the complete logistic chain of supplies of dried fruits to Ukraine with the use of nested Petri nets

I. Shostak, Ya. Rahimi

The purpose of the article is to study the possibility of presenting the full logistic supply chain of dry branches to Ukraine in the form of a network model that would enable analysis of the effectiveness of business processes in the chain by reducing financial and time costs, in particular, ensuring timely delivery of dry fruits for implementation Ukrainian consumers. **Results.** The issues related to the development of adequate network models of the processes of creating, deploying and supporting the functioning of the full logistics supply chain of dried fruits (SCDF) in Ukraine are considered. It is shown that the creation and operation of the SCDF, compared with other SCM class systems, raises a number of specific problems caused by the complexity of the interaction of raw material suppliers (fresh fruit), manufacturers of final products (drying, packaging), storage terminals, distributors, 3PL and 4PL providers (retailers). A model of a complete SCDF in the form of a Petri net (PN) is considered and the interpretation of business processes in a chain by elements of a PN is proposed. The drawbacks of the classic, safe PN as a tool for modeling SCDF has shown. The conclusion was made about the need for expansion, the time of the network model of the SCDF in order to comply with the 'just-in-time' principle in modeling business processes, as well as reflecting the hierarchy that is inherent in the structure of the SCDF. **Conclusions.** It had proposed to use nested Petri nets (NPN) for the synthesis of the network model of the SCDF. At the same time, the network model of SCDF functioning in the form of a NPN includes two types of objects - the central link reflecting the activities of the focusing company on processing raw materials (dried fruits), and a number of subnets that simulate the activities of raw material suppliers and distributors of finished products.

Keywords: dried fruit supply; full logistics supply chain; focus company; business process modeling; embedded Petri net; minimization of logistic costs.

Adaptive control methods

UDC 004.055

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.08

H. Ukhina, V. Sytnikov, K. Puts

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

STABILITY EVALUATION BASED ON THE SUSTAINABILITY TRIANGLE APPLICATION FOR TRANSFER FUNCTIONS ABOVE 2ND ORDER

This research subject represents the transfer function of a system above the second order. **Research goal:** to simplify the system stability assessment process for transfer functions higher than second order based on the stability triangle and inequations of the transfer functions coefficients' acceptable values. **Task:** to simplify the system stability assessment; to investigate the characteristic equation and determine limiting inequations. **Methods used:** Jury stability criterion, the analytical method for stability determining the when graphical representation used on the stability triangle basis, the characteristic equation analytical solution, and mathematic modeling. The following **results have been obtained:** the maximum permissible coefficient values are found, as well as limiting inequations for the transfer function coefficients. Found are the correlation coefficients between the easily determined maximum theoretical values of these coefficients and their practical values, the correction coefficients' functional dependences being obtained. **Conclusions:** based on the research done to estimate the coefficients' boundaries for frequency-dependent components above the second order, necessary is to determine the characteristic equation coefficients maximum values multiplying them by the correction coefficients obtained at this research issue. The obtained values represent the components' stability boundary at denominator coefficients' change. This greatly facilitates the stability evaluation when rebuilding the component transfer function's coefficients.

Keywords: Jury criterion; characteristic equation; stability boundaries; limiting inequations; frequency-dependent component above second order.

Introduction

The specialized computer, programmable mobile and robotic systems are functioning under difficult and unpredictable conditions that imply the need to restructure the system components transfer functions' coefficients [1-5]. Therefore, we face a problem when, prior to start the adjustment, it is necessary to evaluate the system stability while ensuring its new condition, by changing the system components transfer functions' coefficients [6-9]. For first and second orders transfer functions, this problem is solved easily, but when transfer functions above the second order, it is not a simple one [8-10].

The research aim is to simplify the process of system stability assessment for transfer functions higher than second order on the basis of stability triangle and inequations of transfer function coefficients' allowable values.

Research results

In most stability problems, considered is the system characteristic equation:

$$D(z) = \sum_{i=0}^n b_i z^{n-i},$$

where b_i – denominator coefficients at the system transfer function (in most cases, $b_0 = 1$, n – system order).

To assess the n -th order system stability is possible using the Jury criterion, according to which satisfied shall be the characteristic equation' inequations of the form [10]:

$$D(1) > 0; (-1)^n D(-1) > 0. \quad (1)$$

This criterion works well with the system transfer function constant coefficients, and the restructuring of one or several coefficients involves problems arising. So we have to find these coefficients limits to ensure stability. For a second-order system, whose transfer function has the form [10, 11]:

$$H_2(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}.$$

The characteristic equation is equal to

$$D(z) = z^2 + b_1 z + b_2.$$

In this case, from (1) we can write:

$$1 + b_1 + b_2 > 0;$$

$$1 - b_1 + b_2 > 0.$$

Then in coordinates (b_1, b_2) we can find the stability triangle forming lines

$$\begin{cases} b_2 > -1 - b_1; \\ b_2 > -1 + b_1. \end{cases}$$

However, this triangle has no upper boundary $b_{2\max}$.

So next, we consider the variance with characteristic equation complex - conjugate roots

$$z_{1,2} = \alpha e^{\pm j\phi}, \quad (2)$$

where α - modulus ($|\alpha| \leq 1$), ϕ - argument.

It should be noted that the frequency-dependent components at computer systems above the first order contain complex-conjugate roots, for example, filters.

Then, based on the Viet theorem, we can write down [12]:

$$\begin{cases} z_1 + z_2 = -b_1; \\ z_1 \cdot z_2 = b_2. \end{cases} \quad (3)$$

Substituting (2) into (3) we shall get

$$\begin{cases} z_1 + z_2 = \alpha(e^{j\phi} + e^{-j\phi}); \\ z_1 \cdot z_2 = \alpha e^{j\phi} \cdot (\alpha e^{-j\phi}). \end{cases}$$

Based on the Euler formula and the rules of complex numbers operation, we obtain

$$\begin{cases} z_1 + z_2 = 2\alpha \cos \phi = -b_1; \\ z_1 \cdot z_2 = \alpha^2 = b_2. \end{cases}$$

then $b_{2\max} \leq 1$, with respect to $|\alpha| \leq 1$.

Based on the obtained relations, we can therefore build a stability triangle, Fig 1.

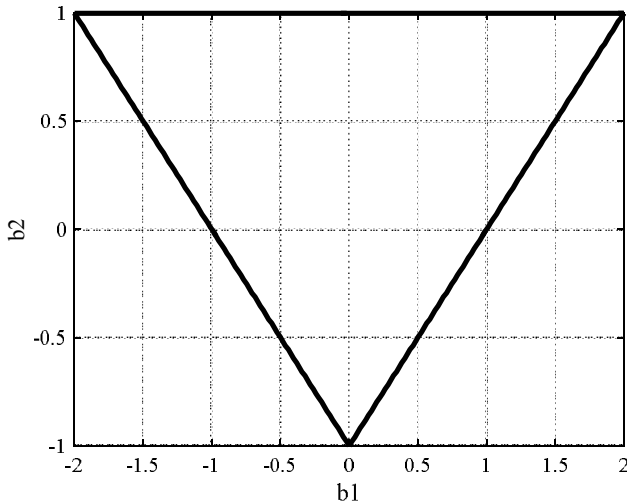


Fig. 1. Stability triangle for second order transfer function

The stability triangle limits the denominator coefficients' values at transfer function of the second order [11, 13]. This means that the transfer function characteristic equation roots

$$D(z) = z^2 + b_1z + b_2 = 0,$$

will be located inside the unit circle on the Z-plane.

To assess the stability of tunable transfer functions above the second order, necessary is to solve the corresponding algebraic equations. However, we thus suggest the following procedure. Let we consider the 5th order characteristic equation, which has the following form:

$$D(z) = z^5 + b_1z^4 + b_2z^3 + b_3z^2 + b_4z + b_5.$$

Then by the Juri criterion we can write

$$\begin{cases} 1 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5 > 0; \\ 1 - b_1 + b_2 - b_3 + b_4 - b_5 > 0. \end{cases}$$

Combining the odd and even coefficients respectively

$$\begin{cases} d_1 = b_1 + b_3 + b_5; \\ d_2 = b_2 + b_4. \end{cases}$$

We get that lines forming the stability triangle will have the form

$$\begin{cases} 1 + d_1 + d_2 > 0; \\ 1 - d_1 + d_2 > 0 \end{cases} \quad \text{or} \quad \begin{cases} d_2 > -1 - d_1; \\ d_2 > -1 + d_1. \end{cases}$$

In coordinates (d_1, d_2) we again do not observe the stability upper limit, which by analogy can be found from the Viet theorem and Euler formulas, taking into account the roots $z_0 = \alpha$, $z_{1,2} = \beta e^{\pm j\phi}$, $z_{3,4} = \gamma e^{\pm j\psi}$:

$$\begin{cases} \alpha + 2[\beta \cos \phi + \gamma \cos \psi] = -b_1; \\ \beta^2 + \gamma^2 + 2\alpha(\beta \cos \phi + \gamma \cos \psi) + 4\beta\gamma \cos \phi \cos \psi = b_2; \\ \alpha\beta^2 + \alpha\gamma^2 + 4\alpha\beta\gamma \cos \phi \cos \psi + 2\beta\gamma[\beta \cos \psi + \gamma \cos \phi] = -b_3; \\ 2\alpha\beta^2\gamma \cos \psi + 2\alpha\beta\gamma^2 \cos \phi + \beta^2\gamma^2 = b_4; \\ \alpha\beta^2\gamma^2 = -b_5. \end{cases}$$

Based on these equations, we can find limiting inequations for both the coefficients and the sum of even and odd coefficients:

$$\begin{cases} -3 < -b_1 < 5; \\ -6 < b_2 < 10; \\ -2 < -b_3 < 10; \\ -3 < b_4 < 5; \\ 0 < b_5 < 1 \end{cases}$$

and

$$\begin{cases} -9 < d_1 < 16; \\ -6 < d_2 < 15. \end{cases}$$

The results obtained allow us to construct a stability triangle in the coordinates (d_1, d_2) , Fig.2 .

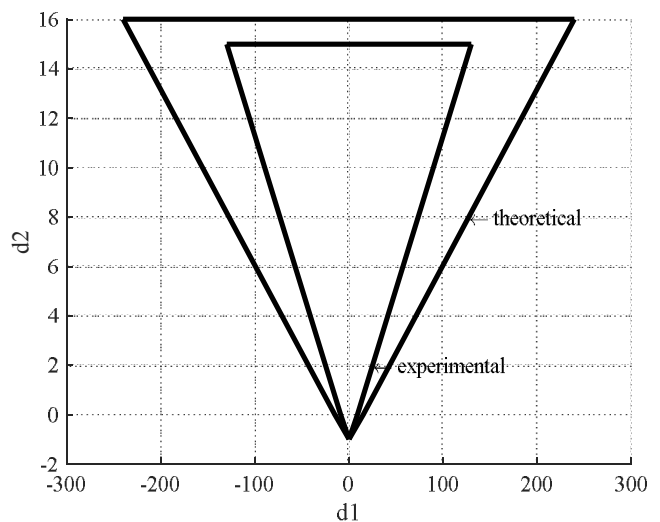


Fig. 2. Stability triangle for the fifth order transfer function

The resulting ratio allow generalisation. Based on the analysis of the characteristic equation coefficients' maximum values in the worst case, we can specify that these values are determined by the combination formulae [12]:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad (4)$$

where the characteristic equation order (or the frequency-dependent component transfer function order),

n, m – coefficient number,

C_n^m – coefficient value, for example, for the fifth order equation coefficient

$$b_3 = C_5^3.$$

Thus, it is possible to calculate the coefficients' maximum values for all characteristic equation coefficients at any order of the transfer function.

Studies and analysis of the stability triangle upper boundary of the, determined by the sum of even coefficients, showed that it can be calculated on the basis of relation

$$d_{2\max} = 2^{n-1} - 1,$$

where n – the characteristic equation order (or the frequency-dependent component transfer function order).

Having analyzed the computer system frequency-dependent components transfer functions of orders above second we revealed that the obtained estimates are higher than the coefficients' possible values in the entire frequency range, as demonstrated with Fig. 2, representing the stability triangles of theoretical calculations using formula (4) and their experimental verification.

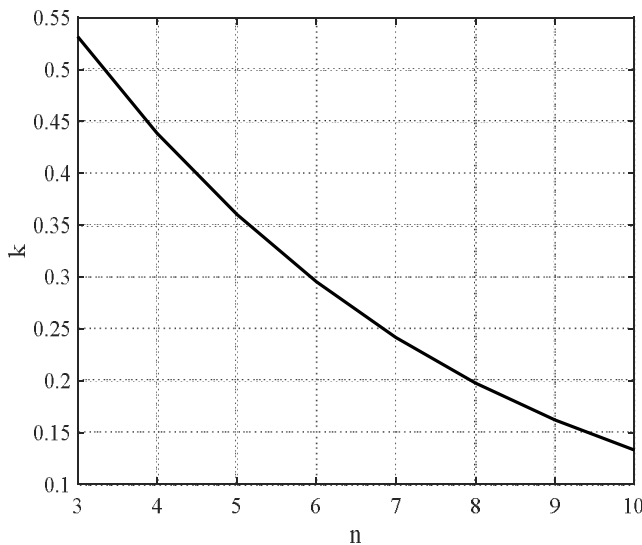


Fig. 3. Graph of the correlation between the coefficients' largest values and the maximum values obtained for the digital Butterworth filters

In this case the theoretical assessment can be considered as the upper limit of the characteristic equation coefficients, which is overrated, but can be easily calculated.

The study of correlation between the largest values of coefficients obtained experimentally and the maximum theoretical values of various computer system frequency-dependent components above the second order, using the digital filters example, showed that there exists some dependency on the order, Fig. 3-7.

These dependencies can be considered as correction factors depending on the order n .

The dependences obtained appearing on the graphs Fig. 3-7 are well approximated by power equations:

– for Butterworth filters:

$$K_{but}(n) = Ae^{Bn},$$

where $A = 0,6516; B = -0,2;$

– for Chebyshev filters, Chebyshev inverse and elliptic filters:

$$K(n) = Cn^2 + Dn + E,$$

where the coefficients C, D and E values are summarized in Table 1.

Based on Table 1 data, some coefficients values can be neglected and the resulting equations are approximated by dependencies:

– for Chebyshev, Chebyshev inverse and odd-order elliptic filters:

$$K(RP) = F \cdot RP^2 + G \cdot RP + H.; \quad (5)$$

- for even order elliptic filters:

$$K_1(RP) = J \cdot \ln(RP) + L. \quad (6)$$

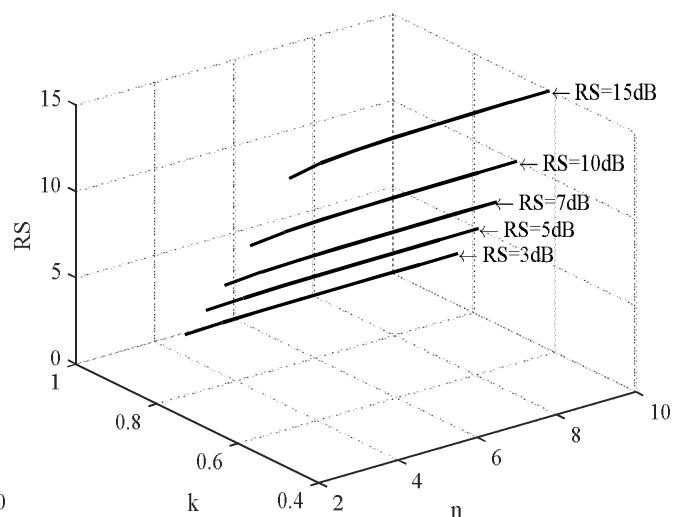


Fig. 4. Graph of the correlation between the highest coefficient values and the maximum values obtained for inverse digital Chebyshev filters at various oscillation levels in the attenuation band RS

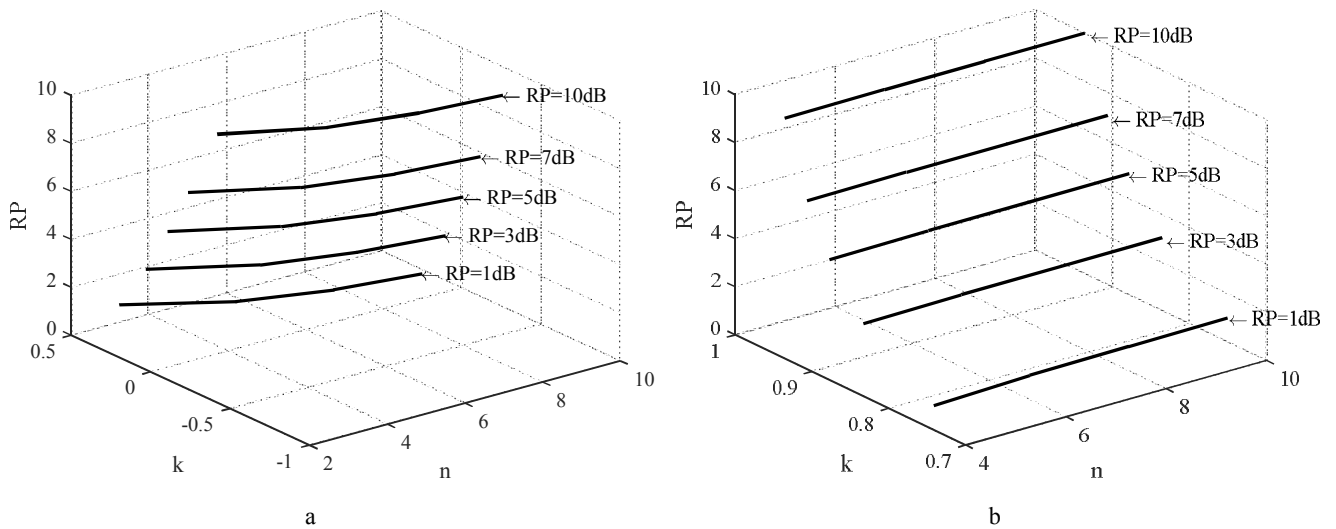


Fig. 5. Graph of the correlation between the highest coefficient values and the maximum values obtained for digital Chebyshev filters a) odd order sequence, b) even order sequence at different oscillation levels in the RP passband

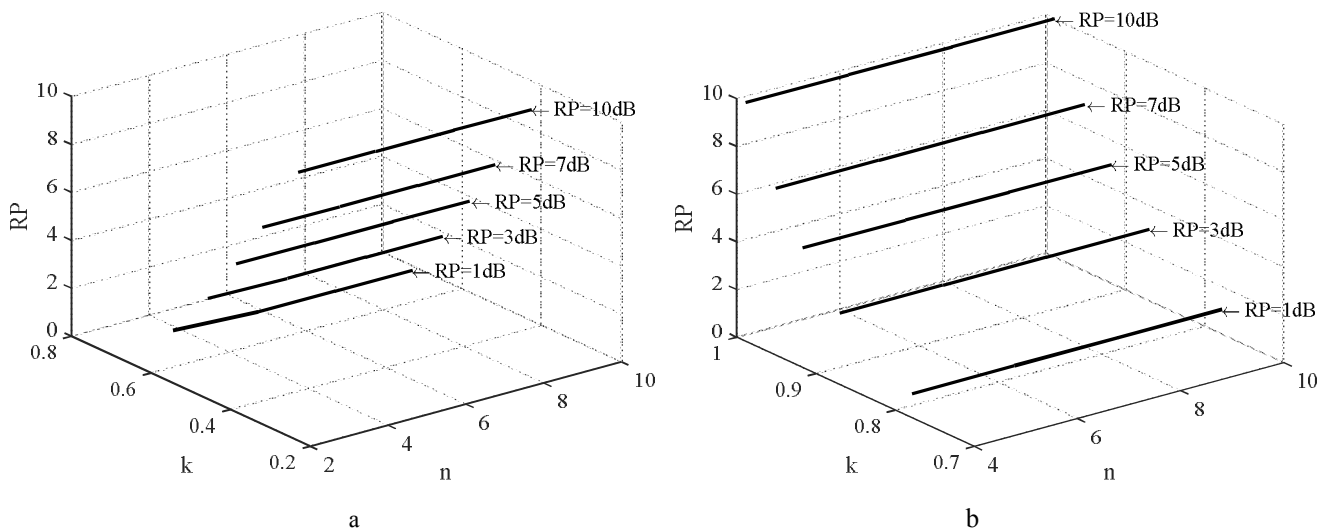


Fig. 6. Graph of the correlation between the highest coefficient values and the maximum values obtained for the elliptic digital filters a) odd order sequence, b) even order sequence at different oscillation levels in the RP passband and attenuation band $RS = 11$ dB

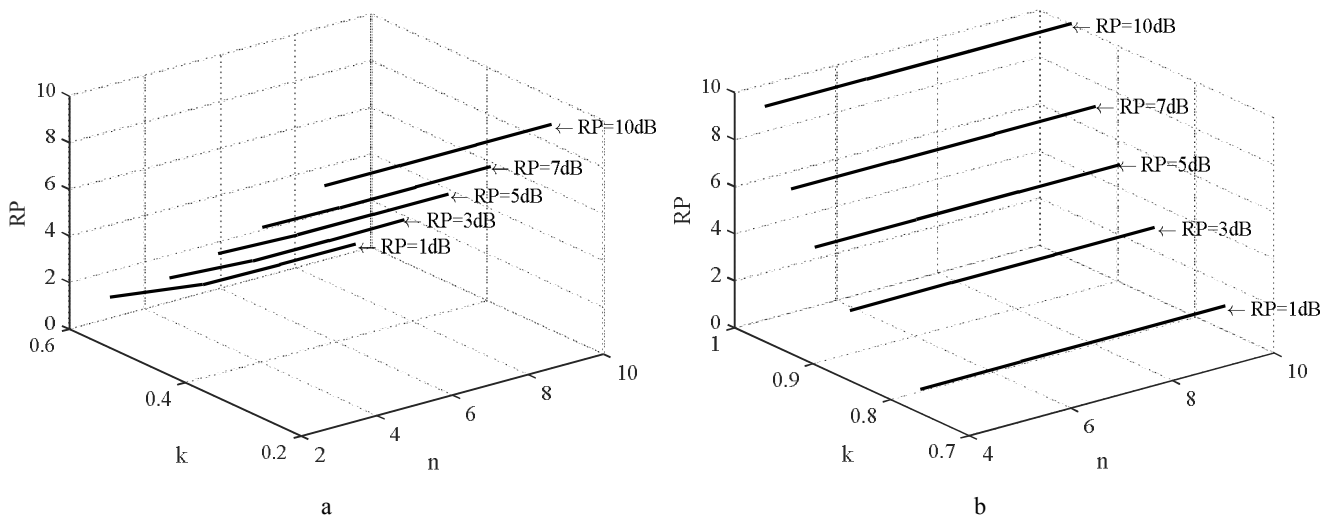


Fig. 7. Graph of the correlation between the highest coefficient values and the maximum values obtained for the elliptic digital filters a) odd order sequence, b) even order sequence at different oscillation levels in the RP passband and attenuation band $RS = 15$ dB

Table 1 – Value of the approximation dependencies' coefficients

order	coefficient	Chebyshev filter					Inverse Chebyshev					Elliptic filter										
		RP					RS					RS										
												11					15					
												RP										
		1	3	5	7	10	3	5	7	10	15	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10	
C	even		-0,0012	-0,0006	-0,0004	-0,0003	-0,0002	-0,0002	-0,0008	-0,0012	-0,0019	-0,0002	-3e ⁻⁵	0	0	9e ⁻¹⁶	-0,0004	-0,0004	-8e ⁻⁵	-2e ⁻⁵	-2e ⁻⁵	0
	odd		0,0434	0,0425	0,0422	0,0414	0,0387					0,0039	0,0013	0,0005	0,0001	-0,0004	0,0074	0,0034	0,0018	0,0009	0,0002	
	D	even	0,0086	0,0044	0,0028	0,0022	0,0014	0,0043	0,0063	0,0087	0,0129	0,0216	0,0011	0,0002	-7e ^{-15v}	0	-7e ⁻¹⁵	0,0022	0,0005	0,0002	0,0002	0
		odd		-0,3618	-0,3473	-0,3398	-0,3289	-0,302					-0,0246	-0,0078	-0,0028	-0,0008	0,0015	-0,0471	-0,021	-0,011	0,0054	0,0014
	E	even	0,7342	0,8294	0,8748	0,9041	0,9338	0,8263	0,7717	0,7237	0,6577	0,5546	0,6634	0,562	0,4866	0,4197	0,327	0,6333	0,5094	0,4179	0,3367	0,2265
	odd		0,757	0,577	0,4314	0,2916	0,085					0,6634	0,562	0,4866	0,4197	0,327	0,6333	0,5094	0,4179	0,3367	0,2265	

Table 2 – Dependencies approximation coefficients' values

Filter type	Filter order	Coefficient				
		F	G	H	J	L
Chebyshev	odd	-0,0034	-0,1426	0,8935	-	-
	even	0,1429	1,3429	-0,4	-	-
Inverse Chebyshev	-	0,0082	0,0165	0,8465	-	-
Elliptic	odd, RS=11	0,0018	-0,0926	0,7492	-	-
	odd, RS=15	0,0027	-0,1148	0,7395	-	-
	Even, RS=11	-	-	-	0,1283	0,7782
	Even, RS=15	-	-	-	0,1223	0,7627

Conclusion

Thus, to estimate the coefficients variation boundaries for frequency-dependent components above the second order, necessary is, based on formula (4), to determine the characteristic equation coefficients' boundary values and multiply those values by the

correction factors determined by equations (5-6) depending on the type of frequency-dependent components (filters). The obtained values represent the components' stability boundary at denominator coefficients' change. This greatly facilitates the stability evaluation when rebuilding the component transfer function's coefficients.

REFERENCES

1. Dorf, R.C. and Bishop, R.H. (2017), *Modern Control Systems*, Pearson Education Inc., ISBN-13: 978-0134407623, 831 p.
2. Tuzlukov, V. (2013), *Signal Processing in Radar Systems*, CRC Press, 596 p.
3. Popov, D.I. (2016), "The digital signal processing systems analysis", *Izvestija vysshikh ychebnykh zavedenij. Tekhnicheskie nauki*, No 2, pp. 83-92.
4. Ukhina, A.V., Bilenko, A.A. and Sytnikov, V.S. (2016), "Improving the efficiency software and hardware complexes in NPP APCS", *Jadernaja i radiatsionnaja bezopasnostj*, No 3, pp. 70-76.
5. Ljapun, D.A. (2016), "Investigation of a computer platform management system on a mobile object", *Naukovi pratsi. Serija: Komp'juterni tekhnologiji. Chornomorskyi nats. un. im. P. Mogilyi*, No. 275, Vol. 287, pp. 62-68.
6. Zhengyou, He. (2016), *Wavelet Analysis and Transient Signal Processing Applications for Power Systems*, Chine Electric Power Press, 252 p.
7. Li, M., Duan, Y., Wang, Y. and Zhang, L. (2016), Time-Frequency Analysis Method in the Transient Power Quality Disturbance Analysis Application, *Electronic Devices*, No. 1, pp. 9-13.
8. Dzhigan, V.A. (2013), Adaptive signals filtering: theory and algorithms, Tekhnosfera, Moscow, 528 p.
9. Zhuravlev, A.Ju., Pavlov, A.V. and Zhurba, V.O. (2012), "The stability overall increasing technique and correction the transient processes quality direct indicators in digital control systems", *Kompressionoe i energeticheskoe mashinostroenie*, No. 1, pp. 36-40.
10. Astrom, K.J. and Witternmark, B. (1987), *Computer controlled systems: Theory and design*, Prentice-Hall.Inc, 480 p.
11. Sergienko, A.B. (2006), Digital signal processing, Piter, St. Petersburg, 751 p.
12. Bronshhtejn, I.N. and Semendjaev, K.A. (1980), *Mathematics handbook*, Nauka, Moscow, 976 p.
13. Sytnikov, V.S. and Stupen, P.V. (1999), "Checking the stability of digital filters by transfer function", *Trudy Odesjk. politech. un-ta*, Odessa, No 1(7), pp. 160-162.

Received (Надійшла) 06.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.10.2018

Оцінка стабільності на основі застосування трикутника стабільності для передавальних функцій вище другого порядку

Г. В. Ухіна, В. С. Ситніков, К. О. Пуц

Предметом дослідження є передавальна функція системи вище другого порядку. **Мета роботи:** спрощення процесу оцінки стійкості системи для передавальних функцій вище другого порядку на основі трикутника стійкості і нерівностей допустимих значень коефіцієнтів передавальних функцій. **Завдання:** спростити оцінку стійкості системи; дослідити характеристичне рівняння і визначити обмежуючі нерівності. **Методи,** які використовувались: критерій стійкості Джурі, аналітичний метод для визначення стійкості при використанні графічного представлення на основі трикутника стійкості, аналітичне рішення характеристичного рівняння, математичне моделювання. Отримані наступні **результати.** Знайдено максимально допустимі значення коефіцієнтів, а також нерівності, які обмежують коефіцієнти передавальної функції. Виявлено коефіцієнти відповідності між максимальними теоретичними значеннями коефіцієнтів, що легко визначаються і практичними їх значеннями, отримані функціональні залежності коригувальних коефіцієнтів. **Висновки.** На основі проведеної роботи для оцінки меж зміни коефіцієнтів частотно-залежних компонент вище другого порядку необхідно визначити максимальні значення коефіцієнтів характеристичного рівняння і помножити їх на коригувальні коефіцієнти, отримані в результаті проведених досліджень. Отримані значення представляють границю стійкості компонентів при зміні знаменних коефіцієнтів. Це значно полегшує оцінку стабільності при переробці коефіцієнтів функції передачі компонентів.

Ключові слова: критерій Джурі; характеристичне рівняння; межі стійкості; нерівності, що обмежують; частотно-залежний компонент вище другого порядку.

Оценка устойчивости на основе применения треугольника устойчивости для передаточных функций выше второго порядка

А. В. Ухина, В. С. Ситников, К. А. Пуц

Предметом исследования является передаточная функция системы выше второго порядка. **Цель работы:** упрощение процесса оценки устойчивости системы для передаточных функций выше второго порядка на основе треугольника устойчивости и неравенств допустимых значений коэффициентов передаточных функций. **Задание:** упростить оценку устойчивости системы; исследовать характеристическое уравнение и определить ограничивающие неравенства. Используемыми **методами** являются: критерий устойчивости Джурі, аналитический метод к определению устойчивости при использовании графического представления на основе треугольника устойчивости, аналитическое решение характеристического уравнения, математическое моделирование. Получены следующие **результаты.** Найденны максимально допустимые значения коэффициентов, а также ограничивающие неравенства для коэффициентов передаточной функции. Выявлены коэффициенты соответствия между легко определяемыми максимальными теоретическими значениями коэффициентов и практическими их значений, получены функциональные зависимости корректирующих коэффициентов. **Выводы.** На основе проведенной работы для оценки границ изменения коэффициентов частотно-зависимых компонент выше второго порядка необходимо определить максимальные значения коэффициентов характеристического уравнения и умножить их на корректирующие коэффициенты, полученные в результате проведенных исследований. Полученные значения представляют границу устойчивости компонент при изменении коэффициентов знаменателя. Это значительно облегчает оценку стабильности при восстановлении коэффициентов передаточной функции компонента.

Ключевые слова: критерий Джурі; характеристическое уравнение; границы устойчивости; ограничивающие неравенства; частотно-зависимый компонент выше второго порядка.

Methods of information systems synthesis

UDC 004.6

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.09

Ye. Meleshko

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

METHOD OF COLLABORATIVE FILTRATION BASED ON ASSOCIATIVE NETWORKS OF USERS SIMILARITY

The **subject matter** of the article is the processes of generating a recommendations list for users of a website. The **goal** is to develop the new method of collaborative filtering based on building associative networks of users similarity to improve the quality of recommender systems. The **tasks** to be solved are: to develop the method of collaborative filtering based on building associative networks of user similarity, develop software to test this method, conduct experiments on the developed software to test the effectiveness of the developed method, determine the quality of its work and compare this method with the standard method of collaborative filtering. The **methods** used are: graph theory, mathematical statistics, the theory of algorithms, object-oriented programming. The following **results** were obtained: the method of collaborative filtering based on building associative networks of user similarity was developed, to implement this method the software was developed, experiments using the developed software to test the developed method were conducted. **Conclusions.** The possibility of using associative networks in recommender systems was researched. The associative rule for building associative networks of users similarity was proposed. The collaborative filtering method based on associative networks of users similarity, which can be used to improve the quality of recommender systems, was developed. Experiments conducted on the developed software have shown that the developed method significantly increases such performance indicators of the recommender system as user space coverage, item space coverage, user interaction coverage, and makes it possible to create better-quality lists of recommendations for website users.

Keywords: recommendation systems; collaborative filtering; associative networks; similarity coefficients.

Introduction

Today, recommendation systems are used to improve a work of many types of websites, such as online stores, content websites, search engines, and more. They are a good addition to the classic data search algorithms and can significantly increase the overall interest in a website, and give individual users the opportunity to get more useful information and pay attention to more objects that are relevant to his or her preferences.

The working principle of a recommendation system is based on the fact that for each user in a set of users $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ creates a set of recommendations $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, sorted in descending order the relevance of a recommendation to a interests of corresponding a user.

One of the basic algorithms for building recommendation systems is collaborative filtration [1, 2]. It is based on the calculation of similarity coefficients between users to find a most similar users and objects.

To calculate similarity coefficients, previously collected information about users and objects of a system is used, such as ratings that users put on objects, user transactions, pageview history, description of objects and their characteristics, etc.

More often, in recommendation systems the following similarity coefficients are used: Euclidean distance (1), Heming distance (2), Pearson correlation coefficient (3), cosine similarity (4), and others:

$$d(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{1i} - x_{2i})^2}; \quad (1)$$

$$d(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^m |x_{1i} - x_{2i}|; \quad (2)$$

$$d(x_1, x_2) = \frac{X_1 \cdot X_2}{\|X_1\| \cdot \|X_2\|} = \frac{\sum_{i=1}^m x_{1i} \cdot x_{2i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{1i}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{2i}^2}}; \quad (3)$$

$$d(x_1, x_2) = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{1i} - X_1) \cdot (x_{2i} - X_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{1i} - X_1)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{2i} - X_2)^2}}, \quad (4)$$

where $d(x_1, x_2)$ – the distance between objects x_1 and x_2 ; x_{1i} , x_{2i} – the value of the i -th attribute, respectively, in the 1st and 2nd objects; X_1 , X_2 – the set of values of attributes in the 1st and 2nd objects.

After defining similarity coefficients between elements of a system, they are used to select elements similar to those previously selected by a user for their further recommendation.

Not always a information gathered about elements of a system is enough to determine a required number of similar items to a given item. To solve this problem, an additional analysis of a available data is needed.

Associative Network (AN) is a set of objects and associative relationships between them.

Associative relationships are built on the basis of associative rules.

Associative rules allows find patterns between related facts. For example, if user A will buy x_1 , then he will also buy x_2 with probability p [3].

Associative rules can be used in recommendation systems to determine the similarity between objects that were not detected using similarity coefficients.

The rules in form "if A and B, then with probability p also C", describe, for example, products that was jointly purchased. In this case, the search for associative rules can be done using, for example, the following queries to a system:

- What products are sells together?
- How often do A and B products sell together?
- How the choice of a product A increases the probability of choosing a product B?
- How the choice of a product B increases the probability of selecting a product A?

Some of the most common algorithms used to construct associative rules are APriori [4], DHP [5], Partition [6], DIC [7], and others.

If the association rules apply to descriptive analysis, to determine which products are sells together, recommendation system can get some new information that can be used in the process of forming a recommendation.

The disadvantage of this kind of information is that there will be a low item space coverage with associative rules: such rules will exist only for a small number of items. At the same time, even under such conditions, the application of associative rules and the use of an associative network of items will improve the quality of a recommendation system.

The goal of this work was to create collaborative filtering method based on associative networks of similarity of users in order to increase the amount of data on the basis of which a list of recommendations is built.

The main material

When developing recommendation systems based on collaborative filtering, there is the following pattern: the more users are identified with high similarity coefficients for a particular user, the more useful recommendations for him will be can to create. In this way, the task of finding as many as possible of similar users becomes relevant. It should be investigated whether more relationships of similarity can be found between users that correspond to reality than the quantity that can be found through collaborative filtering. Associative rules and associative networks were used to solve this problem.

Associative rules in recommendation systems are used to determine associative relationships between products, based on how often different products fall into one transaction.

In this paper, associative relationships are proposed to be built between users based on their similarity coefficients in order to find more similar users.

The following associative rule was developed:

If the similarity coefficient of users A and B equals 1, this means, users are "completely" similar, **and** the similarity coefficient between users A and C equals x , **then** the similarity between users B and C equals x .

Let's illustrate this rule schematically in Fig. 1/

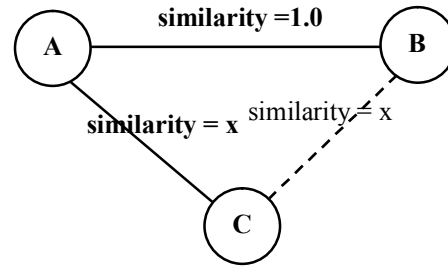


Fig. 1. Schematic representation of the associative rule for determining a similarity of users

The associative network is proposed to be built as follows:

1) apply the proposed associative rule to build additional similarity relationships (similarity of level 2) between users;

2) repeat the action (1) for a network, taking into account similarity relationships with the basic similarity and similarity of level 2 for obtaining similarities of level 3.

To create recommendations it is suggested to use all three types of similarity relationships and consider them to be equivalent.

The series of experiments were conducted to test this rule.

To test the work of the developed method, the software to create recommendations and testing the recommendation system was developed.

Consider the developed software. To build the recommendation system, it was decided to choose the programming language Python and database type NoSQL with the representation of data in the form of a graph - database management system Neo4j.

Neo4j is the first and one of the most popular graph database management systems. It has the application programming interface for many programming languages, including Java, Python, Ruby, PHP [8].

To perform queries, it uses own language Cypher.

The example of the data format in the Neo4j database is shown in Fig. 2.

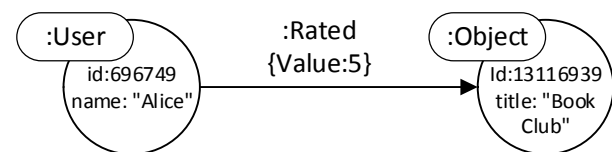


Fig. 2. The example of the data format in the Neo4j database

To add nodes and relationships to the Neo4j database, the following queries can be used:

```
// creating nodes
CREATE (User1:User {id:$id_user1,
name:$name_user1})
CREATE (Object1: Object {id:$id_Object1,
title:$title_Object1})
// creating relationship
CREATE (User1)-[:Rated{Value:5}]->(Object1)
```


To work with Neo4j in Python the neo4j.v1 library was used. It allows you to connect to a database server and make requests.

Recommendations for users of a web-resource are formed on the basis of previously collected information about them and information about objects of a system, which is convenient to represent in the form of a graph (Fig. 3) and write to a graph database.

Advantages of using graph database Neo4j for recommendation systems [8]:

1. Productivity. Allows calculating recommendations in real-time, ensuring their actuality.

2. Convenient data model. Labels and properties of nodes and relationships allow to easily filter datasets and allocate a necessary subgraph for analysis.

The recommended system based on collaborative filtration was built, and similarity coefficients between users were determined based on the Pearson correlation coefficient (2).

In the developed recommendation system, all data is represented as a graph, the example is shown in Fig. 3. All data is divided into vertices and edges. For example, users, objects, properties of objects are vertices. The edges are represented by relationships of type: "rated", "friends", "has_characteristic".

Ratings, for example, are the weight of the edges type "rated".

Making requests to the database based on labels of nodes and labels of relationships gives the opportunity to get different subgraphs.

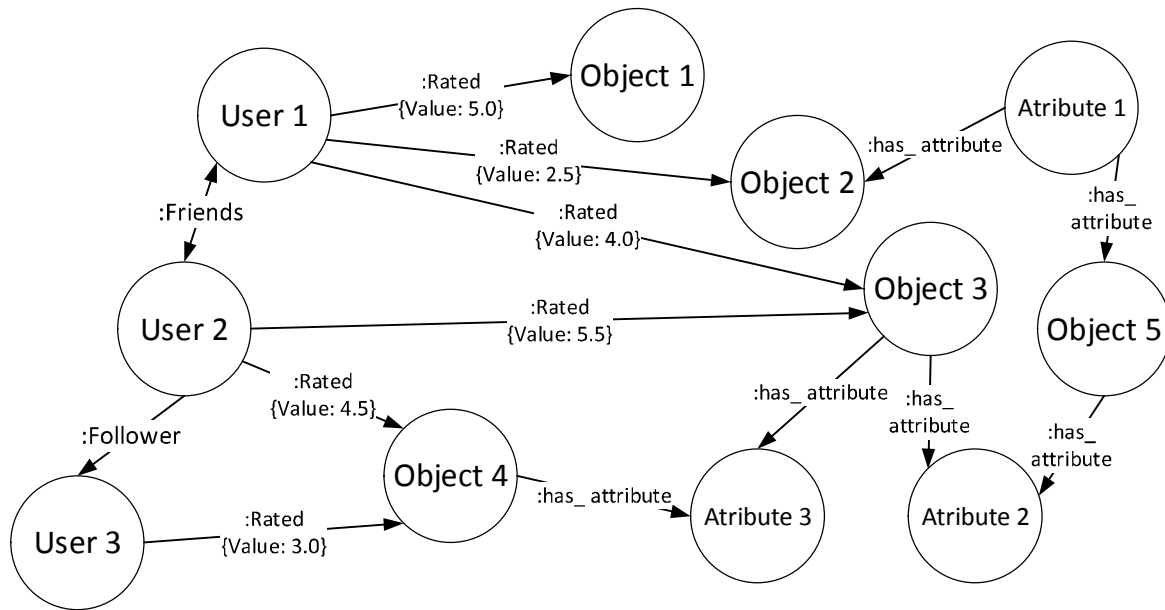


Fig. 3. The example of an input data set for the recommendation system

The developed recommendation system was tested on the open dataset – MovieLens Datasets, that was created in research laboratory at the Department of Computer Science and Engineering at the University of Minnesota [9].

During each experiment on the MovieLens Datasets, N_u users were selected. The ratings that they have set on movies were divided into two parts by timestamp for to calculate recommendations ("current data") and to test the system ("future data"). For each data set the system was launched in two modes:

- without using the associative network (without AN);
- using the associative network (with AN).

In the dataset, ratings may take values: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0. It was decided to divide them into positive (from 3.5 to 5.0) and negative (from 0.5 to 3.0) ratings.

Predictions of users preferences were divided into positive ones when predicting positive rating, and negative ones when predicting negative rating.

To check the quality of the recommendation system, the following metrics were used:

1. Prediction accuracy – shows how accurately is predicted preferences of users.
2. User space coverage – the percentage of all users for whom the system can provide recommendations.
3. Item space coverage – the percentage of all objects that can be recommended to users.
4. User interaction coverage – the percentage of all objects among chosen by users that were recommended.

Let's consider how these metrics were determined in the system being developed.

First, consider all possible results of giving a recommendation to a user (Table 1).

Table 1 – Classification of possible results of a recommendation

	Recommended	Not recommended
Rated positive	True-Positive (<i>tp</i>)	False-Negative (<i>fn</i>)
Rated negative	False-Positive (<i>fp</i>)	True-Negative (<i>tn</i>)

Prediction accuracy of a recommendation system was calculated by the formula (4):

$$\text{Precision} = \frac{tp}{tp + fp}, \quad (4)$$

User space coverage was determined by the formula (5):

$$\text{User Space Coverage} = \frac{N_{ur}}{N_u}, \quad (5)$$

where N_{ur} – the number of users for which it was possible to create recommendations, N_u – the number of users that was taken in the experiment.

Item space coverage was determined by the formula (5):

$$\text{Item Space Coverage} = \frac{N_{mr}}{N_m}, \quad (6)$$

where N_{mr} – the number of movies for which were able to predict ratings, N_m – the total number of movies in the experiment.

User interaction coverage was determined by the formula (5):

$$\text{User Interaction Coverage} = \frac{tp}{N_{mc}}, \quad (7)$$

where N_{mr} – the number of correctly predicted positive ratings,

N_{mc} – the total number of movies that were selected by users in the test data.

Table 2 – Test results of the developed method of construction of recommendation systems

Experiment number	Number of users	Number of correct positive recommendations		Prediction accuracy		User space coverage		Item space coverage		User interaction coverage	
		without AN	with AN	without AN	with AN	without AN	with AN	without AN	with AN	without AN	with AN
1	30	59	130	86.76%	69.89%	56.66%	83.33%	7.31%	19.56%	4.66%	10.28%
2	30	55	104	77.46%	81.25%	73.33%	83.33%	6.48%	12.16%	6.19%	11.71%
3	50	292	543	78.91%	76.80%	86.00%	92.00%	21.37%	45.50%	10.53%	19.59%
4	50	211	346	79.02%	78.28%	74.00%	90.00%	20.06%	33.51%	15.41%	25.27%
5	100	907	1153	74.71%	75.31%	94.00%	98.00%	60.48%	79.24%	28.27%	35.94%
6	100	821	1033	64.95%	61.16%	96.00%	100.00%	54.87%	77.46%	14.61%	18.38%

Based on the results of experiments it can be concluded that the developed method allows to increase the number of correct positive recommendations, user space coverage, item space coverage and user interaction coverage practically without reducing prediction accuracy of a recommendation system, and in some cases prediction accuracy even increased (experiment number 2 and number 5). In general, the number of useful recommendations for each user increases and the number of users for which there are no recommendations is reduced.

Conclusions

The possibility of using associative networks in recommendation systems was explored.

The associative rule for building associative networks of users similarity was proposed.

The method of collaborative filtration based on associative networks of users similarity was developed.

Series of experiments has been carried out, which showed that the developed method increases the number of correct positive recommendations, user space coverage, item space coverage, user interaction coverage, practically without changing the prediction accuracy. Using the developed method significantly increases the number of useful recommendations, and reduces the number of users for whom the usual collaborative filtering could not provide recommendations.

REFERENCES

1. Meleshko E.V., Semenov, S.G. and Khokh, V.D. (2018), "Research of methods of building advisory systems on the internet", *Academic Journal "Control, Navigation and Communication Systems"*, Issue 1(47), Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, pp. 131–136, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.131> (in Ukrainian).
2. Jones, M. (2013), *Recommender systems*, Part 1. Introduction to approaches and algorithms. Learn about the concepts that underlie web recommendation engines, available at:

- https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender/1/index.html?s_tact=105agx99&s_cmp=cp
- Shahidi, A. (2015), Introduction to analysis of the associative rules, available at: <https://basegroup.ru/community/articles/intro> (in Russian).
 - Agrawal, R. and Srikant, R. (1994), "Fast Discovery of Association Rules", *Proc. of the 20th International Conference on VLDB*, Santiago, Chile, 1215, pp. 487-499.
 - Savasere, A., Omiecinski, E. and Navathe S. (1995), "An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Large Databases", *Proc. 21st Int'l Conf. Very Large Data Bases*, Morgan Kaufmann, San Francisco, pp.422-434.
 - Park, J.S., Chen, M.-S. and Philip, S.Y. (1995), "An Effective HashBased Algorithm for Mining Association Rules", *Proc. ACM SIGMOD Int'l Conf. Management of Data*, ACM Press, New York, pp. 175-186.
 - Brin, S., Motwani, R., Ullman, Jeffrey D. and Tsur, S. (1997) "Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data", *Proc. ACM SIGMOD Int'l Conf. Management of Data*, ACM Press, New York, pp. 255-264
 - (2018), *Neo4j Documentation*, available at: <https://neo4j.com/docs/>
 - Harper, F.M. and Konstan J.A. (2016) "The MovieLens Datasets: History and Context", *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, No. 19, DOI: <https://doi.org/10.1145/2827872>.

Received (Надійшла) 29.08.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.10.2018

Метод колаборативної фільтрації на основі асоціативних мереж подоби користувачів

Є. В. Мелешко

Предметом вивчення у статті є процес генерації списку рекомендацій для користувачів веб-сайту. **Метою** є розробка нового методу колаборативної фільтрації на основі побудови асоціативних мереж подоби користувачів для підвищення якості роботи рекомендаційних систем. **Завдання:** розробити метод колаборативної фільтрації на основі побудови асоціативних мереж подоби користувачів, розробити програмне забезпечення для тестування даного методу, провести експерименти на розробленому програмному забезпеченні для перевірки ефективності застосування розробленого методу, визначення якості його роботи та порівняння даного методу зі стандартним методом колаборативної фільтрації. Використовуваними **методами** є: теорія графів, математична статистика, теорія алгоритмів, об'єктно-орієнтоване програмування. Отримані такі **результати:** розроблено метод колаборативної фільтрації на основі побудови асоціативних мереж подоби користувачів, розроблено програмне забезпечення для реалізації даного методу, проведено експерименти на розробленому програмному забезпеченні для тестування розробленого методу. **Висновки.** Досліджено можливість використання асоціативних мереж у рекомендаційних системах. Запропоновано асоціативне правило для побудови асоціативних мереж подоби користувачів. Розроблено метод колаборативної фільтрації на основі асоціативних мереж подоби користувачів, який можна застосовувати для підвищення якості роботи рекомендаційної системи. Проведені на розробленому програмному забезпеченні експерименти показали, що розроблений метод суттєво підвищує такі показники роботи рекомендаційної системи, як покриття простору користувачів, покриття каталогу, покриття взаємодії з користувачами, та дозволяє створювати більш якісні списки рекомендацій користувачам веб-сайтів.

Ключові слова: рекомендаційні системи; колаборативна фільтрація; асоціативні мережі; коефіцієнти подоби.

Метод колаборативної фільтрації на основі асоціативних мереж подоби користувачів

Є. В. Мелешко

Предметом изучения в статье является процесс генерации списка рекомендаций для пользователей веб-сайта. **Целью** является разработка нового метода коллаборативной фильтрации на основе построения ассоциативных сетей подоби пользователей для повышения качества работы рекомендательных систем. **Задача:** разработать метод коллаборативной фильтрации на основе построения ассоциативных сетей подоби пользователей, разработать программное обеспечение для тестирования данного метода, провести эксперименты на разработанном программном обеспечении для проверки эффективности применения разработанного метода, определения качества его работы и сравнения данного метода со стандартным методом коллаборативной фильтрации. Используемыми **методами** являются: теория графов, математическая статистика, теория алгоритмов, объектно-ориентированное программирование. Получены следующие **результаты:** разработан метод коллаборативной фильтрации на основе построения ассоциативных сетей подоби пользователей, разработано программное обеспечение для реализации данного метода, проведены эксперименты на разработанном программном обеспечении для тестирования разработанного метода. **Выводы.** Исследована возможность использования ассоциативных сетей в рекомендательных системах. Предложено ассоциативное правило для построения ассоциативных сетей подоби пользователей. Разработан метод коллаборативной фильтрации на основе ассоциативных сетей подоби пользователей, который можно применять для повышения качества работы рекомендательных систем. Проведенные на разработанном программном обеспечении эксперименты показали, что разработанный метод существенно повышает такие показатели работы рекомендательной системы, как покрытие пространства пользователей, покрытие каталога, покрытие взаимодействия с пользователями, и позволяет создавать более качественные списки рекомендаций пользователям веб-сайтов.

Ключевые слова: рекомендательные системы; коллаборативная фильтрация; ассоциативные сети; коэффициенты подоби.

O. Morozova

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

APPLIED INFORMATIONAL TECHNOLOGIES INTEGRATION PRINCIPLES IN SYSTEMS WITH DUAL PROCESSES

It is shown in this work that the topical question should be the implementation of innovative technologies in education activity management, namely in the process of knowledge, skills and experience acquisition in educational systems, and their realization in industry with the use of informational, communication and network technologies. Thus, there appears necessity for the development of the applied informational technologies integration principles, in systems with dual processes. The purpose of the creation of educational and industrial processes formalization technology is the development of formal representation instrumental means that can guarantee a united approach at building the special mathematical provision for informational and technological solutions in systems with dual processes. Processes and phenomena that occur in educational and industrial systems, can be represented in bases of knowledge on the grounds of the methodical base, and the integration processes and phenomena between them can be represented in the form of different algebraic systems. These systems consist of some ensemble and a set of operations, i. e. an algebraic signature. The methodical base of formal representation of knowledge consists of heuristic, logical, ontological and topological methods of modelling, and at the base of the object domain kernel isolation lie methods and formalisms of the set theory. An example of adjacent manifolds kernel building in topological space on the grounds of the algebra of sets is shown. The proposed logical methods of the representation of knowledge allow to proceed to the heuristic representation of knowledge, i. e. with production rules, semantic networks, frame systems, and the ontological constructions as well.

Keywords: integration; applied informational technologies; education; industry; systems with dual processes.

Introduction

At present, the priority of reforms that are carried out in higher education field, is given to the improving of educational services rendering with application of the modern informational systems and technologies [1]. At the same time, the complicated problem is to build a united system of educational processes management, taking into account the industrial requirements to modern specialists.

There appears necessity to increase the professional knowledge and skills by the implementation of new forms of education.

One of the ways to resolve the problem in question is the implementation of the dual system of education and teaching aimed at the improving of the personnel's vocational training quality.

This dual system is the new and more flexible form of the vocational training organization, which stipulates for the coordinated interaction between the educational and the industrial branches for training of qualified personnel of the certain profile in the context of the organizationally different forms of training [2-5].

In this connection, the topical question is the application of innovative technologies in the educational activity management, i. e. the management of knowledge, skills and experience acquisition process, in educational systems, and their realization in industry with the use of informational, communication and network technologies. Thus, there appears necessity for the development of the applied informational technologies integration principles, in systems with dual processes.

The purpose of the creation of educational and industrial processes formalization technology is the

development of formal representation instrumental means that can guarantee a united approach at building the special mathematical provision for informational and technological solutions in systems with dual processes.

1. Generalized Outline of the Topological Manifold Formalization Technology

Let us designate processes and phenomena that occur between educational systems of 1st-2nd and 3rd-

4th levels of accreditation with $\wp_{(1,2 \xleftarrow{f} 3,4)}$ symbol,

and processes and phenomena between educational systems of 3rd-4th levels of accreditation and industrial

systems with $\wp_{(3,4 \xleftarrow{f} p)}$ manifolds, respectively.

Then, the semantics of processes and phenomena of these manifolds will consist in reflections between the systems in question, e. g. students of different schools make their acquaintance with the resources of higher education institutions and with professions they can acquire in these institutions. Here, the students can be interpreted as the elements of some space, with the knowledge and abilities that reflect on the space of information presented to the students and concerning some set of professions.

In the fig. 1, the principal formalisms, their hierarchy and their-based methods of knowledge representation are shown, where with the $O^{1,2}$, $O^{3,4}$ and O^p symbols the manifolds of processes and phenomena that occur in educational systems of 1st-2nd, 3rd-4th levels of accreditation and in industrial systems, respectively, are designated.

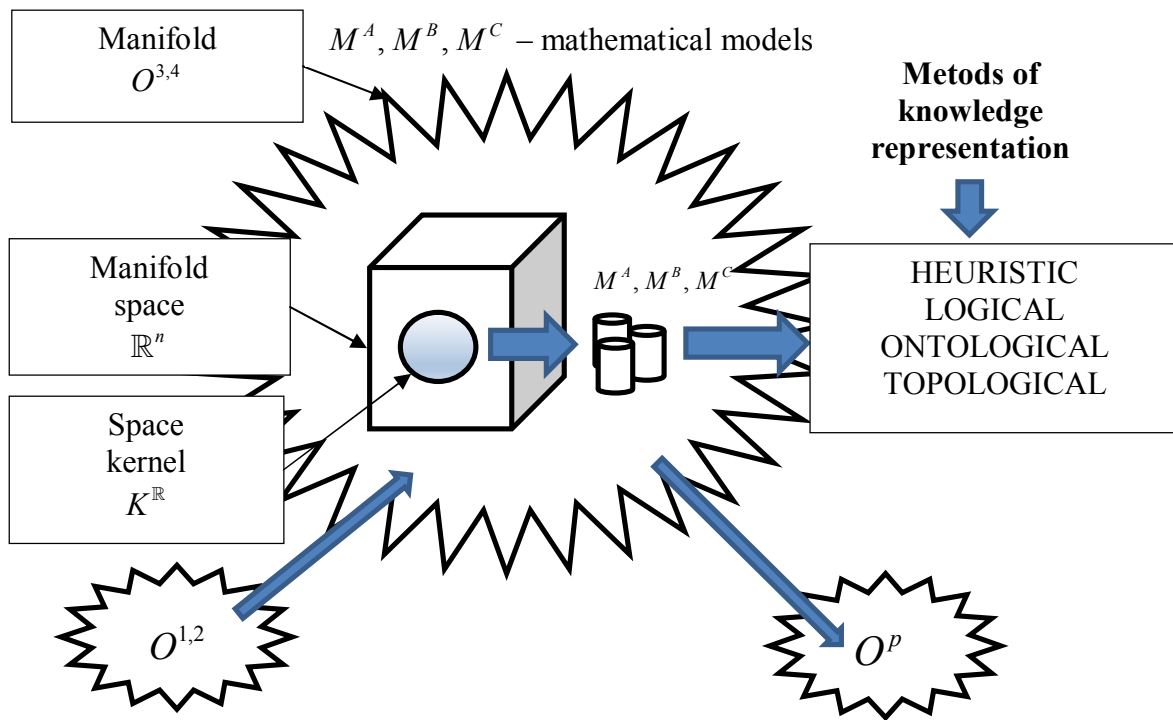


Fig. 1. Illustration of $O^{3,4}$ manifold formalisms hierarchy

It is necessary to mention that the abstraction degree hierarchy shown in the Fig. 1, concerns only one, $O^{3,4}$ manifold.

Analogically, it is possible to uncover the essence of formalisms hierarchy for $O^{1,2}$ and O^p manifolds.

As a matter of fact, the worked out scheme allows to assign temporal relations in the process of formalization, e. g. to describe manifold $O^{1,2} \rightarrow$ to assign space $\mathbb{R}^n \rightarrow$ to select the significant elements of the topological space, i. e. to form the space kernel $K^{\mathbb{R}} \rightarrow$ to develop space kernel significant elements models $\{M^A, M^B, M^C\}$.

The arrows are used here to designate temporal relations of the formalization procedures. Let us amplify the temporal relations with the inclusion relations (\subset), in order to assign analytically the hierarchy relations of the formalization procedures. Finally, we can formally write it down:

$$\begin{cases} O^{1,2} \rightarrow \mathbb{R}^n \rightarrow K^{\mathbb{R}} \rightarrow \{M^A, M^B, M^C\}; \\ O^{1,2} \supset (\mathbb{R}^n \supset (K^{\mathbb{R}} \supset \{M^A, M^B, M^C\})). \end{cases} \quad (1)$$

It follows from the interpretation above, that the processes and phenomena that occur in educational and industrial systems, can be represented in bases of knowledge on the grounds of methods shown in the Fig. 1, and the processes and phenomena of the integration between are representable in the form of different algebraic systems. They are composed of some set, in this case, set of models, and of operations with them, i. e. of an algebraic signature.

In this work, the methodical base of formal representation of knowledge consists of heuristic, logical, ontological and topological methods of modelling, and in the basis of the object domain kernel isolation lie methods and formalisms of the set theory.

An example of adjacent manifold kernel building in a topological space, on the grounds of the set algebra, will be shown in the next subdivision of this work.

2. Adjacent Topological Spaces Kernel Models Synthesis Procedure

In the previous subdivision, the general scheme of some formalization technology for processes and phenomena that occur in educational and industrial spheres, has been developed. Let us lower the degree of community of the developed scheme, using decomposition and abstracting methods (Fig. 2). To simplify the formal procedures notation we shall suppose that from the every $K_{1,2}^{\mathbb{R}}$, $K_{3,4}^{\mathbb{R}}$, and $K_p^{\mathbb{R}}$ kernel, groups of three significant objects (topological space elements [6, 7]) are isolated, which have between each other some connection or relations assigned in the form of functors or cones of morphisms \bar{F}, \bar{K} .

Before we proceed to describe the formal procedure of synthesis of models shown in the Fig. 2:

$$\begin{aligned} K_{1,2}^{\mathbb{R}} &= \left\{ M_1^{K_{1,2}^{\mathbb{R}}}, M_2^{K_{1,2}^{\mathbb{R}}}, M_3^{K_{1,2}^{\mathbb{R}}} \right\}, \\ K_{3,4}^{\mathbb{R}} &= \left\{ M_1^{K_{3,4}^{\mathbb{R}}}, M_2^{K_{3,4}^{\mathbb{R}}}, M_3^{K_{3,4}^{\mathbb{R}}} \right\}, \\ K_p^{\mathbb{R}} &= \left\{ M_1^{K_p^{\mathbb{R}}}, M_2^{K_p^{\mathbb{R}}}, M_3^{K_p^{\mathbb{R}}} \right\}. \end{aligned}$$

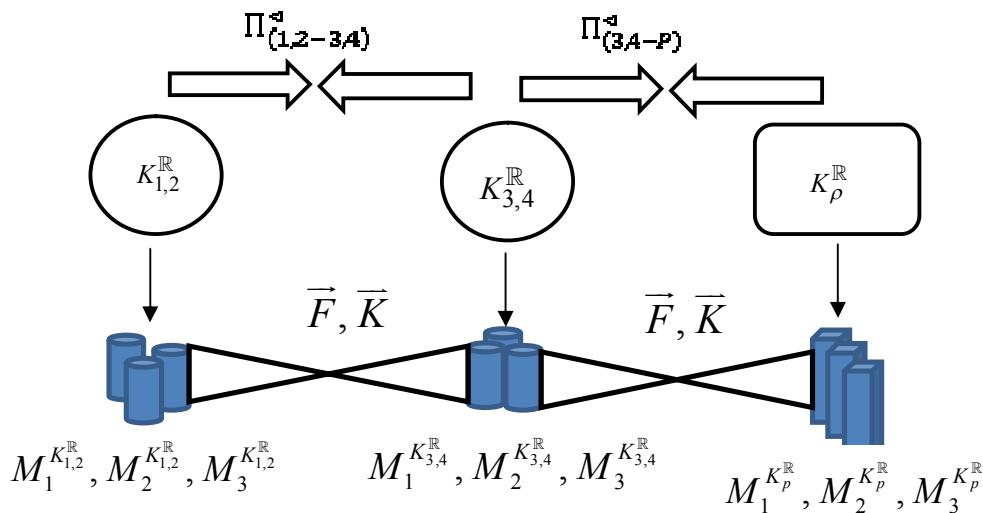


Fig. 2. Formal representation of integration processes at the level of topological spaces kernel elements

It is necessary to mention that between these models there also are some connections and relations, i. e. exist inner kernel morphisms. As a matter of fact, models

$$K_{3,4}^R = \{M_1^{K_{3,4}^R}, M_2^{K_{3,4}^R}, M_3^{K_{3,4}^R}\}$$

are analogous to the models of kernel, for their originals are the elements of the educational system.

It is important to mention that the inner-kernel morphisms of $O^{1,2}$ and $O^{3,4}$ manifolds directly depend on methods, procedures and technologies that are used in corresponding educational systems, and the morphisms of O^p manifold – on the industrial manuals, logistic schemes and other attributes of one or another industrial technology.

At the same time, in the work [8] the proposition is made to represent separate processes and phenomena as linguistic informational technologies, where are created models of dictionaries, reference-books, methodical working-outs and other linguistic objects. Then, the isolated in the fig. 2 can be represented with three models

$$M_1^{K_{3,4}^R}, M_2^{K_{3,4}^R}, M_3^{K_{3,4}^R},$$

where their originals are ‘higher education institution’, ‘some educational technology’ (as a process), ‘higher school pedagogics’ (as an object of the research), respectively.

With the aim to isolate the inner-kernel morphisms, on the basis of terminological dictionary the $O^{3,4}$ manifold ontological model there was built.

Let us suppose that between the element 1 of the kernel, its model designated with, there exists some connection or relations with elements 1 and 2 of the kernel, models of these elements designated with

$$M_1^{K_{3,4}^R}, M_2^{K_{3,4}^R},$$

respectively, and the model is connected with models

$$M_1^{K_p^R}, M_3^{K_p^R}$$

of the kernel K_p^R .

Let us write these procedure down in the analytical form using the methods of the set algebra.

We shall obtain:

$$K_{1,2-3,4}^{RS} = M_1^{K_{1,2}^R} \cup \left(M_1^{K_{3,4}^R} \wedge M_2^{K_{3,4}^R} \right), \quad (2)$$

$$K_{3,4-p}^{RS} = M_3^{K_{3,4}^R} \cup \left(M_1^{K_p^R} \wedge M_3^{K_p^R} \right), \quad (3)$$

The expressions 2 and 3 based on the developed generalized formalization technology scheme, can be transformed and and represented in the predicate form, i. e. on the basis of the algebra of logic.

$$\forall M_i^{K_{1,2}^R} \exists \bar{F} \xrightarrow{f} M_j^{K_{3,4}^R}, \quad (4)$$

$$\forall M_\gamma^{K_{3,4}^R} \exists \bar{K} \xrightarrow{f} M_\beta^{K_p^R}. \quad (5)$$

Such notation signifies that between all the models $M_i^{K_{1,2}^R}$ of \mathbb{R}^n topological space of the $\wp^{(1,2 \xleftarrow{f} 3,4)}$ manifold, there exists \bar{F} functor, the morphisms of which are biuniquely reflected on the models $M_j^{K_{3,4}^R}$.

Conclusion

Thus, the generalized technological scheme of formalization of processes and phenomena in the educational and industrial fields on the grounds of highly abstract topological manifolds, has been developed.

The adjacent topological spaces kernel models synthesis procedure has been shown. The generalization

of this procedure has been obtained in the predicate form. The technology of educational and industrial processes formalization has been created for the purpose of elaboration of instrumental means of formal

representations, which can guarantee the united approach at the building of the special mathematical provision for informational and technological solutions in systems with dual processes.

REFERENCES

1. The dual education, requirements of the Ministry of Education and Science of Ukraine (2018), available at: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnichna-osvita/dualna-osvita> (accessed September 11, 2018).
2. Meteshkin, K.A. (2004), *Cybernetic pedagogy: theoretical bases of education management on the basis of integrated intelligence*, ISU Publ., 400 p.
3. Donets, V., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), "Development of software of e-learning information system synthesis modeling process", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 117-121, DOI: <http://dx.doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
4. Gelenbe, E. and Pujolle, G. (2010), "Analysis and Synthesis of Computer Systems", *Advances in Computer Science and Engineering*, Texts. Vol. 4, 309 p.
5. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N. and Nechausov A. (2018), "Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform", *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018*, Ukraine, Kyiv, May 24-27, pp. 136-140, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>.
6. Pervin, W. J. (2014), *Foundations of general topology*, Academic Press, 222 p.
7. Dixmier, J. (2013), *General topology*, Springer Science & Business Media, 141 p.
8. Meteshkin, K.A., Morozova, O.I., Fedorchenko L.A. and Hayrova N.F. (2012), *Cybernetic pedagogy: ontological engineering in training and education*, KHNAM, 207 p.

Received (Надійшла) 13.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2018

Основи інтеграції прикладних інформаційних технологій в системах з дуальними процесами

О. І. Морозова

В роботі показано, що актуальним є застосування інноваційних технологій в управлінні освітньою діяльністю, а саме процесом набуття знань, умінь і навичок в освітніх системах та реалізація їх на виробництві з використанням інформаційно-комунікаційних й мережних технологій. Таким чином, виникає необхідність в розробці основ інтеграції прикладних інформаційних технологій в системах з дуальними процесами. Метою створення технології формалізації освітніх та виробничих процесів є розробка інструментальних засобів формальних уявлень, що забезпечують єдиний підхід при побудові спеціального математичного забезпечення інформаційно-технологічних рішень в системах з дуальними процесами. Процеси й явища, які відбуваються в освітніх та виробничих системах, можуть бути представлені в базах знань на основі методичної бази, а процеси й явища інтеграції між ними представлені у вигляді різних алгебраїчних систем. Дані системи складаються з деякої множини й набору операцій над ними, тобто сигнатурою алгебри. Методичну базу формального представлення знань складають евристичні, логічні, онтологічні та топологічні методи моделювання, а в основі виділення ядер предметних областей лежать методи й формалізми теорії множин. Показано приклад побудови ядра суміжних різноманіт в топологічному просторі на основі алгебри множин. Запропоновані логічні методи представлення знань дозволяють перейти до евристичних уявлень знань, тобто продукційних правил, семантичних мереж, фреймових систем, а також онтологічних конструкцій.

Ключові слова: інтеграція; прикладні інформаційні технології; освіта; виробництво; системи з дуальними процесами.

Основы интеграции прикладных информационных технологий в системах с дуальными процессами

О. И. Морозова

В работе показано, что актуальным является применение инновационных технологий в управлении образовательной деятельностью, а именно процессом приобретения знаний, умений и навыков в образовательных системах и реализация их на производстве с использованием информационно-коммуникационных и сетевых технологий. Таким образом, возникает необходимость в разработке основ интеграции прикладных информационных технологий в системах с дуальными процессами. Целью создания технологии формализации образовательных и производственных процессов является разработка инструментальных средств формальных представлений, обеспечивающих единый подход при построении специального математического обеспечения информационно-технологических решений в системах с дуальными процессами. Процессы и явления, протекающие в образовательных и производственных системах, могут быть представлены в базах знаний на основе методической базы, а процессы и явления интеграции между ними представлены в виде различных алгебраических систем. Данные системы состоят из некоторого множества и набора операций над ними, т.е. сигнатурой алгебры. Методическую базу формального представления знаний составляют эвристические, логические, онтологические и топологические методы моделирования, а в основе выделения ядер предметных областей лежат методы и формализмы теории множеств. Показан пример построения ядра смежных многообразий в топологическом пространстве на основе алгебры множеств. Предложенные логические методы представления знаний позволяют перейти к эвристическим представлениям знаний, т.е. продукционным правилам, семантическим сетям, фреймовым системам, а также онтологическим конструкциям.

Ключевые слова: интеграция; прикладные информационные технологии; образование; производство; системы с дуальными процессами.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕМАТИЧНОГО СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДОЛОГІЇ СИСТЕМНОГО МОДЕЛЮВАННЯ IDEF0

Предметом вивчення в статті є інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження. **Метою** є розробка інформаційної технології тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням методології системного моделювання IDEF0. **Завдання:** аналіз особливостей зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, формулювання вимог до методів, методик та інформаційних технологій сегментування оптико-електронних зображень, аналіз метаевристичних методів рішення оптимізаційних задач, розробка інформаційної технології тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, ройового інтелекту, кластеризації даних, еволюційних обчислень, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень, аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження. Отримані такі **результати**. Встановлено, що методологія IDEF0 заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT. У відповідності до синтаксису та семантики IDEF0 інформаційна технологія тематичного сегментування оптико-електронних зображень бортових систем спостереження може бути представлена у вигляді: кортежу, верхньої дочірньої діаграми, дочірніх діаграм. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: розроблена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, в якій, на відміну від відомих, використовується методологія системного моделювання IDEF0, що заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT.

Ключові слова: бортова систем спостереження; оптико-електронне зображення; тематичне сегментування; інформаційна технологія; методологія системного моделювання; метод структурного аналізу та проектування.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо, що результат обробки зображень бортових систем оптико-електронного спостереження залежить від якості методів сегментування зображення [1, 2]. Це поставляє перед розробниками систем обробки зображень проблему розробки методик, методів та інформаційних технологій сегментування зображень. Особливістю тематичного сегментування оптико-електронних зображень бортових систем спостереження є їх складність (складноструктурованість). Такі складноструктуровані зображення мають недетерміновану та нелінійну структуру, складаються з великої кількості складових елементів, є семантично насиченими і містять різномірні області, в яких внутрішні класові середньоквадратичні відхилення характеристик частіше порівняні з розкидом між класами [3]. Складноструктуровані зображення мають такі особливості [3]:

- наявність великої кількості різномірних об'єктів;
- об'єкти на зображенні відносяться до різних структурно-просторових елементів;
- кожному виду об'єкта притаманні власні значимі характеристики, що необхідно враховувати;
- об'єкти є морфологічно складними структурами;
- об'єкти є компактними та малококонтрастними у порівнянні з фоном.

Наведені особливості зображень висувають такі вимоги до методів, методик та інформаційних технологій їх сегментування, а саме:

- висока швидкодія при обробці великих масивів даних;
- можливість сумісного використання спектральних та текстурних ознак.

Відомо [4 – 7], що в теперішній час не існує загальної теорії оптимального представлення та обробки зображень. Вибір конкретної технології обробки зображень залежить від задач, що вирішуються, та вимог, що висуваються до результату обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [1, 2], що характерною рисою тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження є пошук раціональних рішень в багатомірному просторі альтернатив. В таких умовах застосування класичних методів пошуку екстремуму цільової функції стає малоефективним. У теперішній час розвиваються методи пошуку глобального екстремуму, що забезпечують збіжність до точного рішення оптимізаційної задачі, що забезпечує оптимальне (мінімальне або максимальне) значення цільової функції [8 – 11]. До таких методів відносяться метаевристичні методи оптимізації, які, на відміну від класичних методів оптимізації, можуть використовуватися в умовах повної відсутності інформації щодо характеру та властивостей цільової функції [8 – 11]. Метаевристичні методи мають наступні властивості [8 – 11]:

- керування процесом пошуку оптимального рішення;
- ефективне дослідження простору пошуку для знаходження оптимального рішення;
- використання простих процедур локального пошуку та складних процесів навчання;

– є наближеними методами та, як правило, недетермінованими;
 – враховують можливість попадання в пастку в обмеженому просторі пошуку;
 – є універсальними (вирішують різні прикладні задачі);
 – використовують апріорну інформацію для знаходження оптимального рішення.

Виділяють чотири основні групи метаевристичних методів оптимізації: еволюційні методи; ройові методи; методи, що імітують фізичні процеси; мултистартові методи [8 – 11]. До еволюційних методів відносяться: генетичні методи; методи, що імітують імунні системи організмів; методи розсіювання; еволюційної стратегії перетворення кореляційної матриці; метод динамічних сіток; методи диференційної еволюції та інші. До ройових методів відносяться: метод поведінки частинок у зграї; мурашиний метод; метод штучної бджолоїної колонії; метод, що імітує поведінку зграї риб та інші.

Мета статті – розробити інформаційну технологію тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Інформаційну технологію тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження будемо розглядати у вигляді деякої сукупності функцій, які певним чином пов'язані одна з одною і реалізують прийоми, способи і методи, що забезпечують отримання, зберігання, обробку, передачу та використання оптико-електронних зображень (ОЕЗ). Для візуалізації та подальшого формального представлення структури і складу інформаційної технології тематичного сегментування зображень (intelligent information technology for the thematic segmentation of images (ІТТТСІ)) бортових систем оптико-електронного спостереження будемо використовувати методологію системного моделювання IDEF0 (ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) Definition) [12].

У загальному випадку методологія IDEF0 використовується для створення функціональної моделі, що відображає структуру та функції системи, а також потоки інформації і матеріальних об'єктів, що зв'язують ці функції. Методологія IDEF0 заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT (Structured Analysis & Design Technique). Основу методології IDEF0 складає стандартизована графічна мова опису (моделювання) систем [12]. У відповідності до синтаксису та семантики IDEF0 формально представимо технологію ІТТТСІ у вигляді:

– кортежу $T^{ІТТТСІ}$ – вираз (1);

– множини $D_l^{ІТТТСІ}$ – вираз (2);

– множини $\{L_j^l\}$ – вираз (3):

$$T^{ІТТТСІ} = \langle In^{ІТТТСІ}, \{D_l^{ІТТТСІ}\} \rangle, \quad (1)$$

$$D_l^{ІТТТСІ} = \left\{ \{F_i^l\}, \{L_j^l\} \right\}, \quad (2)$$

$$L_j^l = \left\{ \{V_j^l\}, \{C_s^l\}, \{I_m^l\}, \{O_n^l\}, \{M_r^l\} \right\}, \quad (3)$$

де $In^{ІТТТСІ}$ – формулювання поставленої цілі, в даному випадку це розробка системи пов'язаних функцій, що реалізують прийоми, способи та методи збору, зберігання, обробки, передачі та використання знань (даних) щодо тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, як інформаційної технології;

$\{D_l^{ІТТТСІ}\}$ – множина рівнів деталізації пред-

ставлення інформаційної технології ІТТТСІ; $l=0, \dots, 3$, де при $l=0$ формується контекстна діаграма (модель) верхнього рівня, при $l=1$ – верхня дочірня діаграма, при $l=2, l=3$ – дочірні діаграми;

$\{F_i^l\}$ – множина функцій, що реалізують при-

йоми, способи та методи роботи зі знаннями (даними) на $\{D_l^{ІТТТСІ}\}$ рівні деталізації представлення

інформаційної технології ІТТТСІ. У якості функцій при $l=0$ розглядається (в термінології IDEF0) узагальнена "діяльність" (функція-діяльність) з ІТТТСІ. У якості функцій при $l=1$ розглядаються основні "процеси" (функції-процеси) роботи зі знаннями (даними) в ІТТТСІ, що реалізуються в ІТТТСІ. У якості функцій при $l=2$ розглядаються "підпроцеси" (функції-підпроцеси) роботи зі знаннями (даними) в рамках відповідного "процесу" на етапах розробки та експлуатації підсистеми тематичного сегментування оптико-електронних зображень. У якості функцій при $l=3$ розглядаються "операції" (функції-операції) роботи зі знаннями (даними) в ході розробки та експлуатації підсистеми тематичного сегментування в рамках відповідного "процесу" на етапах розробки та експлуатації підсистеми тематичного сегментування оптико-електронних зображень;

$\{L_j^l\}$ – множина внутрішніх та граничних вза-

ємодій елементів системи;

$\{V_j^l\} \subseteq \{L_j^l\}$ – множина внутрішніх взаємодій

між функціями з множини $\{F_i^l\}$;

$\{C_s^l\} \subseteq \{L_j^l\}$ – множина керуючих граничних

взаємодій програмних та технічних засобів, що реалізують інформаційну технологію ІТТТСІ;

$\{I_m^l\} \subseteq \{L_j^l\}$ – множина вхідних керуючих гра-

ничних взаємодій, що відображають дані (інформацію, знання), які перетворюються функцією;

$\{O_n^l\} \subseteq \{L_j^l\}$ – множина вихідних керуючих

граничних взаємодій, що відображають дані (знання) про об'єкти, що виробляються функцією;

$\{M_r^l\} \subseteq \{L_j^l\}$ – множина граничних взаємодій,

що відображають математичний апарат, що використовується для формалізації знань щодо тематичного сегментування зображень.

На рис. 1 представлена контекстна діаграма верхнього рівня, що описує область та границі представлення технології ІТТТСІ у відповідності з (4):

$$D_0^{ИТТТСІ} = \left\{ \{F_1^0\}, \{C_1^0, I_1^0, O_1^0, O_2^0, M_1^0\} \right\}. \quad (4)$$

На рис. 2 наведена верхня дочірня діаграма, що описує функції-процеси інформаційної технології ІТТТСІ у відповідності з (5) ($t = 1, 2, \dots, 7$):

$$D_1^{ИТТТСІ} = \left\{ \{F_i^1\}, \{C_1^0, I_1^0, O_1^0, O_2^0, M_1^0, \{V_t^1\}\} \right\}, \quad (5)$$

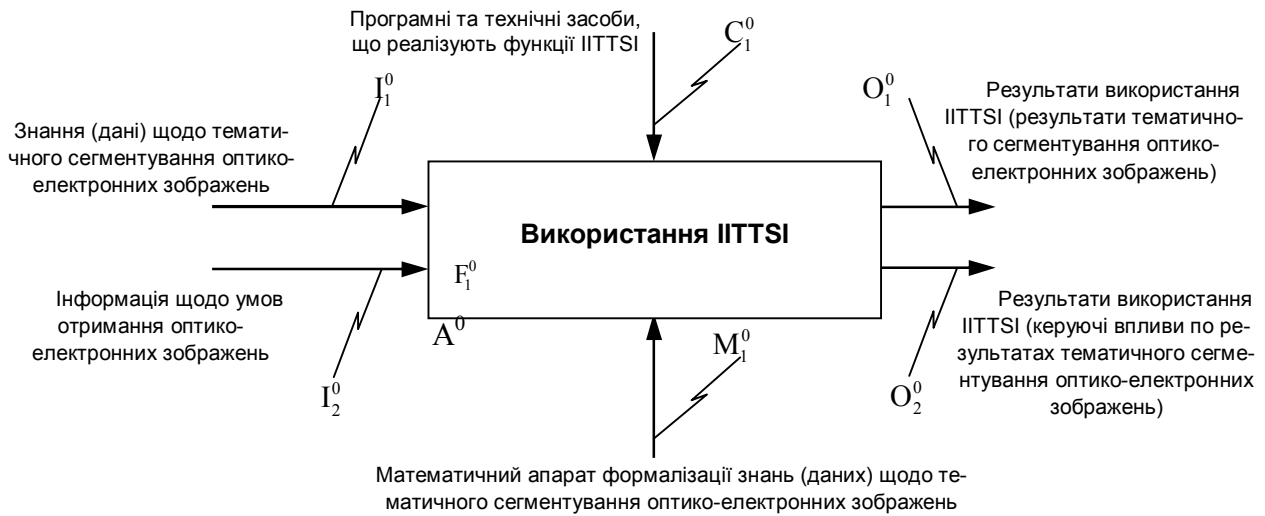


Рис. 1. Контекстна діаграма верхнього рівня, що описує область та границі представлення інформаційної технології ІТТТСІ

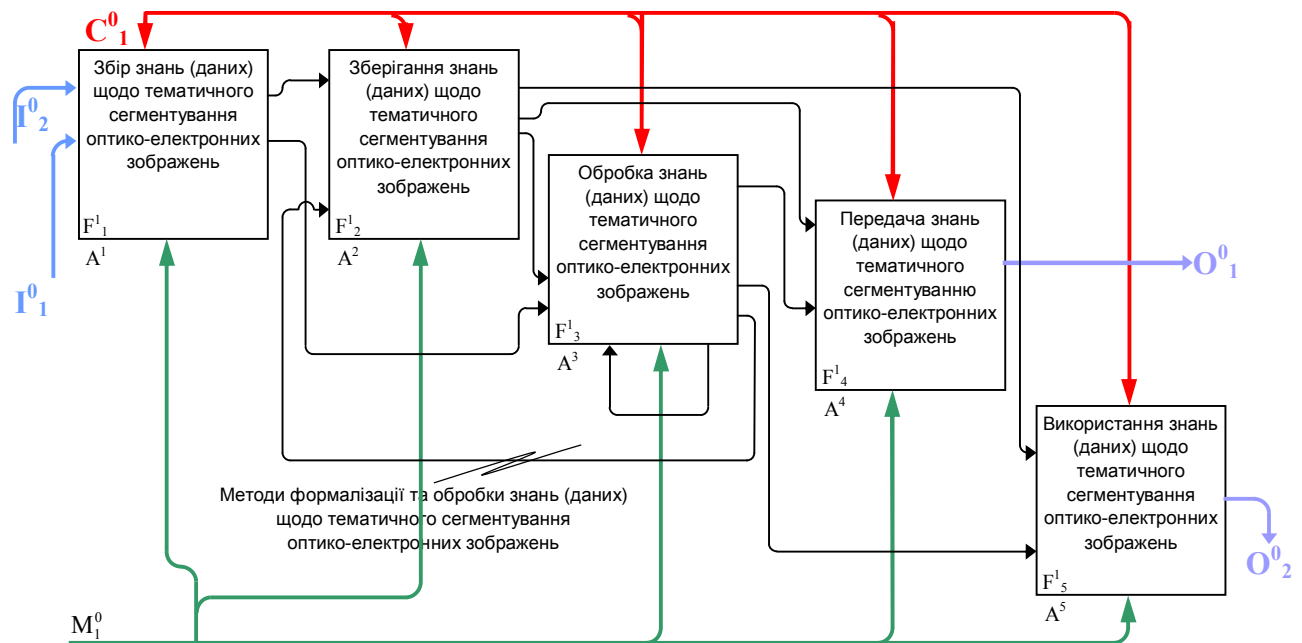


Рис. 2. Верхня дочірня діаграма, що описує функції-процеси інформаційної технології ІТТТСІ

У якості функцій з множини $\{F_i^1\}$ верхньої дочірньої діаграми рівня $D_1^{ИТТТСІ}$, що створюється при декомпозиції діаграми рівня $D_0^{ИТТТСІ}$, розглядаються функції процеси, що реалізують прийоми, способи та методи:

- збору знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень $F_1^1 \in \{F_i^1\}$;
- $F_2^1 \in \{F_i^1\}$, $F_3^1 \in \{F_i^1\}$, $F_4^1 \in \{F_i^1\}$, $F_5^1 \in \{F_i^1\}$ –

зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ; обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень; передачі знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ; використання знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ відповідно.

Розглянемо коротко основні функції-процеси інформаційної технології ІТТТСІ.

Функція-процес збору знань (даних) щодо тематичного сегментування ОЕЗ $F_1^1 \in \{F_i^1\}$ реалізується шляхом виконання таких функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{11}^2 \in F_1^1$ збору знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень, що реалізується при розробці програмно-апаратного комплексу (ПАК) тематичного сегментування ОЕЗ;

– функція-підпроцес збору $F_{12}^2 \in F_1^1$ знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень, що реалізується в ході експлуатації ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень.

В ході реалізації функції-підпроцеса F_{11}^2 визначається склад знань (даних) (в тому числі, з точки зору виділення декларативних та процедурних знань) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень.

В ході реалізації функції-підпроцеса F_{12}^2 виконується, при необхідності, корегування складу існуючих знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень, а також безпосередньо здійснюється прийом даних (фактів) на поточний момент часу від зовнішніх джерел інформації (наприклад, щодо району спостереження, фоно-об'єктові цільової обстановки тощо).

Функція-процес зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень $F_2^1 \in \{F_i^1\}$ реалізується шляхом виконання наступних функцій-підпроцесів:

– функція-підпроцес $F_{21}^2 \in F_2^1$ розробки бази знань (даних), що реалізується при розробці ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень;

– функція-підпроцес $F_{22}^2 \in F_2^1$ реалізації процесу безпосереднього зберігання знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень, що реалізується при експлуатації ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень.

Функція-підпроцес F_{21}^2 реалізується шляхом виконання наступних функцій-операцій:

– розроблюється архітектура ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень, що визначає структуру, функції та взаємозв'язок компонентів ПАК;

– визначається склад технічних засобів для реалізації компонентів ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень;

– визначається склад програмних засобів для реалізації компонентів ПАК тематичного сегментування ОЕЗ (операційна система, мова програмування, інструментальні засоби (CASE-засоби (Computer-Aided Software Engineering)) тощо);

– виконується програмна реалізація компонентів ПАК тематичного сегментування ОЕЗ на основі обраних технічних та програмних засобів реалізації;

– здійснюється наповнення бази правил ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень.

В ході реалізації функції-підпроцеса F_{22}^2 виконується зберігання в базі правил ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень введених або скорегованих на попередньому етапі правил, зберігання в базі фактів ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень даних щодо умов ведення спостереження, фоно-об'єктові обстановки та результатів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень.

Функція-процес обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень $F_3^1 \in \{F_i^1\}$ реалізується шляхом виконання наступних функцій-підпроцесів (рис. 3):

– функція-підпроцес $F_{31}^2 \in F_3^1$ розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень (реалізується на етапі створення ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень);

– функція-підпроцес $F_{32}^2 \in F_3^1$ реалізації процесу безпосередньої автоматизованої обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень в ході експлуатації ПАК тематичного сегментування оптико-електронних зображень.

Функція-підпроцес F_{31}^2 реалізується шляхом виконання наступних функцій-операцій (рис. 4):

– проводиться постановка завдань по формалізації процесу обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень;

– визначаються способи представлення знань (даних) (обґрунтовується вибір математичного апарату (моделі представлення знань (даних))) щодо тематичного сегментування ОЕЗ;

– проводиться формальне представлення процесів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень, а саме:

а) метод тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження;

б) метод обробки багатомасштабної послідовності зображень бортових систем оптико-електронного спостереження.

Висновки і напрямки подальших досліджень

В роботі розроблена прикладна інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження, в якій, на відміну від відомих, використовується методологія системного моделювання IDEF0, що заснована на методі структурного аналізу та проектування SADT. В подальших дослідженнях необхідно детально розглянути структуру алгоритму, що реалізує функцію-підпроцес F_{31}^2 та відповідні функції-оператори прикладної інформаційної технології тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження.

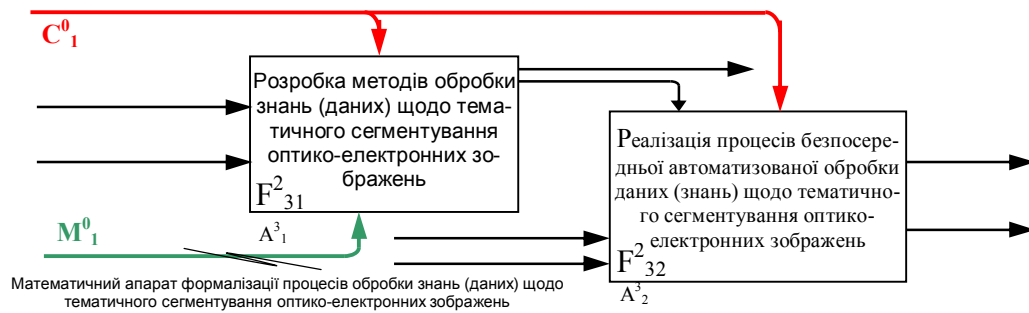


Рис. 3. Дочірня діаграма, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ІТТТСІ для реалізації функції-процесу обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень

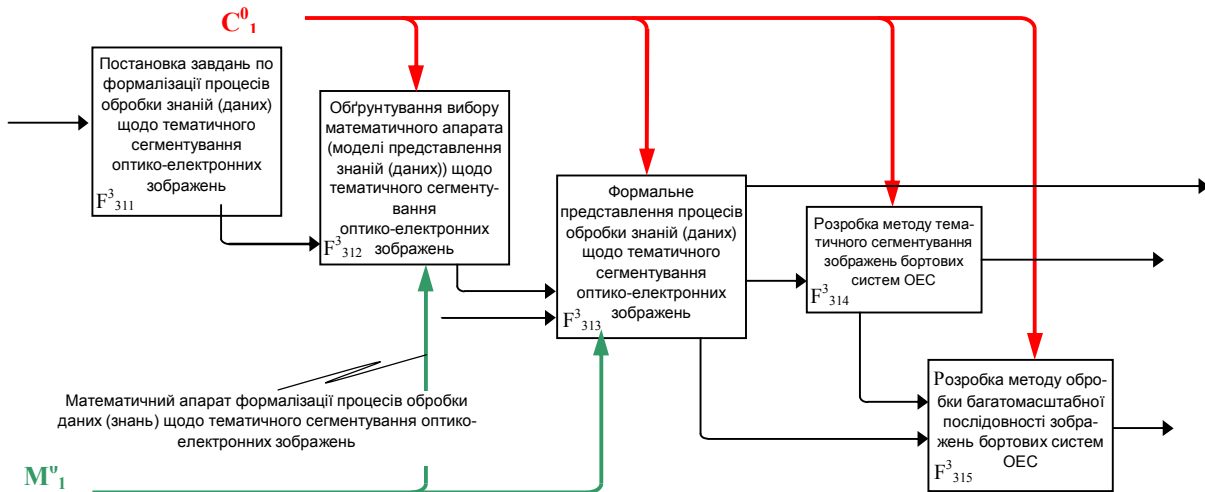


Рис. 4. Дочірня діаграма, що описує функції-підпроцеси інформаційної технології ІТТТСІ для реалізації функції-підпроцесу розробки методів обробки знань (даних) щодо тематичного сегментування оптико-електронних зображень

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гук А. П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов / А. П. Гук // Известия высших учебных заведений. — 2015. — № 65. — С. 166-169.
2. Кобзева Е. А. Автоматизация дешифрирования спутниковых снимков: опыт и проблемы / Е. А. Кобзева, К. А. Поздина // Геодезия и картография. — 2008. — Т. 6. — С. 40-44.
3. Sarmah S. A grid-density based technique for finding clusters in satellite image / S. Sarmah, D.K. Bhattacharyya // Pattern Recognition Letters. — 2012. — Vol. 33. — No. 5. — P. 589-604.
4. Wang Y. S. A New Image Threshold Segmentation based on Fuzzy Entropy and Improved Intelligent Optimization Algorithm / Y. S. Wang, // Journal of Multimedia. — 2014. — Vol. 9, № 4. — P. 499-505.
5. Zhu S. J. Rival Penalized Image Segmentation [Text] / S. J. Zhu, J. Y. Zhao, L. J. Guo // Journal of Multimedia. — 2014. — Vol. 9, № 5. — P. 736-745.
6. Farouque M. Y. Latest trends on image segmentation schemes / M. Y. Farouque, M. S. Raean // International journal of advanced research in computer science and software engineering. — 2014. — Vol. 4, № 10. — P. 792-795.
7. Choudhary R. Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey / R. Choudhary, R. Gupta // International journal of advanced research in computer science and software engineering. — 2017. — Vol. 7, № 4. — P. 106-112.
8. Суботін С. О. Нейтеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / С. О. Суботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с.
9. Ayman El-Baz. Biomedical image segmentation: advances and trends / El-Baz Ayman, X. Jiang, J. S. Suru. — US: CRC Press, 2016. — 546 p.
10. Пантелеев А. В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума / А. В. Пантелеев. — М.: МАИ, 2009. — 160 с.
11. Пантелеев А. В. Методы глобальной оптимизации: метаэвристические стратегии и алгоритмы / А. В. Пантелеев, Д. В. Метлицкая, Е. А. Алешина. — М.: Вузовская книга, 2013. — 244 с.
12. Дэвид М.А. Методология структурного анализа и проектирования SADT / М.А.Дэвид, М.Г.Клемент. — М.:Мир, 1993. — 240 с.

REFERENCES

1. Guk, A. P. (2015), Automation of image interpretation. Theoretical Aspects of Statistical Pattern Recognition, *News of Higher Educational Institutions*, pp. 166-169.
2. Kobzeva, E. A. and Pozdina, K. A. (2008), Automating the interpretation of satellite images: experience and problems, *Geodesia and cartography*, Vol. 6, pp. 40-44.

3. Sarmah, S. and Bhattacharyya, D.K. (2012), "A grid-density based technique for finding clusters in satellite image", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 33, No. 5, pp. 589-604.
4. Wang, Y.S. (2014), "A New Image Threshold Segmentation based on Fuzzy Entropy and Improved Intelligent Optimization Algorithm", *Journal of Multimedia*, Vol. 9, No. 4, pp. 499-505.
5. Zhu, S.J. Zhao, J.Y. and Guo, L.J. (2014), "Rival Penalized Image Segmentation", *Journal of Multimedia*, Vol. 9, No. 5, pp. 736-745.
6. Farouque, M.Y. and Raen, M.S. (2014), "Latest trends on image segmentation schemes", *International journal of advanced research in computer science and software engineering*, Vol. 4, No. 10, pp. 792-795.
7. Choudhary, R. and Gupta, R. (2017), "Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey", *International journal of advanced research in computer science and software engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 106–112.
8. Subotin, S.O., Oliynik, A.O. and Oliynik, O.O. (2009), *Non-interactive, evolutive and multi-agent methods for the synthesis of non-iterative and neuromeregeal models*, ZNTU, Zaporizhzhya, 375 p.
9. Ayman, El-Baz, Jiang, X. and Suru, J.S. (2016), *Biomedical image segmentation: advances and trends*, CRC Press, US, 2, 546 p.
10. Pantelev, A.V. (2009), *Metaheuristic Algorithms for Searching Global Extremum*, MAI, Moscow, 160 p.
11. Pantelev, A.V. Metlitskaya, D. V. and Aleshina E. A. (2013), *Global Optimization Methods: Metaheuristic Strategies and Algorithms*, University Book, Moscow, 244 p.
12. David, M.A. and Clement M.G. (1993), *SADT Structural Analysis and Design Methodology*, Mir, Moscow, 240 p.

Received (Надійшла) 27.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.10.2018

Информационная технология тематической сегментации изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения с использованием методологии системного моделирования IDEF0

В. Г. Худов

Предметом изучения в статье является информационная технология тематической сегментации изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения. **Целью** является разработка информационной технологии тематической сегментации изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения с использованием методологии системного моделирования IDEF0. **Задачи:** анализ особенностей изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения, формулировка требований к методам, методикам и информационным технологиям сегментирования оптико-электронных изображений, анализ метаэвристических методов решения оптимизационных задач, разработка информационной технологии тематического сегментирования изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, роевого интеллекта, кластеризации данных, эволюционных вычислений, методы оптимизации, математического моделирования и цифровой обработки изображений, аналитические и эмпирические методы сравнительного исследования. Получены следующие **результаты**. Установлено, что методология IDEF0 основана на методе структурного анализа и проектирования SADT. В соответствии с синтаксисом и семантикой IDEF0 информационная технология тематического сегментирования оптико-электронных изображений бортовых систем наблюдения может быть представлена в виде: кортежа, верхней дочерней диаграммы, дочерних диаграмм. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: разработана прикладная информационная технология сегментации изображений бортовых систем оптико-электронного наблюдения, в которой, в отличие от известных, используется методология системного моделирования IDEF0, которая основана на методе структурного анализа и проектирования SADT.

Ключевые слова: бортовая система наблюдения; оптико-электронное изображение; тематическая сегментация; информационная технология; методология системного моделирования; метод структурного анализа и проектирования.

Onboard optical-electronic observation systems images thematic segmentation information technology using system modeling IDEF0

V. Khudov

The **subject matter** of the article is the information technology of thematic segmentation of images of onboard optical-electronic surveillance systems. The **goal** is the development of information technology for thematic image segmentation of onboard optical-electronic surveillance systems using the system modeling methodology IDEF0. The **tasks** are: onboard systems of optical-electronic observation images features analysis, requirements for methods formulation, techniques and information technologies of segmentation of optical-electronic images, meta-heuristic methods for solving optimization problems analysis, development of information technology of onboard systems of optical-electronic monitoring images thematic segmentation. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, swarm intelligence, data clustering, evolutionary computing, optimization methods, mathematical modeling and digital image processing, analytical and empirical methods of comparative research. The following results were obtained. It has been established that the IDEF0 methodology is based on the SADT structural analysis and design method. In accordance with the syntax and semantics of IDEF0, the information technology of thematic segmentation of optical-electronic images of onboard surveillance systems can be presented in the form of: a tuple, an upper child diagram, and child diagrams. **Conclusions.** The scientific novelty of the results were obtained as follows: an applied information technology has been developed for image segmentation of on-board optical-electronic observation systems, in which, unlike the known ones, the system modeling methodology IDEF0 is used, which is based on the SADT structural analysis and design method.

Keywords: onboard surveillance system; optical-electronic image; thematic segmentation; information technology; system modeling methodology; structured analysis & design technique.

Information systems research

UDC 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.12

R. Zhyvotovskiy¹, O. Momit²¹ Central research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine² Military unit A 2393, Odessa, Ukraine

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF NON-ORTHOGONAL METHODS OF SIGNAL PROCESSING IN MIMO SYSTEMS

Conflicts of the last decades (the Chechen war (Russian Federation), armed confrontation in the countries of the Middle East and North Africa, anti-terrorist operation in the territory of Donetsk and Lugansk regions (Operation of the United Nations)) go beyond the existing (traditional) forms and methods of warfare, conducted on the background of information and psychological operations and the active using of electronic emitters. One of the directions of increasing the noise immunity of radio communication devices is using of multi-antenna radio communication systems. They are complex technical systems. There are many approaches to increasing the impedance of multi-antenna systems, but the authors of this article limited themselves to considering only the methods of signal processing, namely, non-orthogonal spatial-temporal codes. During the research, the authors used the basic provisions of the theory of communication, the theory of antennas, the theory of noise protection and signal-code structures. In the course of the research, it was found that non-orthogonal methods of spatial-temporal signal processing have more spectral efficiency than orthogonal ones, with an equal number of transmitting antennas, but they lose in energy efficiency the orthogonal methods of space-time signal processing. Using of non-orthogonal codes leads to the increasing the number of computational operations in the receiver of the radio communication device. All this results in further research on the development of the spatial-temporal signal coding method in multi-antenna radio-communication systems with high energy and spectral efficiency, and it is necessary, that the proposed method has an acceptable computational complexity.

Keywords: signal-interfering environment; information transfer speed; bit error probability; spatial-temporal processing; MIMO system; parallel channels.

Introduction

Conflicts of the last decades (the Chechen war (Russian Federation), armed confrontation in the countries of the Middle East and North Africa, anti-terrorist operation in the territory of Donetsk and Lugansk regions (Operation of the United Nations)) go beyond the existing (traditional) forms and methods of warfare, conducted on the background of information and psychological operations and the active use of electronic emitters. Therefore, the provision of sustainable communication is one of the priority directions of scientific research. One of the directions to increase the noise immunity of radio communication devices is using of the multi-antenna radio communication systems. MIMO (Multiple Input Multiple Output) technologies have been found to be practical in many modern telecommunication systems, in particular, wireless LANs of the IEEE 802.11n standard, as well as WIMAX and LTE mobile wireless networks, and others [1-5].

The essence of MIMO technology is similar to the method of spaced reception, when several uncorrelated copies of the signal created on the receiving side due to the diversity of antennas in space, in polarization, in the distribution of signals at the frequency or in time. Spatial multiplexing was implemented in MIMO radio systems: the data stream on the transmission was split into two or more sub-streams, each of which was transmitted and received using various antennas [1-6, 10-12].

The transmission of signals in the MIMO system results in inter-symbol interference (ISI) on the receiving side and may cause errors in the receiver output. In order to compensate for these distortions, channel alignment or evaluation of its impulse response

must be performed, which will allow the most faithfully recovered symbols.

The authors of this article in the previous research have established [13] that it is most expedient to use non-orthogonal processing methods to increase the frequency effectiveness of multi-antenna systems.

The purpose of this article is to analyze the properties of non-orthogonal methods of signal processing in the MIMO system.

Presentation of main material research

Let's formalize the work of the MIMO system. In general, the structure of the MIMO system has in its composition M_t transmitters (transmit antennas) and M_r receivers (receiving antennas) (Fig. 1). Transmitted signals after the influence of the relay fading and white Gaussian noise (WGN) in the radio channel, arrive at the M_r receiving tracks [1-10].

Consider the MIMO system $M_t \times M_r$, depicted in Fig. 1. High-speed data flow was divided into M_t independent sequences at $1/M_t$, which was then transmitted simultaneously from several antennas, respectively, using only $1/M_t$ of their primary band.

The data flow converter at the transmitter end of the communication line converts the serial stream into parallel, and at the receiving terminal, it performs the inverse transformation.

In such a system, signals on the transmitting side were emitted simultaneously and in the same band of frequencies through the M_t transmit antennas. The transmitted signals, after the effect of the fading of the signal and the additive white Gaussian noise, arrive in the M_r of the receiving paths. Each additive tract receives an additive mixture of transmitted signals.

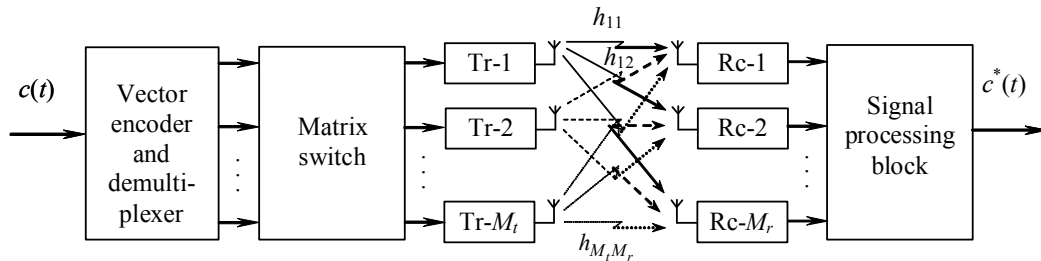


Fig. 1. The block diagram of the MIMO system

You can increase the bandwidth of communication channels by using non-orthogonal spatial-temporal codes.

The symbolic speed with non-orthogonal encoding can reach values corresponding to the number of transmitting antennas M_t , that is K_t , time intervals can be transmitted from a block $L_b = K_t \cdot M$ of information symbols.

This condition corresponds to the coding scheme V-BLAST (Vertical Bell Labs Layered Space Time). For the V-BLAST, the following generating matrix is used

$$(a_i) \tag{1}$$

where a_i - information symbols.

For the WiMax systems with two transmitting antennas of the IEEE 802.16e standard, that is recommended not to orthogonal code, the so-called code "C", the symbolic speed of which also coincides with the number of transmitting antennas:

$$\frac{1}{\sqrt{1+r^2}} \begin{bmatrix} \alpha_1 + jr\alpha_4 & r\alpha_2 + \alpha_3 \\ \alpha_2 - r\alpha_3 & jr\alpha_1 + \alpha_4 \end{bmatrix}, \tag{2}$$

where $r = (\sqrt{5} - 1)/2$.

Fig. 2 shows the maximum likelihood demodulation characteristics for systems with 4 transmitting and receiving antennas using the V-BLAST code and the "C" code in the case of QAM-16 (Quadrature Amplitude Modulation).

Code "C" allows better protection of the system than the V-BLAST code. At the same time, the cost of increasing energy efficiency is the complication of the signal processing procedure on the receiving side.

Another example of a non-orthogonal code is the double-code of Alamouti, which generates a matrix, which can be represented as

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & -\alpha_2' \\ \alpha_2 & \alpha_1' \\ \alpha_3 & -\alpha_4' \\ \alpha_4 & \alpha_3 \end{bmatrix}. \tag{3}$$

The specified pair consists of two blocks, each of which is a matrix of Alamouti for two pairs of information symbols α_1, α_2 and α_3, α_4 . The specified code is used in systems with 4 transmitting antennas.

Fig. 3 shows the maximum likelihood demodulation characteristics for systems with 4 transmitting and 4 receiving antennas using V-BLAST and the Alamouti dual code while using QAM-16.

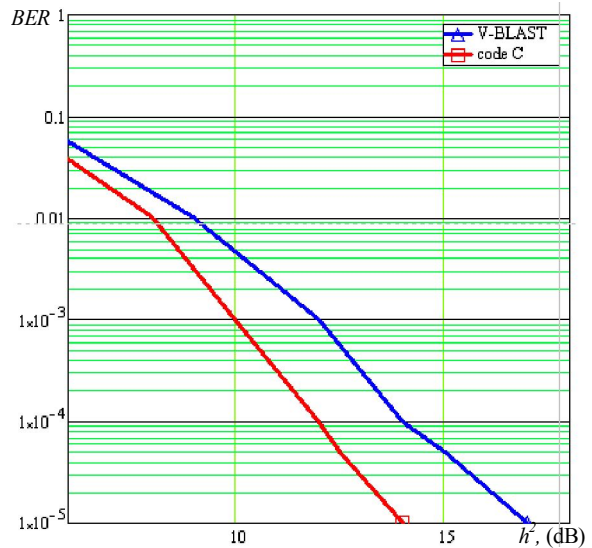


Fig. 2. Dependence on the probability of a bit error from the signal/noise ratio for the BLAST code and the "C"

From the above graph, it can be seen, that demodulation of the code V-BLAST with a symbolic rate of 4 requires a signal-to-noise ratio of more than 5 dB while demodulating the double code of Alamouti. Increasing the spectral efficiency in the MIMO system was achieved by using the spatial-temporal code with a higher symbolic speed for a given number of transmitting and receiving antennas leads to the increase in the energy efficiency of the MIMO system.

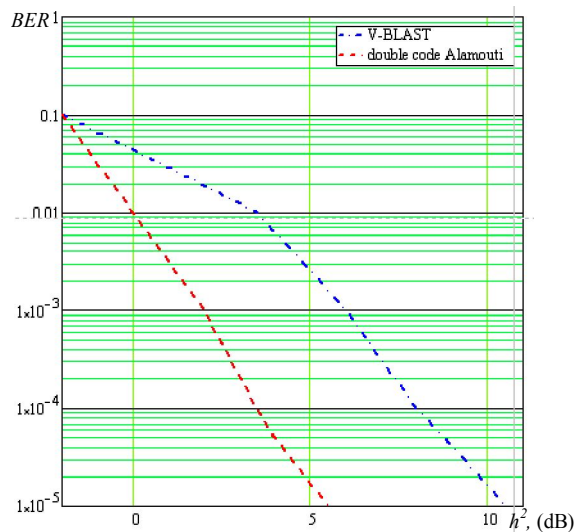


Fig. 3. Dependence on the probability of false reception from the signal/noise ratio for the double code of Alamouti and V-BLAST

In the case of orthogonal spatial-temporal codes, the procedure for calculating the transmitted symbols that are optimal for the criterion of maximum likelihood with linear computational complexity, that is, the number of arithmetic operations is directly proportional to the number of transmit antennas, is implemented on the receiving side. In non-orthogonal coding, the maximum likelihood algorithm is complicated.

In general, the process of demodulation in systems with spatial-temporal coding mathematically reduces to the solution of the equation

$$\mathbf{Z} = \mathbf{H}\mathbf{A} + \mathbf{B}, \tag{4}$$

where \mathbf{Z} is the vector, each component of which z_i , $i = \overline{1, V}$ is the countdown of the complex output at the i -th input of the demodulator STC; \mathbf{A} is the vector, whose component is a_j , $j = \overline{1, S}$ is a complex information symbol belonging to the set $\{a^{(1)}, \dots, a^{(K)}\}$ is transmitted, \mathbf{K} is the multiplicity of quadrature amplitude modulation, QAM (Quadrature Amplitude Modulation); \mathbf{H} is a matrix, each element of which h_{ij} is a complex transmission coefficient of the path of propagation of the signal emitted by the j -th antenna and taken by the i -th antenna; \mathbf{B} is a vector, every component of which b_i is counting the complex Gaussian noise at the i -th input of the STC demodulator, having a zero mean and a dispersion of $2\sigma^2$.

However, in the expression (4) is a random component in the form of Gaussian noise, then traditional methods for solving linear equations can lead to errors.

Different methods can be used to compute estimates of transmitted symbols: Zero Forcing, Successive Interference Cancellation (SIC), Maximum Likelihood Method (MLM), and Spherical Method Decoding (SMD) and so on.

Consider the spatial-temporal codes, that is used in the standards of wireless communication.

In IEEE 802.16, IEEE 802.11 standards governing the radio interface for broadband radio access systems, it is recommended to use orthogonal and non-orthogonal spatial-temporal codes.

Tables 1 and 2 show the basic codes of spatial and temporal signal processing for broadband radio access systems.

As it can be seen from tables 1 and 2, most spatial-temporal codes are non-orthogonal.

Conclusions

In this article, the authors analyzed the parameters of non-orthogonal spatial-temporal codes, that are used for signal processing in MIMO systems.

Thus, having conducted a comparative analysis of orthogonal and non-orthogonal codes, it should be noted, that the cost of increasing spectral efficiency in systems with non-orthogonal spatial-temporal coding is

Table 1 – IEEE 802.16 spatial-temporal codes

Formation matrix	Number of antennas	Code speed	Code class
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & -\alpha'_2 \\ \alpha_2 & \alpha'_1 \end{vmatrix}$	2	1	Orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{vmatrix}$	2	2	Non-orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{vmatrix}$	3	3	Non-orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & -\alpha'_2 & 0 & 0 \\ \alpha_2 & \alpha'_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 & -\alpha'_4 \\ 0 & 0 & \alpha_4 & \alpha'_3 \end{vmatrix}$	4	1	Orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & -\alpha'_2 & \alpha_5 & -\alpha'_7 \\ \alpha_2 & \alpha'_1 & \alpha_6 & -\alpha'_8 \\ \alpha_3 & -\alpha'_4 & \alpha_7 & \alpha'_5 \\ \alpha_4 & \alpha'_3 & \alpha_8 & \alpha'_6 \end{vmatrix}$	4	2	Non-orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{vmatrix}$	4	4	Non-orthogonal

Table 2 – IEEE 802.11 spatial-temporal codes

Formation matrix	Number of antennas	Code speed	Code class
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ -\alpha'_2 & \alpha'_1 \end{vmatrix}$	2	1	Orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ -\alpha'_2 & \alpha'_1 \\ \alpha_3 & \alpha_4 \end{vmatrix}$	3	2	Non-orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ -\alpha'_2 & \alpha'_1 \\ \alpha_3 & \alpha_4 \\ -\alpha'_4 & \alpha'_3 \end{vmatrix}$	4	2	Non-orthogonal
$\begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ -\alpha'_2 & \alpha'_1 \\ \alpha_3 & \alpha_4 \\ \alpha_5 & \alpha_6 \end{vmatrix}$	4	3	Non-orthogonal

the complication of processing procedures on the receiving side, as there is no algorithm that is optimal for the criterion of maximum likelihood and with linear computational complexity.

Since non-orthogonal codes have not always provided sufficient diversity of transmitted signals, this led to the decreasing the energy efficiency of MIMO channels.

Consequently, an urgent scientific problem arises, which was solved in further studies by the authors, which consists of developing spatial-temporal signal processing methods with acceptable computational complexity and high energy and spectral efficiency.

REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No 1(5), pp. 35-40.

2. Vishnevskiy, V.M., Lyahov, A.I., Portnoy, S.L. and Shahnovich I.V (2005), *Broadband wireless communication networks*, Technosphere, Moscow, 592 p.
3. Volkov, L.N., Nemirovkiy, M.S. and Shinakov, Yu.S. (2005), *Digital radio communication systems: basic methods and characteristics: a tutorial*, Eco-Trends, Moscow, 392 p.
4. Goldsmith, A. (2011), *Wireless communications*, Technosphere, Moscow, 904 p.
5. Slusar V. (2005) "MIMO systems: principles of construction and signal processing", *Electronics: science, technology, business*, No 8, pp. 52-58.
6. Veselovskiy, K. (2006) *Mobile radio communication systems*, Hot line Telecom, Moscow, 536 p.
7. Ehab M., Shaheen and Mohamed, Samir (2013), "Jamming Impact on the Performance of MIMO Space Time Block Coding Systems over Multi-path Fading Channel", *REV Journal on Electronics and Communications*, Vol. 3, No. 1-2, pp. 68-72.
8. Slusar, V.I. (2008), "Military communications of NATO countries: problems of modern technologies", *Electronics: science, technology, business*, No. 4, pp. 66-71.
9. Bessai, H. (2005), *MIMO Signals and Systems*, Springer science and Business Media, USA, NY, 206 p.
10. Lee, J., Han, J.K. and Zhang, J. (2009), "MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-10.
11. Kuhzi, V. (2006), *Wireless Communications over MIMO Channels. Applications to CDMA and Multiple Antenna Systems*, Chichester, U.K.: John Wiley Sons, 363 p.
12. Kuvshinov, O.V. and Minochkin, D.A. (2006), "Analysis of the characteristics of radio access systems with MIMO technology", *Collection of scientific works of the Military institute of Kyiv national Taras Shevchenko university*, No. 3, MIKNU, Kyiv, pp. 51-56.
13. Zhyvotovskiy R.M. and Momit O.S (2018), "Analysis of signal processing methods in MIMO systems", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 93-96, available at: <http://dx.doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.15>.

Received (Надійшла) 14.08.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.10.2018

Аналіз властивостей неортогональних методів обробки сигналів в системах MIMO

Р. М. Животовський, О. С. Моміт

Конфлікти останніх десятиліть (Чеченська війна (Російська Федерація), збройні протистояння в країнах Близького Сходу та Північної Африки, Антитерористична операція на території Донецької та Луганської областей (Операція Об'єднаних Сил)) виходять за рамки існуючих (традиційних) форм та способів ведення бойових дій, проводяться на фоні інформаційно-психологічних операцій та активного використання засобів радіоелектронного подавлення. Одним з напрямків підвищення завадозахищеності засобів радіозв'язку є використання багатоантенних систем радіозв'язку. Вони є складними технічними системами. Існує багато підходів до підвищення завадозахищеності багатоантенних систем, проте автори зазначеної статті обмежилися розглядом лише методів обробки сигналів, а саме не ортогональних просторово-часових кодів. В ході дослідження авторами були використані базові положення теорії зв'язку, теорії антен, теорії завадозахищеності та сигнально-кодових конструкцій. В ході проведеного дослідження встановлено, що не ортогональні методи просторово-часової обробки сигналів мають більше спектральну ефективність у порівнянні з ортогональними, при рівній кількості передавальних антен, проте вони програють в енергетичній ефективності ортогональним методам просторово-часової обробки сигналів. Використання не ортогональних кодів призводить до збільшення кількості обчислювальних операцій в приймачі засобу радіозв'язку. Все це обумовлює подальше проведення досліджень з розробки методу просторово-часового кодування сигналів в багатоантенних системах радіозв'язку з високою енергетичною та спектральною ефективністю, при цьому необхідно, щоб запропонований метод мав прийнятну обчислювальну складність.

Ключові слова: сигнально-завадова обстановка; швидкість передачі інформації; ймовірність бітової помилки; просторово-часова обробка; система MIMO; паралельні канали.

Анализ свойств неортогональных методов обработки сигналов в системах MIMO

Р. Н. Животовский, А. С. Момит

Конфликты последних десятилетий (Чеченская война (Российская Федерация), вооруженные противостояния в странах Ближнего Востока и Северной Африки, Антитеррористическая операция на территории Донецкой та Луганской областей (Операция Объединенных Сил)) выходят за рамки существующих (традиционных) форм та способів ведение боевых действий, проводятся на фоне информационно-психологических операций та активного использование средств радиоэлектронного подавления. Одним из направлений повышения помехозащищенности средств радиосвязи есть использования многоантенных систем радиосвязи. Они являются сложными техническими системами. Существует много подходов к повышению помехозащищенности многоантенных систем, тем не менее авторы указанной статьи ограничились рассмотрением лишь методов обработки сигналов, а именно неортогональных пространственно-временных кодов. В ходе исследования авторами были использованные базовые положения теории связи, теории антенн, теории помеха защищенности и сигнально-кодовых конструкций. В ходе проведенного исследования установлено, что не ортогональные методы пространственно-временной обработки сигналов имеют большую спектральную эффективность в сравнении с ортогональными, при равном количестве передающих антенн, также они проигрывают в энергетической эффективности ортогональным методам пространственно-временной обработки сигналов. Использование неортогональных кодов приводит к увеличению количества вычислительных операций в приемнике средства радиосвязи. Все это обуславливает дальнейшее проведение исследований по разработке метода пространственно-временного кодирования сигналов в многоантенных системах радиосвязи с высокой энергетической и спектральной эффективности, при этом необходимо, чтобы предложенный метод имел приемлемую вычислительную сложность.

Ключевые слова: сигнально-помеховая обстановка; скорость передачи информации; вероятность битовой ошибки; пространственно-временная обработка; система MIMO, параллельные каналы.

H. Molchanov, A. Zhmaiev

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

CIRCUIT BREAKER IN SYSTEMS BASED ON MICROSERVICES ARCHITECTURE

The subject of the article is a review of Circuit Breaker pattern in systems based on microservices architecture. **The purpose** of the article is to analyze the advantages and disadvantages of Circuit Breaker for microservices. **Results.** The precise way that the circuit opening and closing occurs is as follows: assuming the volume across a circuit meets a certain threshold; and if the error percentage exceeds the threshold error percentage; then the circuit-breaker transitions from closed to open; while it is open, it short-circuits all requests made against that circuit-breaker. After some amount of time, the next single request is let through (this is the half-open state). If the request fails, the circuit-breaker returns to the open state for the duration of the sleep window. If the request succeeds, the circuit-breaker transitions to closed and the logic in 1 takes over again. **Conclusions.** Circuit Breaker has been reviewed and explained. This pattern is emerging as essential for the reliability, ease of access, and flexibility of MSAs. Since microservices is in its early development, we can expect more patterns like this to appear in the future. It is interesting that it is structural, in the sense that they do not change the operations that services offer. Being of this nature, their implementations benefit from parametricity to achieve reusability. However, their adoption also makes MSAs more complicated, and they influence the communication structures that will be enacted in a system. This suggests that methods for the programming and verification of communications among services should keep patterns such as these into account.

Keywords: microservices; Circuit Breaker; Hystrix, software; hardware.

Introduction

Systems based on microservices architecture (MSA) are becoming more and more popular in modern IT environments. Integration of different components is an integral part of any system. Almost all systems, which perform anything useful for a given business, need to be integrated with one or more third party component. But this integration also presents huge challenges with respect to the performance of the overall integrated system. With MSA, where a number of services are broken down based on the services or functionality these microservices offer, count of touch points increase. While connecting to other microservices (within the same bounded context or of some remote, external system), a lot of things can go wrong. Microservices being connected to may be slow or down. If our system is not designed to handle this scenario gracefully, it can have an adverse impact on the performance and stability.

Base material

Even the most reliable services will eventually fail, if it given with enough number of incoming requests. What makes it even more complicated is that, in MSA [6], a failing service probably has other services that depend on it. If we do not properly manage this failure event, we have a risk of a cascading failure.

The Circuit Breaker pattern [1-5] is aimed at preventing the failure of a single component to cascade beyond its boundaries, and thereby bring the entire system down with it. So, when a service becomes unresponsive, its invokers should stop waiting for it and start dealing with the fact that the failing service may be unavailable. As a result, Circuit Breakers contribute to the stability and resilience of both clients and services: clients limit their waste of resources on trying to access unresponsive services, and overloaded services are given a chance to recover by finishing some of the tasks

they are currently processing. Circuit Breaker works by wrapping calls towards a target service and monitoring their failure rates. The idea is that when the target service becomes too slow or replies too often with faults, the Circuit Breaker will trip and future invocations from the client will immediately return a fault. More specifically, the pattern can be implemented as a finite-state machine, depicted in Fig. 1.

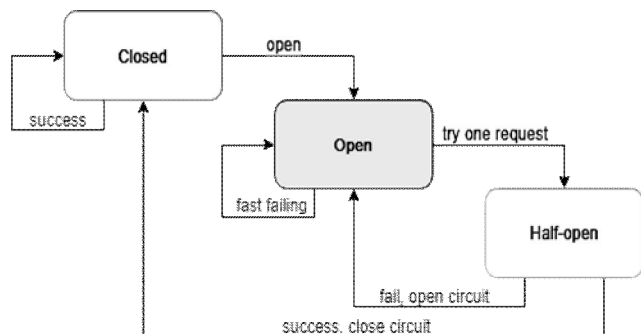


Fig. 1. Circuit Breaker State Diagram

We describe these states as the following.

Closed: Requests are passed to the target service. Faults caused by the requested operation such as exceptions or timeouts increase the Circuit Breaker's respective failure and timeout counters. When these counters exceed a specified threshold, or when another predefined criterion is met, the breaker is tripped and transitions into the open state.

Open: Requests are not passed to the target service. Instead, a failure message is immediately given to the client as reply. Potential fallback mechanisms can be called to handle the failure. The Circuit Breaker can transition to the half-open state, either by periodically pinging the service to check for when it becomes responsive again, or after a specified amount of time.

Half-Open: While in this state, a limited number of requests are allowed through to the service. If the target

service sends back successful replies, the Circuit Breaker is reset back into the closed state as well as its failure and timeout counters. However, if any of the requests fail while in the half-open state, the Circuit

Breaker transitions back into the open state. The state transitions for Circuit Breakers are generally controlled by a set of parameters, which typically includes those described in Table 1.

Table 1 – Circuit Breaker Parameters

Parameter	Description
callTimeout	timeout the client request after N seconds without a response from the server
rollingWindow	monitor errors over a rolling window of N seconds
tripTreshold	open the circuit if the error rate gets $\geq N\%$
resetTimeOut	attempt to reset the circuit after N seconds of opening the circuit

One of the most famous implementations of Circuit Breakers is provided by the Hystrix [2]. It is a library that helps you control the interactions between distributed services by adding latency tolerance and fault tolerance logic. Hystrix does this by isolating points of access between the services, stopping cascading failures across them, and providing fallback options, all of which improve your system's overall resiliency. Hystrix evolved out of resilience [11] engineering work that the Netflix API team began in 2011. In 2012, Hystrix continued to evolve and mature, and many teams within Netflix adopted it. Today tens of billions of thread-isolated, and hundreds of billions of semaphore-isolated calls are executed via Hystrix every day at Netflix. This has resulted in a dramatic improvement in uptime and resilience.

The Fig. 2 shows what happens when you make a request to a service dependency by means of Hystrix.

The first step is to construct a command object to represent the request you are making to the dependency. Pass the constructor any arguments that will be needed when the request is made.

There are four ways you can execute the command, by using one of the following four methods of your Hystrix command object (the first two are only applicable to simple Hystrix Command objects and are not available for the HystrixObservableCommand):

- execute() – blocks, then returns the single response received from the dependency (or throws an exception in case of an error):
 - queue() – returns a Future with which you can obtain the single response from the dependency
 - observe() – subscribes to the Observable that represents the response(s) from the dependency and returns an Observable that replicates that source Observable
 - toObservable() – returns an Observable that, when you subscribe to it, will execute the Hystrix command and emit its responses

If request caching is enabled for this command, and if the response to the request is available in the cache, this cached response will be immediately returned in the form of an Observable. When you execute the command [12], Hystrix checks with the circuit-breaker to see if the circuit is open.

If the circuit is open (or "tripped") then Hystrix will not execute the command but will route the flow to (8) Get the Fallback.

If the circuit is closed, then the flow proceeds to (5) to check if there is capacity available to run the command.

If the thread-pool and queue (or semaphore, if not running in a thread) that are associated with the command are full then Hystrix will not execute the com-

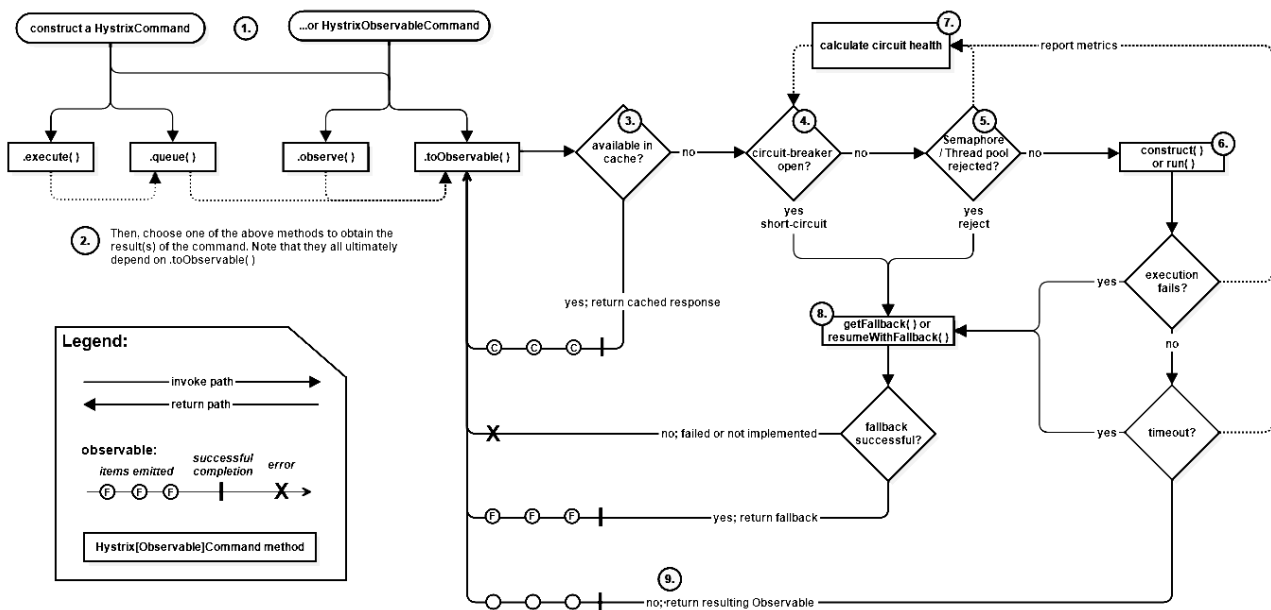


Fig. 2. Hystrix Flow chart

mand but will immediately route the flow to (8) Get the Fallback.

Hystrix reports successes, failures, rejections, and timeouts to the Circuit Breaker, which maintains a rolling set of counters that calculate statistics.

It uses these stats to determine when the circuit should "trip", at which point it short-circuits any subsequent requests until a recovery period elapses, upon which it closes the circuit again after first checking certain health checks.

Hystrix tried to revert to your fallback whenever a command execution fails: when an exception is thrown by construct() or run() (6), when the command is short-circuited because the circuit is open (4), when the

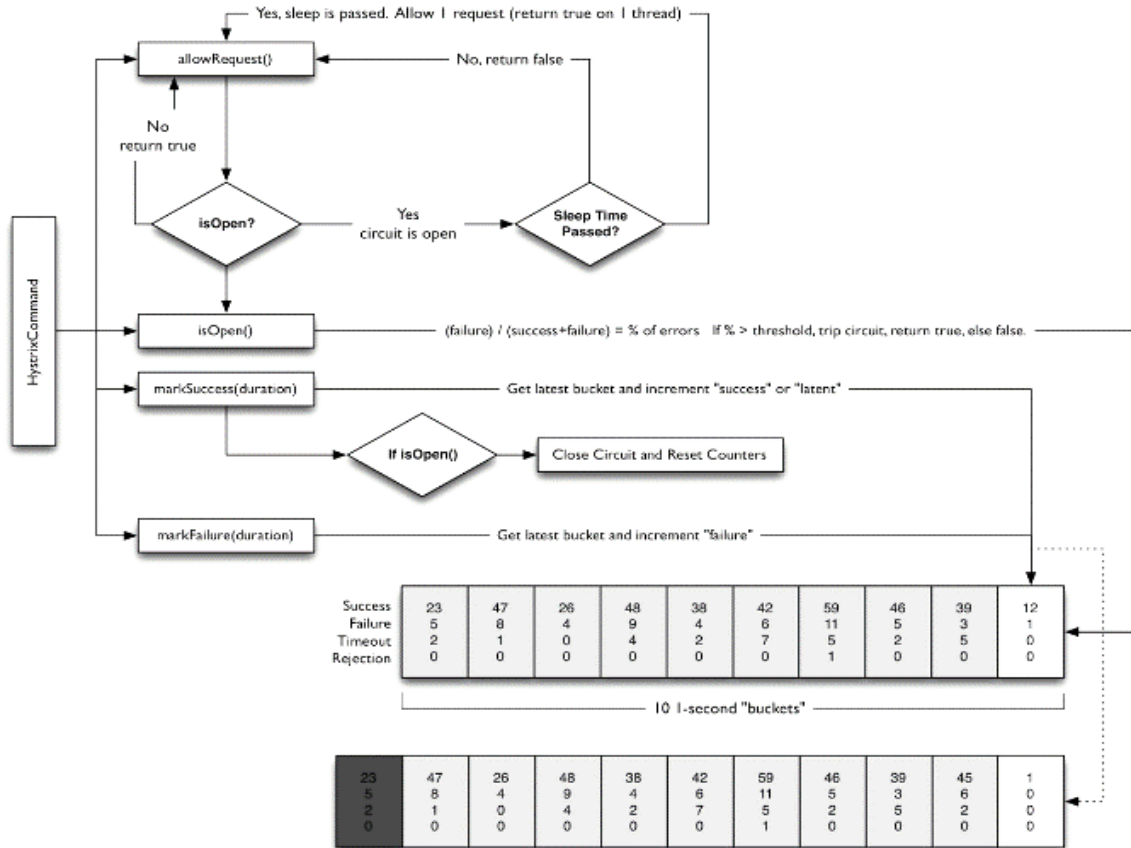
command's thread pool and queue or semaphore are at capacity (5), or when the command has exceeded its timeout length.

Write your fallback to provide a generic response, without any network dependency, from an in-memory cache or by means of other static logic.

If you must use a network call in the fallback, you should do so by means of another Hystrix command.

If the Hystrix command succeeds, it will return the response or responses to the caller in the form of an Observable.

Interaction of Hystrix commands with Hystrix Circuit Breaker and its flow of logic and decision-making is shown in the Figure 3.



On "getLatestBucket" if the 1-second window is passed a new bucket is created, the rest slid over and the oldest one dropped.

Fig. 3. Interaction with Hystrix Circuit Breaker

The precise way that the circuit opening and closing occurs is as follows:

1. Assuming the volume across a circuit meets a certain threshold
2. And if the error percentage exceeds the threshold error percentage
3. Then the circuit-breaker transitions from *closed* to *open*.
4. While it is open, it short-circuits all requests made against that circuit-breaker.
5. After some amount of time, the next single request is let through (this is the *half-open* state). If the request fails, the circuit-breaker returns to the *open* state for the duration of the sleep window. If the request succeeds, the circuit-breaker transitions to *closed* and the logic in 1 takes over again.

Conclusions

Circuit Breaker has been reviewed and explained. This pattern is emerging as essential for the reliability, ease of access, and flexibility of MSAs. Since microservices is in its early development, we can expect more patterns like this to appear in the future. It is interesting that it is structural [13], in the sense that they do not change the operations that services offer. Being of this nature, their implementations benefit from parametricity to achieve reusability. However, their adoption also makes MSAs more complicated, and they influence the communication structures that will be enacted in a system. This suggests that methods for the programming and verification of communications among services should keep patterns such as these into account.

REFERENCES

1. Lightbend. Akka's Circuit Breaker Pattern (2018), available at: <http://doc.akka.io/docs> (last accessed August 20, 2018).
2. Netflix Hystrix (2018), available at: <https://github.com/Netflix/Hystrix/wiki/How-it-Works> (last accessed August 21, 2018).
3. Martin Fowler. Circuit Breaker (2018), available at: <https://martinfowler.com/bliki/CircuitBreaker.html> (last accessed August 21, 2018).
4. Michael T. Nygard (2007), *Release It!*, 326 p., ISBN: 978-0-9787-3921-8.
5. Cloud design patterns by Microsoft (2018), available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/circuit-breaker> (last accessed August 30, 2018).
6. Sam, Newman (2015), *Building Microservices*, O'Reilly Media, Inc., 282 p.
7. Matthias, K. and Kane, S.P. (2015), *Docker: Up & Running*, O'Reilly Media, Inc., 230 p.
8. Nicola, Dragoni, Saverio, Giallorenzo, Alberto, Lluch-Lafuente, Manuel, Mazzara, Fabrizio, Montesi, Ruslan, Mustafin and Larisa, Safina (2016), *Microservices: yesterday, today, and tomorrow*. CoRR, abs/1606.04036, 322 p..
9. Fowler, M. and Lewis J. (2014), *Microservices*, ThoughtWorks, 185 p.
10. Little M. *SOA versus microservices?* (2018), available at: <http://www.infoq.com/news/2015/02/special-microservices-mark-little> (last accessed at August 21, 2018).
11. Hystrix and resilience (2018), available at: <http://callistaenterprise.se/blogg/teknik/2017/09/11/go-blog-series-part11/> (last accessed August 21, 2018).
12. Gentle introduction to Hystrix (2018), available at: <https://dzone.com/articles/gentle-introduction-to-hystrix-hello-world> (last accessed August 21, 2018).
13. Structural design patterns (2018), available at: https://sourcemaking.com/design_patterns/structural_patterns (last accessed August 21, 2018).

Received (Надійшла) 21.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2018

Circuit Breaker у системах, що базуються на мікросервісній архітектурі

Г. І. Молчанов, А. Ю. Жмаєв

Предмет статті – дослідження можливості використання паттерну Circuit Breaker у системах, що базуються на мікросервісній архітектурі. **Метою** є аналіз переваг та недоліків паттерну Circuit Breaker для мікросервісів. **Результати.** Спосіб застосування Circuit Breaker полягає в наступному: припускаємо, що гучність в ланцозі відповідає певному порозу; якщо відсоток помилок перевищує відсоток порогової помилки, то автоматичний вимикач переходить із замкнутого в розімкнутий режим. Поки він розімкнутий, він замикає всі запити, зроблені до цього автоматичного вимикача. Через деякий час наступний одиночний повторний квест пропускається (це напіввідкритий стан). Якщо запит не виконується, автоматичний вимикач вертається в розімкнутий стан на час очікування. Якщо запит виконується успішно, то автоматичний вимикач переходить в замкнутий режим. **Висновок.** Досліджена та обгрунтована можливість використання паттерну Circuit Breaker при розробці програмних комплексів з використанням мікросервісної архітектури. Цей паттерн є надзвичайно важливим для забезпечення надійності, легкості доступу та гнучкості мікросервісів, що розробляються. Важливо, що це структурний паттерн, адже він не впливає на функціональні можливості, що надають сервіси. Відповідно до своєї природи він дозволяє досягти багаторазового використання завдяки параметризації. В той же час, це робить MSA більш складною, а комунікаційні структури, які будуть введені до системи, можуть підлягати деяким змінам. Це свідчить про те, що, обираючи методи програмування та перевірки комунікацій між сервісами, на етапі дизайну рішення необхідно брати до уваги, що використовується саме такий паттерн, як Circuit Breaker.

Ключові слова: мікросервіс; Circuit Breaker; Hystrix, програмне забезпечення; апаратне забезпечення.

Circuit Breaker в системах на основі мікросервісної архітектури

Г. И. Молчанов, А. Ю. Жмаев

Предмет статьи – исследование возможности использования паттерна Circuit Breaker в системах, основанных на микросервисной архитектуре. **Целью** является анализ преимуществ и недостатков паттерна Circuit Breaker для микросервисов. **Результаты.** Способ применения Circuit Breaker заключается в следующем: предполагаем, что громкость в цепи соответствует определенному порогу; если процент ошибок превышает процент пороговой ошибки, то автоматический выключатель переходит из замкнутого в разомкнутый режим. Пока он разомкнут, он замыкает все запросы, сделанные к этому автоматическому выключателю. Через некоторое время следующий одиночный повторный квест пропускается (это полуоткрытое состояние). Если запрос не выполняется, автоматический выключатель возвращается в разомкнутое состояние на время ожидания. Если запрос выполняется успешно, то автоматический выключатель переходит в замкнутый режим. **Вывод.** Исследована и обоснована возможность использования паттерна Circuit Breaker при разработке программных комплексов с использованием микросервисной архитектуры. Этот паттерн является чрезвычайно важным для обеспечения надежности, легкости доступа и гибкости разрабатываемых микросервисов. Важно, что Circuit Breaker является структурным паттерном и не влияет на функциональные возможности, которые предоставляют сервисы. В соответствии со своей сущностью, он позволяет достичь многократного использования благодаря параметризации. В то же время, это делает MSA более сложной, а коммуникационные структуры, которые будут введены в систему, могут подлежать некоторым изменениям. Это свидетельствует о том, что, выбирая методы программирования и проверки коммуникаций между сервисами, на этапе дизайна решения необходимо принимать во внимание, что используется именно такой паттерн, как Circuit Breaker.

Ключевые слова: микросервис; Circuit Breaker; Hystrix; программное обеспечение; оборудование.

O. Nalapko, A. Shyshatskyi

Central research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE NETWORK WITH POSSIBILITY TO SELF-ORGANIZATION

At present, wireless technology is widely used in our everyday life and in military networks. In the sources, in the future, their percentage will only increase, according to an the analysis conducted. In this article, the analysis of technical characteristics and the classification of network routing protocols with the possibility of self-organization based on the main features of the organization and the mechanisms of the operation of the protocols. These mechanisms include the mechanism for updating route information, based on the method of storing route information, the topology of information organization and the use of protocols specific resources. The authors of the famous scientific papers in which the simulation was conducted do not fully describe the dependence of the influence of such criteria as the speed of the nodes, change of the network area, change of the number nodes in the network, change of the number of hops to the addressee to work routing protocols. The analysis of modern research directions in scientific editions and the tendencies of the development of routing protocols, analysis of routing protocols modeling data provided by the authors of the simulation was conducted. While the review of the simulation results, a description of the behavior of the protocols in different scenarios of modeling and commenting on the logic of the work of the protocols is carried out in accordance with the given classification, which subsequently makes it possible to determine the appropriate features of the protocols in accordance with the categories. Analysis of the advantages and disadvantages of network routing protocols with the ability to self-organization when changing the following criteria affecting the operation of protocols such as change the number of nodes in the network with the possibility of self-organization, the operation of protocols depending on the intensity of change in topology (speed of nodes), change the size of the area the network, which in turn also affects the number of nodes that redirect packets for delivery to the addressee. The dependence of the routing protocols on the use of higher level TCP and UDP protocols was also analyzed, where the coefficient of delivery of packets from the source to the addressee was analyzed. The main advantages and disadvantages of the main routing protocols of networks with possible self-organization that were considered by the authors of scientific works in modeling, such as AODV, DSDV, OLSR, and DSR, are highlighted. The definition of the actual and perspective direction of scientific work in further researches was conducted.

Keywords: networks with possible self-organization; Ad hoc; radio network; wireless network; multi-hop; base station; multicast; traffic; decentralized networks; special wireless network; intelligent mobile nodes; real-time mode; classification of routing protocols.

Introduction

At present, wireless technology is widely used in our everyday life and in military networks. As the analysis in the sources [1-31] suggests, in the future, their percentage will only increase. This feature determines the relevance of this direction for conducting scientific research.

In our time, work is underway on the introduction of data transmission systems using networks with the ability to self-organization (Ad Hoc Networks).

The main task of networks with the ability to self-organization are:

- building a network-based infrastructure failure;
- an increase of efficiency of use of radio frequency resource;
- ensuring adaptation of networks to external factors;
- reduction of the cost of deployment and operation of the network in comparison with the classical principles of construction.

The analysis of recent publications [9, 19, 28, 30, 31] indicates that current research is being carried out to improve the routing protocols of Ad-hoc networks, which are further implemented in modern data transmission technologies.

A decentralized network with the ability to self-organizing consists of routers and mobile devices that are interconnected and simultaneously serve both the client and the router.

In the classic version of the construction of wireless networks, all customers are connected to the router and data transfer occurs only through it. In a decentralized network, each of these devices can move in different directions, with the result of the move to break and establish new connections with neighboring devices (hosts) [19].

In the well-known publications [9, 19, 28, 30, 31] analysis of the technical characteristics of routing protocols was conducted, however, this analysis is superficial and requires deepening and improvement in the part describing the effects of individual indicators on the efficiency of communication networks with the possibility of self-organization.

Therefore, *the purpose of this article is* to analyze the characteristics of the routing protocols of ad hoc networks.

Presentation of the main material

Ad hoc wireless network (WANET) is a wireless decentralized network that does not require a pre-existing infrastructure, nor does it have a permanent structure where the client devices (node) are equivalent and dynamically interconnect themselves, forming a network. Each of these devices participates in routing by forwarding information to the destination via other devices. In this case, determining which device to transmit information is determined by the network connectivity. A special wireless network consists of a multitude of mobile hosts (hosts) that are connected

wirelessly. The network topology in such a network can constantly change unpredictably and by chance [19].

Routing protocols that determine the transmission paths from the source node to the destination node used in traditional wired networks cannot be directly applied in special wireless networks, which are characterized by features such as [1, 6, 8, 9]:

- high dynamics of change of topology;
- an absence of the established centralized administration infrastructure (base station or access point);
- the limited bandwidth of wireless communications;
- an occurrence of false packets during broadcasting by a radio channel;
- limited power supply;
- the effect of intentional obstacles and other negative factors.

Taking into account the above, you can define the following requirements for routing protocols [1, 8, 9]:

- a short time of construction of the route in the conditions of high dynamics of change of network topology;
- high reliability of delivery of packages provided a constant change of interconnection;
- the minimum amount of official information transmitted on the network;
- ability to quickly detect and restore broken links;
- Detection and prevention of routing loops;
- Support of high scalability of the network with preservation of the given parameters;
- maintain quality of service (Quality of Service).

Fig. 1 shows the classification of routing protocols used in communication networks with the ability to self-organize [1, 6, 9].

Routing protocols can be divided into three main categories such as proactive (tabular) is a protocol that stores information about the routes of the entire network as a rule in tabular form and periodically exchanges information (tables) about all known routes usually throughout the network. Each time a node requests a packet transmission to the destination, it performs an appropriate path search algorithm and topology information in the data tables. Proactive protocols include DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol), WRP (Wireless Routing Protocol), CGSR (Cluster-Head Gateway Switch Routing Protocol), STAR (Source-Tree Adaptive Routing Protocol), OLSR (Optimized Link State Routing Protocol), FSR (Fisheye State Routing Protocol), HSR (Hierarchical State Routing Protocol), GSR (Global State Routing Protocol), WRP (Wireless Routing Protocol),

CGSR (Cluster-Head Gateway Switch Routing Protocol), STAR (Source-Tree Adaptive Routing Protocol), OLSR (Optimized Link State Routing Protocol), FIS (Fisheye State Routing Protocol), HSR (Hierarchical State Routing Protocol), GSR (Global State Routing Protocol).

The advantages of these protocols are a low latency of the route definition, the constant relevance of route information, which is effective at low dynamics of changing the network topology, a relatively small amount of service traffic at a significant load on the network.

Disadvantages can be taken away: High bandwidth requirements for high-dynamic networks, low scalability, and high memory requirements require some time to climb the network before data transfer [1, 2, 6, 8, 9].

Reactive (up-to-date) protocols that do not support network topology information, these protocols occasionally do not exchange routing information; they get information about the path to the destination when needed, ie upon request, using the connection setup process. Reactive protocols include DSR (Dynamic Source Routing Protocol), AODV (Ad-hoc on-demand distance routing protocol), ABR (Associative-Based Routing Protocol), SSA (Signal Stability-Based Adaptive Routing Protocol), FORP (Flow Oriented Routing Protocol), Preferred Link-Based Routing (PLBR).

The advantages of these protocols are a small amount of service information with low data transfer activity and a low memory requirement (usually only cache memory is used).

The disadvantages include a high delay in the route setup process and low scalability [1, 2, 6, 8, 9].

Hybrid routing protocols combine the best of proactive and reactive protocols. For example, nodes at a certain distance from the corresponding node or within a particular geographic region are in the routing zone of the node. For routing in this zone, a tabular approach is used. For nodes located in this zone, the approach to the request is used: Hybrid protocols include CEDAR (Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing), ZRP (Zone routing protocol), ZHLS (Zone-Based Hierarchical Link State Routing Protocol).

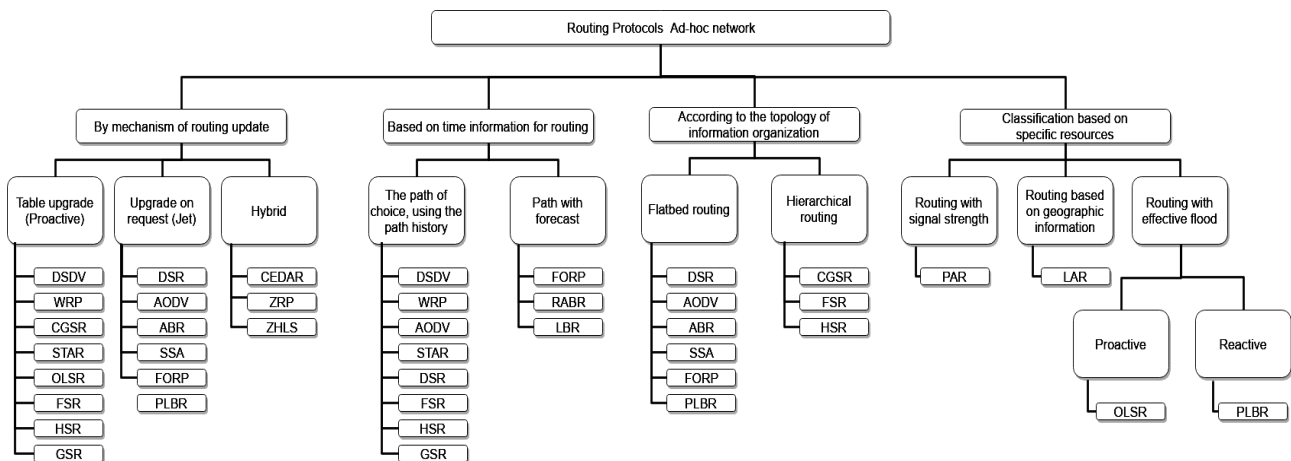


Fig. 1. Classification of routing protocols for ad hoc networks [1, 6, 9]

The advantages of hybrid routing protocols are quick connection setup, less overhead than table and jet protocols.

The disadvantages of these protocols are high requirements for storing and processing information about routes in comparison with reactive protocols [1, 2, 6, 8, 9].

Classification of routing protocols based on timely saves information of a route that is temporarily stored on a node because ad-hoc networks are very dynamic and data breaks are much more frequent than wired networks, the use of time information that determines the duration of wireless connections and the duration work of the chosen paths. Protocols falling into this category can be divided into two types [1, 6, 9]. Ad-hoc wireless networks by a mechanism for updating information:

Protocols that use pre-assembled and processed route information to the destination are generally used by the routing table. These protocols include DSDV, WRP, AODV, STAR (Source-Tree Adaptive Routing Protocol), DSR, FSR, HSR, GSR [1, 2, 6, 8, 9].

Protocols with a prediction of route identification. Protocols belonging to this category use information about the expected future status of wireless connections for routine routing decisions. In addition to the duration of wireless connections, information about the future status also includes information on the duration of the site, prediction of the location and prediction of the availability of the communication channel, etc. The forecasting protocols include FORP, RABR, LBR [1, 6, 9].

The advantages of protocols with a prediction of protocol routing are high adaptability of protocols to high-dynamic topology changes, QoS support.

The disadvantages of protocols with a prediction of a route determination are dependence on the infrastructure, which protocols are additionally used to search for the shortest route such as GPS, etc., which, in the absence of this infrastructure, affects the efficiency of the protocol, a high cost of the computing resource.

Protocols based on topology routing. For example, the hierarchical topology is used on the Internet, which reduces the amount of information and load of the core-level routers. In ad-hoc networks, as a rule, in comparison with the networks used for transmitting a signal using a wired signal transmission environment, there is a smaller number of nodes, and a flat and hierarchical topology is used for routing [1, 6, 9].

Protocols of Route Plane Topology. Protocols falling under this category use the schema of flat addresses, similar to the scheme used in LANs of the IEEE 802.3 standard [31]. It involves the presence of a global unique addressing mechanism for nodes in the Ad-hoc wireless network. These protocols include DSR, AODV, ABR, SSA, FORP, PLBR [1, 6, 9].

Hierarchical topology routing protocols use the logical hierarchy in the network and the associated addressing scheme. The hierarchy can be based on geographic information, or it can be based on hop distance. Protocols of this category include CGSR, FSR, HSR.

The advantages of hierarchical topology routing protocols include: reducing the size of routing tables, improving scalability and reducing service traffic.

The disadvantages of routing protocols in the hierarchical topology include high consumption of computing resources.

Protocols based on the use of specific resources such as PAR (Power-Aware Routing Protocol), LAR (Location-Aided Routing Protocol), OLSR and PLBR [1, 6, 9].

Routing protocols that build a route based on the power of the signal with a minimum level of radiation power or minimize the use of the battery of the site. This category of routing protocols aims to minimize the consumption of a very important resource in wireless ad-hoc networks, namely the power of the battery. Routing decisions are based on minimizing energy consumption both locally and globally over the network. Protocols in this category are PAR. To determine the route in the protocols of this category, the following indicators can be taken into account [1, 6, 9]:

- minimum energy consumption per package. This indicator includes several nodes from the source to the destination, to achieve even energy consumption throughout the network;

- the maximum connection to the network, to balance the traffic load, this difficult to achieve due to the mobility of nodes;

- the minimum difference in power levels of nodes, for load distribution, energy consumption remains equal between nodes, almost optimal performance is ensured by routing the packet to the least downloaded next hop;

- the minimum cost of a package, where the cost depends on the battery charge (for example, less energy - more value) and uses it as a metric, it is easy to calculate (available batteries), and this indicator processes traffic on the network.

Protocols that build geographic data routes improve routing efficiency and reduce overhead on control, effectively using available geographic information. Protocols of this category are LAR [1, 6, 9].

In the scientific paper [30] is given six scenarios with simulation of routing protocols AODV, DSDV and OLSR, according to the above-mentioned these protocols belong to different classes of routing protocols, which in turn will make it possible to compare the effectiveness of approaches search route in routing protocols data also before the simulation of the included TCP and UDP protocols, which correspond to the higher transport level of the OSI model.

In the first scenario of this work [30, p. 90-100] the basis of a design by the example of the road from two lanes where the speed on the front page for the units moving speed of 28 meter per second in the second 33 meter per second speed as a result of the difference should be observed as a result of increasing delays increase the distance between objects and respectively, to increase the number of relay packets for delivery to the addressee. In the next step, the simulation speed of objects change under first strip speed of objects is 28 meter per second, the second strip movement at a speed

of 55 meter per second, which should create a more frequent change of network topology.

And so let's look at the results obtained by the author and try to draw the appropriate conclusions.

So, according to Table 1 [30], the author provides such data delays based on the use of the transport protocol TCP, a speed of 28 m / s of the first band and 33 m per second of the second lane.

Table 2 [30] also shows the delay in data transmission taking into account the use of UDP transport protocol, the speed of 28 m / s of the first band and 33 meter per second of the second lane. Indicators of the number of sent and received UDP transport

protocols (Table 3) [30] due to the peculiarities of their work. It is in contrast to the TCP protocol, which, in the case of failure to deliver or accept the mistake of requesting it to be re-sent, non-delivered or accepted segments with an error are simply deleted. This feature of the UDP protocol demonstrates the effectiveness of delivering packets from sender to destination.

After analyzing the data provided in the graphs [30], the data rates of TCP and UDP higher-level protocols with respect to time can be inferred for the stability of the transmission of data from source to destination at the frequency change of the network topology (Table 4).

Table 1 – A time delay in data transmission using TCP transport protocol [30]

Routing protocol	Minimum delay value	Maximum delay value	Average delay value	Initial delay	Average value
AODV	0.0050919920	0.6537681730	0.1716732224	0.28866014	0.50010847
OLSR	0.0098262930	6.3630483810	0.1767772492	0.28858440	0.50025779
DSDV	0.0045719920	0.2477734980	0.1231930545	0.28865030	0.50019508

Table 2 – Time delay data rates when using the UDP transport protocol [30]

Routing protocol	Minimum delay value	Maximum delay value	Average delay value	Initial delay	Average value
AODV	0.027840518	47.185497177	0.8358558674	0.96577239	0.497221200
OLSR	0.012571992	13.178178803	0.8198667509	0.70803833	0.507178314
DSDV	0.012651992	5.984668514	0.9500924252	1.04989802	0.4983542355

Table 3 – The number of UDP packets sent and delivered [30]

Routing protocol	Number of sent packages	The number of packets accepted	The ratio of delivered packages
AODV	12990	10356	80%
OLSR	12495	9202	74%
DSDV	13333	8887	67%

Table 4 – Percentage of data transmission stability time

Routing protocol	Time of data transmission (sec), at different rates of motion of the object		Percentage of time without disturbing data transmission (%) at different rates of motion of the object	
	33 m/s, TCP/UDP	55 m/s, TCP/UDP	33 m/s, TCP/UDP	55 m/s, TCP/UDP
DSDV	56/163	88/87	77/32	20/21
OLSR	44/47	35/52	82/80	68/53
AODV	32/4	28/10	87/98	75/91

Summarizing the analysis of the results of the first scenario, we can conclude that in AD-HOC networks with increasing dynamics of network topology change, the AODV protocol shows a more reliable and stable data transfer compared to DSDV and OLSR protocols. AODV routing protocol is less susceptible to topology changes due to route search only if packet transfer is required. But this protocol is inferior to the maximum speed of data transmission and the delay time before the data transfer in networks with low dynamics of changing the network topology, this is achieved by the fact that proactive protocols store the route table and, if necessary, transmit the package does not search the route to the addressee and directly take the route already available from routing table.

In the publication S. Mohapatra and P.Kanungo [31], the authors conduct modeling of routing protocols of AD-HOC networks using the NS2 emulator. In this paper, the authors studied the effect of three variables such as node speeds, namely the speed of change of the topology, which is demonstrated in the form of graphs in Fig. 6-9, the size of the network area is shown in the graphs in Fig. 10-13 and the number of nodes in AD-HOC networks are shown in the graphs in Fig. 2-5. The rest of the parameters in the simulation were unchanged.

The authors were given the following simulation parameters [31]:

- routing protocols DSR, DSDV, AODV and OLSR;
- simulation time for 150 second;

- type of traffic CBR / UDR (Constant Bit Rate / User-Defined Routing);
- package size 512 bytes;
- IEEE 802.11 Channel Level;
- number of nodes 10, 20, 30, 40, 50;
- network size m2 200, 400, 600, 800, 1000;
- delay time with. 0, 30, 90, 120, 150.

Fig. 2 [31] has the best performance with the DSR protocol because this protocol does not periodically send routing tables and does not send hello packets to neighboring nodes. Somewhat worse results show DSDV and the more heavy load of the channel is the official information displayed by the protocols AODV and OLSR. In Fig. 3 [32], as expected in accordance with previous modeling work, the AODV and DSR protocols traditionally have a high packet delivery rate. DSDV parameters are much worse than others due to the fact that changing the topology of the network's proactive protocol takes time to update routing on the nodes, which is why in rather dynamic networks, packets are sent over an outdated route. Such a mechanism is the reason for the low packet delivery coefficient to the addressee. The OLSR protocol, compared to AODV and DSR, has slightly worse delivery rates for packets to the recipient, although the routing table's basic principle is also proactive. Unlike DSDV, the protocol OLSR periodically exchanges routing tables has an addition on its armament trigger partial routing table in case of changing the topology or state of the site.

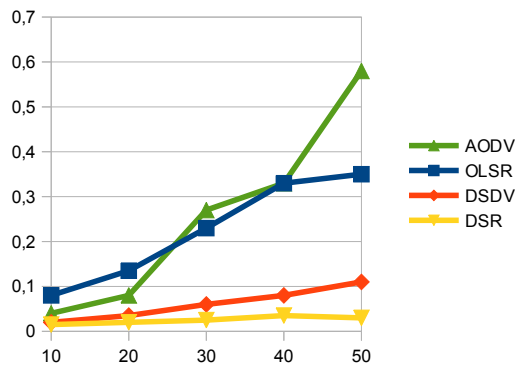


Fig. 2. The ratio of official information to data, depending on the number of nodes [31]

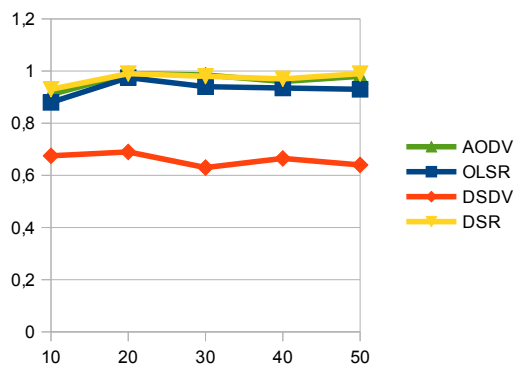


Fig. 3. Coefficient of the delivered data from the source to the addressee, depending on the number of nodes [32]

In the demonstrated result in Figure 4 [31], the author points out a high delay in the DSDV protocol

with the number of nodes 10, according to my belief, and taking into account the operation of the protocol, this indicator is rather dubious as the routes in the memory of the node are constantly present and the transfer of packets is executed instantly. after being found in memory, this method minimizes the latency of the start of packet forwarding, as unlike reactive routing protocols, there is no need to search the route.

The speed, depending on the number of punctures AODV shows Fig. 5 [31] is the worst result that is characteristic of him in connection with the need to constantly search the route before sending a package that increases the time delay and the amount of official information. Traditionally higher data rates show proactive DSDV and OLSR protocols.

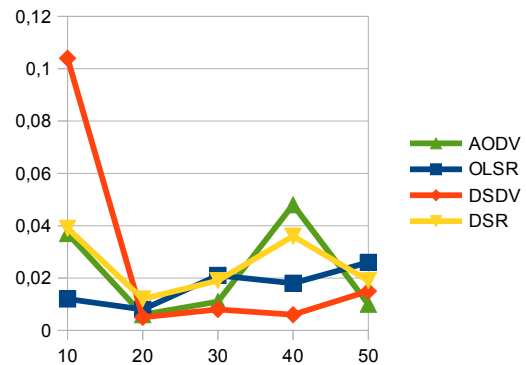


Fig. 4. The time of delivery of packages from the source to the addressee, depending on the number of nodes [31]

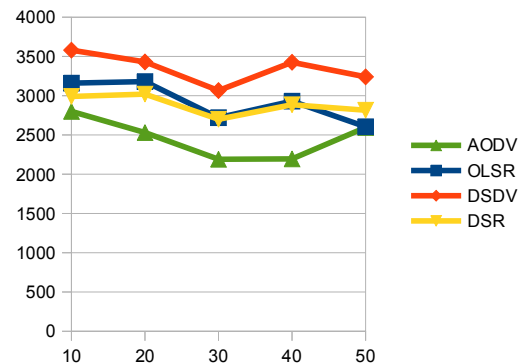


Fig. 5. The speed of data transmission from source to destination, depending on the number of nodes [31]

The first scenario of this work was designed to expand the network by increasing the number of nodes in the network.

The second scenario [31] focuses on the properties of protocols for node mobility, the change in the delay parameter from 0 to 150 seconds in increments of 30 seconds, in this case, for 150 seconds, this is a practically constant and relatively unchanged network, 0 means constant movement of nodes.

With regard to the dependencies of routing protocols on the speed of nodes in Fig. 6 [31], there is a significant dependence of the AODV protocol where the amount of service information increases at the speed of the nodes, the DSR protocol shows the best indicators of the ratio of service information to the data.

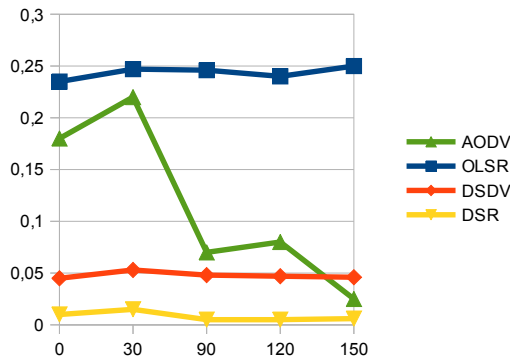


Fig. 6. The ratio of official information to data, depending on the time delay

Also, the AODV and DSR protocols have traditionally shown (Fig. 7) [31] the highest percentage of delivery of packets from source to destination, while the DSDV protocol has a low packet delivery rate at high node density, and this indicator is gradually improving with decreasing nodal activity.

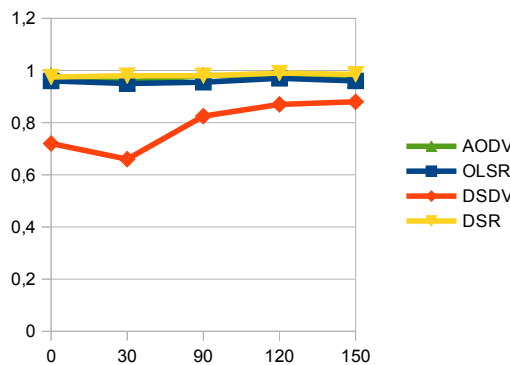


Fig. 7. The amount of data delivered from the source to the destination, depending on the mobility of nodes [31]

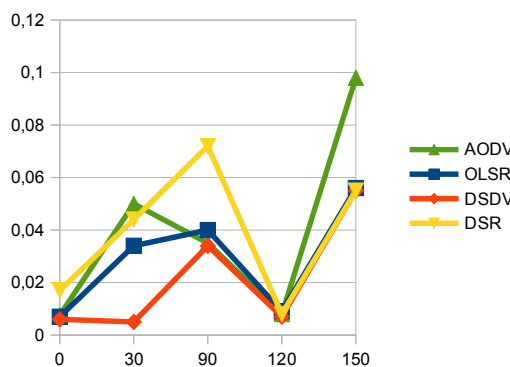


Fig. 8. The time of delivery of the package from source to destination, depending on node mobility [31]

The data is provided by the author of the time of delivery of the package from source to destination, depending on the mobility of the nodes presented in the paper [31] in Fig. 8 are quite contradictory so traditionally reactive protocols have a longer delivery time and proactive protocols have a shorter delivery time but with a delay of 120 seconds on the chart there is a large decline in delivery time and a sharp 150 increase in time. Judging by the logic, the diagram should look a little different. So with the high intensity of the nodes

and, consequently, the frequent change in the topology of the network, routing protocols have to respond more often to these changes by looking for and calculating the route to the addressee, which in turn increases the time for delivery of the packet from the source to the addressee. The time for delivery of the packet will decrease with a decrease in the intensity of the change in the network topology by spending less time and resources on the route search. These changes should especially affect the proactive routing protocols. So, unlike proactive routing protocols, the delivery time of packets should be slightly higher than the proactive ones and, accordingly, the impact curve of node mobility should be more moderate, since, in fact, reactive protocols are searched for each route before each packet is transmitted.

So in view of the above, the diagram of the dependence of the data transfer rate in relation to the mobility of objects should look like (Fig. 9) [31]. In this case, with a decrease in the mobility of objects, the speed should increase.

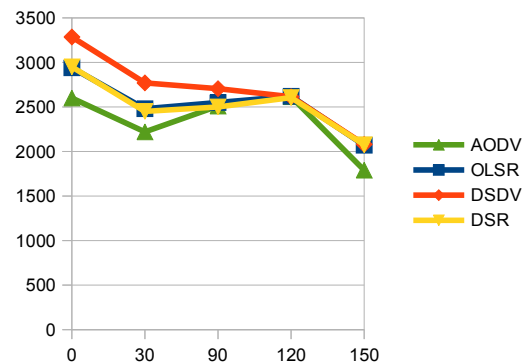


Fig. 9. The speed of data transmission from source to destination, depending on the mobility of nodes

The next stage of the modeling [31] the author changes the 200x200 network size factor: 400x400, 600x600, 800x800 and 1000x1000 meters. In this simulation, with each step increasing the size of the network, the number of intermediate packets transfers from the source to the destination increases, which in turn should increase the route search time and the time the packets are transmitted to the destination.

Analyzing the results of the simulation where the variable coefficient is the size of the network. You can observe completely predictable properties of protocols. Thus, in Fig. 10 [31], DSR and AODV protocols traditionally have OLSR and DSDV protocols with a significantly higher traffic factor due to the need to find a route to the destination before sending the packet. In Fig. 11 [31], it is observed that the AODV and DSR protocols show substantially similar high packet delivery rates to the destination and the worst performance in the OLSR protocol and the lowest DSDV indicator may be due to constraints The protocol, in particular, the maximum range of the route cannot exceed 2 redirects.

On the diagram (Fig. 12) [31], the delivery time of the packets to the destination, we see a faster transmission time in the DSDV and OLSR protocols ahead of the AODV and DSR, because there is no need to pre-route the route before the package is sent.

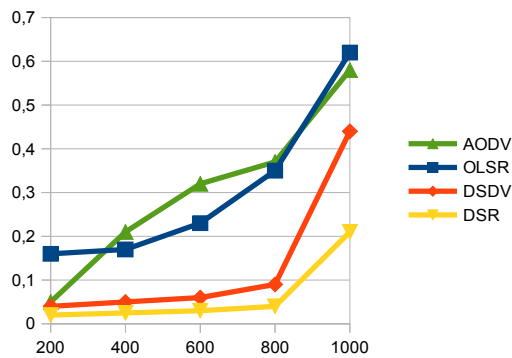


Fig. 10. The ratio of official information, depending on the size of the network area

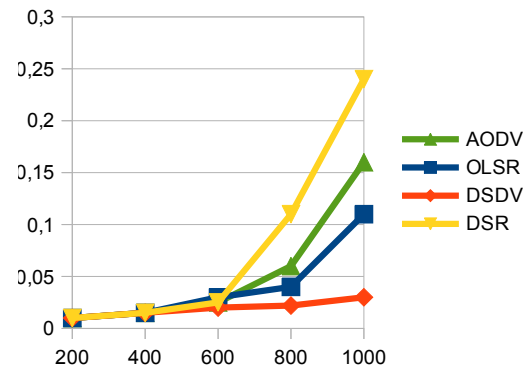


Fig. 12. The time of delivery of packages from the source to the addressee, depending on the size of the network area

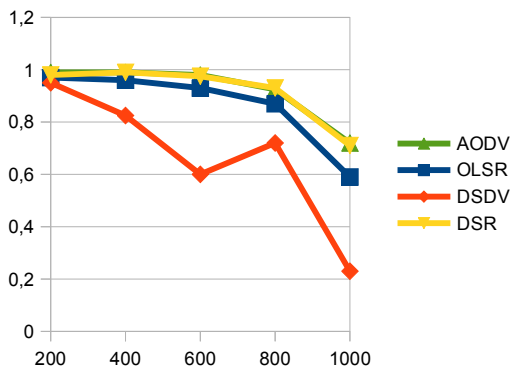


Fig. 11. The rate of delivery of packages from the source to the destination, depending on the size of the network area

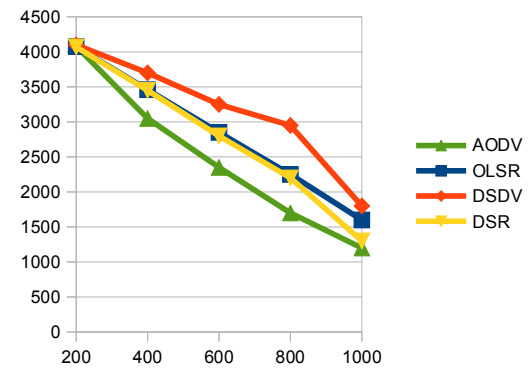


Fig. 13. The rate of data transmission from the source to the destination, depending on the size of the network area

Also, a similar situation is observed at speeds on Fig. 13 [31] data transfers in DSDV and OLSR protocols show a higher speed, unlike the AODV and DSR protocols.

The main problems are related to the design of the routing protocol and the different classifications of routing protocols for ad-hoc wireless networks, which should be addressed by a special wireless routing protocol, there are node mobility, rapid topology changes, limited bandwidth, hidden and detected problems with the terminal, limited capacity the battery, the properties of the channels in time, as well as the dependence on the location. Different approaches that can be used to classify protocols include a classification based on the type of topology service approach used by the routing topology, the use of temporal information, and the type of specific use of resources considered for decision-making purposes for routing.

Conclusion from this explosion

According to the results of the research, the The study analyzed and conducted the classification of AD-HOC network routing protocols, taking into account the specifics of networks that can be used in special-purpose networks and rescue services. These networks have high dynamics in changing the network topology,

lack of infrastructure, the need for rapid deployment and network convergence, the random change in the number of nodes in the network, the possible impact of interference and interception of information, all these criteria significantly affect the operation of routing protocols.

So the best adaptive properties to the above criteria are the jet and hybrid routing protocols. Taking into account the analysis of the modeling results and the classification of the AD-HOC networks and, in accordance with the tasks set forth in the further research and development, it is advisable to pay attention to DSR and AODV routing protocols with the best packet delivery rates and better performance in high-end networks.

In accordance with the foregoing, attention should be paid to further research on routing protocols which have inherent properties of adaptation to high dynamic changes in network topology, reduced number of transfer of service information to maintain network operation, high packet delivery rates, but the available routing protocols use one or several criteria to determine the route and to increase the efficiency of routing protocols in future scientific works pay attention go to take into account more criteria for determining the route in the routing protocols.

REFERENCES

1. Siva, C., Murthy, Ram and Manoj, B.S (2004), "Ad Hoc wireless networks: architectures and protocols", *TK5103.2.M89*, pp. 206-228.
2. Pavlov, A.A., Datyev, I.O (2014) . "Routing protocols in wireless network", *Works of the Russian Research Center of the Russian Academy of Sciences*, No. 5 (24). available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/protokoly-marshrutizatsii-v-besprovodnyh-setyah> (last accessed June 22, 2018).

3. Patrick, Cairns (2008), "Addressing wireless challenges", *Network*, March 2008, available at: <http://www.netdotwork.co.za/article.aspx?pkarticleid=5044> (last accessed June 22, 2018).
4. Md Shahzamal, (2018), "Lightweight Mobile Ad-hoc Network Routing Protocols for Smartphones", *Networking and Internet Architecture* (cs.NI), Multiagent Systems (cs.MA), arXiv:1804.02139 [cs.NI], Cornell University, 6 Apr 2018, Cornell University Library, available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
5. Reddy, T. Bheemarjuna, Karthigeyan, I., Manoj, B.S., Siva, C. and Murthy, Ram (2006), "Quality of service provisioning in ad hoc wireless networks: a survey of issues and solutions", *Ad Hoc Networks*, Vol. 4. Issue 1, pp. 83-124, available at: <https://www.iith.ac.in/~tbr/journals/6.pdf> (last accessed June 22, 2018).
6. Kathirvel A., (2016), *ADHOC & SENSOR NETWORKS UNIT – III Chennai CS6003*, available at: <https://www.slideshare.net/avyakathir/cs6003-ad-hoc-and-sensor-networks> (last accessed June 22, 2018).
7. Jagannathan, Sarangapani (2007), "Wireless Ad Hoc and Sensor Networks Protocols Performance and Control", The University of Missouri-Rolla Rolla, Missouri, U.S.A, pp. 310-350.
8. Vinokurov, V.M., Pugovkin, A.V., Pshennikov, A.A., Usharova, D.N., Filatov, A.S (2010), "Routing in wireless mobile Ad hoc networks", TUSUR's Reports, No 2 (22), pp. 288-292.
9. Garkusha, S.V. (2012), "Review and classification of routing protocols in mesh networks of IEEE 802.11 standard", Collection of scientific works of MITI NTUU "KPI" No. 1. pp. 14-28.
10. Giorgos Papadakis, Manolis Surligas (2011), "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing & DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks", available at: <https://www.slideserve.com/raleigh/ad-hoc-on-demand-distance-vector-routing-aody> (last accessed June 22, 2018).
11. Moltchanov D., (2009), "Routing protocols for ad hoc networks", Ad hoc networks. TUT, available at: <http://www.cs.tut.fi/kurssit/TLT-2756/> (last accessed June 22, 2018).
12. Orlov VG, Fadeev AN, (2012), "Routing Protocols in Mobile Ad-Hoc Networks", Materials of the International Scientific and Technical Conference, Part 6 MIREA, Moscow, INTERMATIC, pp. 208-212.
13. Gavrilovska Liljana, Ramjee Prasad Springer, (2007), "Ad-Hoc Networking Towards Seamless Communications", Science & Business Media. 289 p.
14. Chen Chen, Yanan Jin, Qingqi Pei, Ning Zhang, (2014), "A connectivity-aware intersection-based routing in VANETs", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Pages 16, available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2F1687-1499-2014-42.pdf> (last accessed June 22, 2018).
15. Tie Qiu, Ning Chen, Keqiu Li, Daji Qiao, Zhangjie Fu (2017), "Heterogeneous ad hoc networks: Architectures, advances and challenges", *Ad Hoc Networks*, Volume 55, pp. 143-152.
16. Jesús M.T., Portocarrero, Flavia C. Delicato, Paulo F. Pires, Bruno Costa, Wei Li, Weisheng Si, Albert Y. Zomaya. (2017), "RAMSES: A new reference architecture for self-adaptive middleware in Wireless Sensor Networks", *Ad Hoc Networks*, Vol. 55, pp. 3-27.
17. A Survey Arun Kumar, Hnin Yu Shwe, Kai Juan Wong, Peter H. J. Chong (2017), "Location-Based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks", *Scientific Research Wireless Sensor Network*, Vol. 9, pp. 25-72.
18. Naeem Raza, Muhammad Umar Aftab, Muhammad Qasim Akbar, Omair Ashraf, Muhammad Irfan (2016), "Mobile Ad-Hoc Networks Applications and Its Challenges", *Communications and Network*, Vol. 8, pp. 131-136.
19. Report Concerning Space Data System Standards. Wireless Network Communications Overview For Space Mission Operations. Informational Report Ccsds 880.0-G-3. Green Book. May 2017, 185 p.
20. Lijun Wang, Tao Han, Qiang Li, Jia Yan, Xiong Liu, Dexiang Deng (2017), "Cell-less Communications in 5G Vehicular Networks Based on Vehicle-Installed Access Points", *IEEE wireless communications*, Vol. 24, No 6, pp. 64–71.
21. Loreto Pescosolido, Marco Conti, Andrea Passarella, (2018), "Performance Analysis of a Device-to-Device Offloading Scheme in a Vehicular Network Environment. Italian National Research Council", Institute for Informatics and Telematics (CNR-IIT) Via Giuseppe Moruzzi 1. 56124 Pisa, Italy. arXiv:1801.09082v1 [cs.NI]. Cornell University. 30 p., Cornell University Library, available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
22. Adelina Madhja, Sotiris Nikolettas, Alexandros A. Voudouris, (2018), "Mobility-aware, adaptive algorithms for wireless power transfer in ad hoc networks", *Networking and Internet Architecture* (cs.NI), Multiagent Systems (cs.MA), arXiv:1802.00342v1 [cs.NI], Cornell University., Cornell University Library available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
23. Konstantinos Poularakis, George Iosifidis, Leandros Tassioulas, (2018), "SDN-enabled Tactical Ad Hoc Networks: Extending Programmable Control to the Edge", *Networking and Internet Architecture* (cs.NI). arXiv:1801.02909v1 [cs.NI], Cornell University. Cornell University Library available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
24. Noman Islam, Zubair A. Shaikh, (2017), "A study of research trends and issues in wireless ad hoc networks", *Networking and Internet Architecture* (cs.NI). ArXiv:1711.08405 [cs.NI]. Cornell University. Cornell University Library available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
25. Trung Kien Vu, Sungoh Kwon, (2016), "On-Demand Routing Algorithm with Mobility Prediction in the Mobile Ad-hoc Networks", *School of Electrical Engineering University of Ulsan Ulsan. Korea*. arXiv:1609.08141v1 [cs.NI]. Cornell University., Cornell University Library available at: <https://arxiv.org>. (last accessed June 22, 2018).
26. Meng Li, F. Richard Yu, Pengbo Si, Enchang Sun, Yanhua Zhang, (2016), "Machine to Machine (M2M) Communications in Virtualized Vehicular Ad Hoc Networks", *Networking and Internet Architecture* (cs.NI). arXiv:1611.04017 [cs.NI]. Cornell University., Cornell University Library, available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
27. Don Torrieri, Senior Member, IEEE, Salvatore Talarico, Student Member, IEEE, Matthew C. Valenti, Senior Member, IEEE, (2015), "Performance Comparisons of Geographic Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks". *Networking and Internet Architecture* (cs.NI). arXiv:1509.01205v1 [cs.IT]. Cornell University. 3 Sep 2015, Cornell University Library available at: <https://arxiv.org> (last accessed June 22, 2018).
28. Hossain, Ekram, Rasti, Mehdi, Tabassum, Hina and Abdelnasser, Amr (2014), "Evolution Towards 5G Multi-rier Cellular Wiresles Networks: An Interference Management Perspective", *arXiv:1401.5530v2* [cs.NI], Cornell University, 17 February 2014, Cornell University Library, available at: <https://arxiv.org>.

29. Gozalvez, J., Perales, B. Coll (2013), *Experimental Evaluation of Multi Hop Cellular Networks using Mobile Relays*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2013.6553688>.
30. Hayder, Mohammed Ali, (2013), Simulation and analysis of vehicular ad-hoc networks in urban and rural areas, Master's thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection, University of Vaasa, Vaasa, USA, 131 p.
31. Mohapatra, S. and Kanungo, P. (2012), "Performance analysis of AODV, DSR, OLSR and DSDV Routing Protocols using NS2 Simulator", *Procedia Engineering*, 30, pp. 69-76.

Received (Надійшла) 20.07.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.10.2018

Аналіз технічних характеристик мережі з можливістю до самоорганізації

О. Л. Налапко, А. В. Шишацький

На теперішній час технології бездротових мереж широко використовуються у нашому повсякденному житті та в мережах військового призначення. Як свідчить проведений в джерелах аналіз, в подальшому їх відсоткова частка буде лише збільшуватися. В цій статті проводиться аналіз технічних характеристик та класифікація протоколів маршрутизації мереж з можливістю самоорганізації за основними особливостями організації та механізмів роботи протоколів, такими як механізм оновлення інформації маршруту, спосіб зберігання інформації маршруту, топологія організації інформації та на основі використання протоколами конкретних ресурсів. Авторами відомих наукових праць в яких проводилося моделювання, проведено неповний опис залежності впливу таких критеріїв як швидкість руху вузлів, зміна площі мережі, зміна кількості вузлів в мережі, зміна кількості пересилаємих пакетів до адресату на роботу протоколів маршрутизації. Проведено аналіз сучасних напрямків дослідження в наукових виданнях та тенденції розвитку протоколів маршрутизації, аналіз даних з моделювання протоколів маршрутизації, які надані авторами моделювання. Під час огляду результатів моделювання проводився опис поведінки протоколів у різних сценаріях моделювання та коментування логіки роботи протоколів відповідно до наданої класифікації, що в подальшому надало можливість визначення особливостей протоколів у відповідності до категорій. Аналіз переваг та недоліків протоколів маршрутизації мереж з можливістю до самоорганізації при зміні критеріїв, що впливають на роботу протоколів, таких як зміна кількості вузлів в мережі з можливою самоорганізацією, робота протоколів у залежності від інтенсивності зміни топології (швидкості переміщення вузлів), зміни розміру області мережі, яка в свою чергу також впливає на кількість вузлів, що перенаправляють пакети за для доставки до адресату. Проаналізовано також залежність роботи протоколів маршрутизації щодо використання протоколів вищого рівня TCP та UDP, зокрема проаналізовано коефіцієнт доставки пакетів від джерела до адресату. Виділено основні переваги та недоліки основних протоколів маршрутизації мереж з можливою самоорганізацією, які розглядалися авторами наукових праць із моделювання, таких як AODV, DSDV, OLSR та DSR. Проведено визначення актуального та перспективного напрямку наукової роботи в подальших дослідженнях.

Ключові слова: мережі з можливістю самоорганізації; Ad hoc; радіомережі; бездротова мережа; multi-hop; базова станція; багатоадресний трафік; децентралізовані мережі; спеціальні бездротові мережі; інтелектуальні мобільні вузли; режим реального часу; класифікація протоколів маршрутизації.

Анализ технических характеристик сети с возможностью самоорганизации

А. Л. Налапко, А. В. Шишацкий

В настоящее время технологии беспроводных сетей широко используются в нашей повседневной жизни и в сетях военного назначения. Как свидетельствует проведенный в источниках анализ, в дальнейшем их процентная доля будет только увеличиваться. В данной статье проводится анализ технических характеристик и классификация протоколов маршрутизации сетей с возможностью самоорганизации по основным особенностям организации и механизмам работы протоколов, таких как механизм обновления информации маршрута, способа хранения информации маршрута, топология организации информации, а также на основе использования протоколами конкретных ресурсов. Авторами известных научных трудов по моделированию сетей во многих случаях проводилось неполное описание зависимости влияния таких критериев как скорость движения узлов, изменение площади сети, изменение количества узлов в сети, изменение количества пересылок пакетов в адресату на работу протоколов маршрутизации. Проведен анализ современных направлений исследования в научных изданиях и тенденции развития протоколов маршрутизации, анализ данных по моделированию протоколов маршрутизации, предоставленных авторами трудов по моделированию. При анализе результатов моделирования проводится описание поведения протоколов в различных сценариях моделирования и комментирование логики работы протоколов в соответствии с предоставленной классификацией, в дальнейшем дается возможность определения характерных особенностей протоколов в соответствии с категориями. Анализ преимуществ и недостатков протоколов маршрутизации сетей с возможностью к самоорганизации при изменении критериев, влияющих на работу протоколов, таких как изменение количества узлов в сети с возможностью самоорганизации, работа протоколов в зависимости от интенсивности изменения топологии (скорости перемещения узлов), изменение размера области сети, которая в свою очередь также повлияет на количество узлов, перенаправляют пакеты для доставки к адресату. Проанализирована также зависимость работы протоколов маршрутизации от использования протоколов высшего уровня TCP и UDP, где рассмотрен коэффициент доставки пакетов от источника к адресату. Выделены основные преимущества и недостатки часто используемых протоколов маршрутизации сетей с возможностью самоорганизации, которые рассматривались авторами научных работ по моделированию, таких как AODV, DSDV, OLSR и DSR. Проведено определение актуального и перспективного направления научной работы в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: сети с возможностью самоорганизации; Ad hoc; радиосети; беспроводная сеть; multi-hop; базовая станция; многоадресный трафик; децентрализованные сети; специальные беспроводные сети; интеллектуальные мобильные узлы; режим реального времени; классификация протоколов маршрутизации.

М. В. Ткачук^{1,2}, В. Є. Сокол², М. О. Білова², О. С. Космачов^{1,3}

¹ Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків, Україна

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

³ AcademySmart, Харків, Україна

КЛАСИФІКАЦІЯ, ТИПОВА ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ ТА ТРЕНІНГУ ПЕРСОНАЛУ В ІТ-КОМПАНІЯХ

Предметом дослідження статті є особливості електронного навчання та тренінгу персоналу в ІТ-компаніях. **Мета роботи** - аналіз основних особливостей сучасних систем електронного навчання (LMS) та систем тренінгу персоналу (TMS) у відповідності до вимог ІТ-компаній, класифікація таких систем задля визначення чинників впливу на ефективність процесів їх вибору, впровадження та подальше функціонування; розробка пропозицій щодо їх вдосконалення. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз переваг та недоліків використання LMS, TMS в ІТ-компанії, визначення загальної структури та класифікації систем електронного навчання; характеристика основних особливостей впровадження і використання LMS-, TMS- систем у малих та середніх ІТ-компаніях; характеристика типових функцій систем електронного навчання та тренінгу персоналу. Використовуються такі **методи**: системний підхід. Отримано наступні **результати**: проаналізовано особливості корпоративного навчання та визначено специфіку використання LMS, TMS в ІТ-компанії; надано характеристику основних проблем та складностей, які виникають при впровадженні таких систем в роботу ІТ-компанії; визначено типовий функціонал систем електронного навчання та тренінгу персоналу та можливі аспекти його вдосконалення. Проаналізовано проблеми, пов'язані з організацією роботи систем електронного навчання та тренінгу персоналу, серед яких найбільш вагомими є фінансовий аспект, складність технічної реалізації та побудова навчального контенту. **Висновки**: на прикладі діяльності компанії «AcademySmart» визначені особливості впровадження LMS та TMS у бізнес-процеси ІТ-компанії.

Ключові слова: e-learning; e-training; система управління навчанням; LMS; система тренінгу персоналу; TMS.

Вступ

Основним капіталом компанії в ІТ-індустрії виступає спеціаліст, який не лише виконує свої прямі обов'язки, пов'язані з участю в проектах компанії, але й розвиває власні професійні навички з метою кар'єрного росту. Такий розвиток носить не лише індивідуальний характер, але й має бути синхронізованим з потребами компанії та вектором її просування на ринку. У зв'язку з необхідністю формування ефективних команд для роботи над новими проектами компанії, актуальним є задача навчання та тренінгу співробітників, вирішення якої пов'язане з e-learning та e-training відповідно.

Метою даного дослідження є аналіз основних особливостей сучасних систем електронного навчання (LMS) та систем тренінгу персоналу (TMS) у відповідності до вимог ІТ-компаній, класифікація таких систем задля визначення чинників впливу на ефективність процесів їх вибору, впровадження та подальше функціонування; розробка пропозицій щодо їх вдосконалення. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- проаналізувати основні переваги та недоліки використання систем електронного навчання та тренінгу персоналу в ІТ-компанії;

- визначити загальну структуру, класифікацію систем електронного навчання та критерії вибору таких систем в залежності від специфіки компанії;

- охарактеризувати основні особливості впровадження і використання LMS-, TMS- систем у малих та середніх ІТ-компаніях на прикладі «AcademySmart»;

- надати характеристику типових функцій систем електронного навчання та тренінгу персоналу, визначити їх еталонну архітектуру та можливі шляхи їх удосконалення.

Аналіз проблеми дослідження

На відміну від звичайної системи освіти, мета корпоративного навчання пов'язана, у першу чергу, з рентабельністю інвестицій, а саме – з практичним використанням набутих у процесі навчання знань [1]. Працівник в ІТ-компанії виступає у якості основного активу, у зв'язку з чим технологічні особливості розробки та формування навчальних програм мають на меті не лише забезпечення ефективності навчання, стійкості отриманих знань та навичок, а і можливість працівника брати участь у більш складних та економічно вигідних проектах. Значна різниця між академічним та корпоративним середовищем навчання полягає саме у фокусі другого на обміні знаннями між працівниками, способами збереження накопичених знань і їх використання у процесі роботи (рис. 1), що у сучасних компаніях реалізується шляхом звернення до e-learning та e-training [1].

E-learning, тобто «електронне навчання», може бути визначене як будь-яка розвиваюча практика, яка постачається через Інтернет чи інше електронне джерело інформації [2]. Це мережева система навчання, що передбачає використання комп'ютера, ноутбука або будь-яких електронних пристроїв (наприклад, мобільного телефону, компакт-дису, відеокамери тощо) та надає змогу безперервно засвоювати знання та навички за рахунок навчальних подій, які формуються, постачаються, підтримують-

ся за допомогою веб-технологій. Загалом це запланований навчальний процес, що може відбуватися будь-де, і тому вимагає спеціальних методів проектування, навчання, спілкування на основі електронних та інших технологій, а також певних організаційних та адміністративних механізмів [3]. E-training (електронний тренінг персоналу) розглядається як частина електронного навчання, яка носить більш практичний характер та передбачає застосування набутих знань на конкретних прикладах [4].



Рис. 1. Знання у корпоративній системі управління навчанням [1]

До переваг e-learning та e-training відносять таке.

1. Можливість навчатися в будь-який час і в будь-якому місці [5, 6, 7].
2. Послідовність навчання [6].
3. Наявність доступу до сукупного архіву змісту курсу та його своєчасних оновлень на постійній основі [5, 7].
4. Збереження часу та мінімізація відриву від роботи [8].
5. Економічність за рахунок зниження витрат на подорожі співробітників [5, 6].
6. Підвищення продуктивності, покращення діяльності у сфері навчання, рентабельність інвестицій [5, 8].
7. Підвищення рівня задоволеності працівників та клієнтів [6, 9].
8. Удосконалення навичок та знань працівників [5, 6].

Разом з тим, зазначають недоліки використання електронного навчання, до яких відносять технічні проблеми, пов'язані з сумісністю технологій, неякісним Інтернет-зв'язком тощо; високі вартіст. розробки та підтримки; організаційні проблеми [6].

Незважаючи на наявні недоліки, електронне навчання стало альтернативною формою набуття знань та практичних вмінь в ІТ-фірмах завдяки технологічним інноваціям та сучасним системам зв'язку. Збільшення використання такого виду навчання впливає на робоче середовище за рахунок відповідності системи вимогам масштабованості, доступу та своєчасності [10].

Системи електронного навчання та тренінгу персоналу, їх класифікація та загальна структура

Як і будь-які системи, що використовується в даний момент, корпоративні системи електронного

навчання та тренінгу персоналу повинні відповідати встановленим стандартам. Формати SCORM (Sharable Content Object Reference Model), AICC НАСР (HTTP-based AICC/CMI Protocol by Aviation Industry Computer-Based Training Committee), Tin Can/Experience API, IMS є стандартами для e-learning. Коли готовий контент для електронного навчання конвертується в один з цих форматів, він стає доступним в кожній підтримуючій його системі, що дозволяє вільно розповсюджувати знання та швидко змінювати вибір системи навчання у відповідності до тематики проектів, з якими компанія працює у даний період [11].

Системи електронного навчання в залежності від складності поділяють на (від більш простих до більш складних):

- засоби розробки курсів (Authoringtools) – забезпечують можливість розробки дистанційних навчальних матеріалів на основі візуального програмування або текстових редакторів;
- системи управління контентом (Learning Object Repositories or CMS) – дозволяють управляти процесом навчання (реєстром користувачів і їх правами доступу, призначеннями користувачам курсів, збором і зберіганням інформації про дії користувачів);
- система управління навчанням (LMS);
- системи управління навчанням і контентом (LCMS) [12].

Як правило, для визначення продуктів, які використовуються для електронного навчання, використовують термін "learning management system" (LMS, система управління навчанням). LMS – це веб-система, яка дозволяє вчителям та студентам обмінюватись матеріалами, надавати, виконувати, повертати на перевірку завдання та спілкуватися, використовуючи Інтернет [4, 13]; це програмне забезпечення, яке використовується для планування, впровадження та оцінки конкретного процесу навчання [14, 15] (рис. 2). Основне завдання LMS – заміна ізольованих і розрізнених навчальних програм на систематизовані методики по оцінці та поліпшенню компетенцій і продуктивності в масштабах організації.

Компанії, які хочуть вносити зміни в окремі курси з метою адаптації їх для своїх співробітників зазвичай використовують Learning Content Management Systems (LCMS, системи управління навчальним контентом). Використовуючи LCMS розробник курсів може створювати невеликі змістовні фрагменти навчання, що включають уроки, теми, модулі, тести для індивідуального навчання, які можуть бути використані неодноразово [16]. Така система дозволяє керувати інтеграцією подібних навчальних об'єктів, що дає змогу персоналізувати зміст електронного навчання, задовольнити потреби окремих груп або співробітників при підготовці до реалізації нового проекту. Крім того, LCMS також спрощує завдання створення, управління та повторного використання навчального контенту в декількох курсах, уроках або темах [11, 17]. Традиційно, LMS забезпечує менеджмент планування навчального процесу, вимог до навчання, навчальних програм та досягнень, а LCMS – управління безпосередньо змістом навчального курсу (табл. 1).

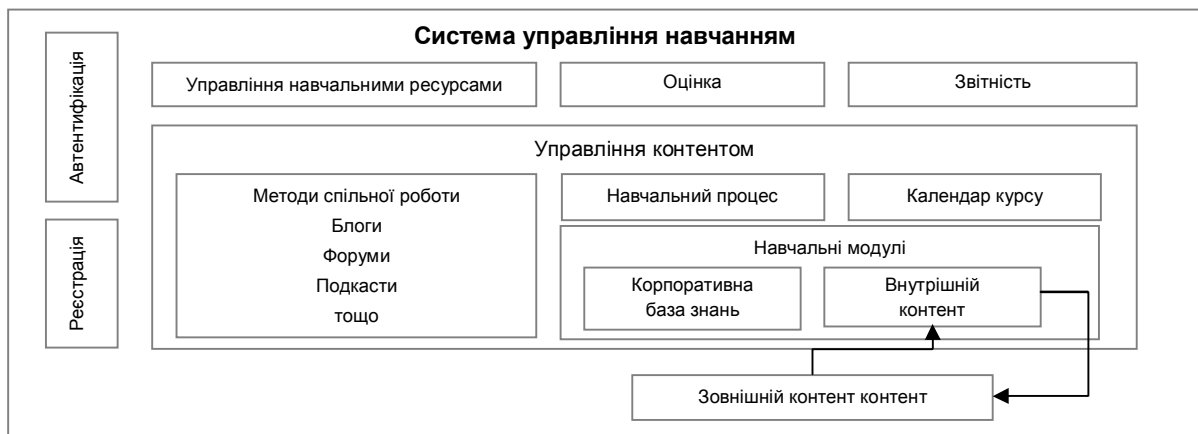


Рис. 2. Загальна структура системи управління навчанням [1]

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика LMS та LCMS

LMS	LCMS
Надає поліпшені можливості доступу та відстеження навчального контенту	Надає поліпшені інструменти створення та управління навчальним контентом
Використовується учнями та адміністраторами	Використовується розробниками контенту
Пропонує готові курси	Дозволяє формувати навчальні об'єкти
Дозволяє здійснювати управління людьми, залученими до навчання	Дозволяє здійснювати управління комп'ютерними файлами

Слід зазначити, що все більша кількість сучасних LMS надають можливість управляти контентом, що розмиває чіткі розбіжності між LMS і LCMS [11].

Система управління тренінгом персоналу (TMS) – це система, що використовується спеціалістами з тренінгу та фахівцями з навчання для організації тренувальної діяльності на основі навчальних програм, записів користувачів та спілкування. У поєднанні з LMS, тренінги, що проводяться інструкторами відповідно до принципів електронного навчання, дозволяють закріпити отримані знання на практиці.

Критерієм класифікації систем управління навчанням може бути розподіл на комерційні та open source системи.

Як правило, системи з відкритим кодом є безкоштовними (Moodle, Sakai, Dokeo тощо), а ті, в яких код закритий – комерційними (Blackboard, SAP, HCM, LMC тощо) [18]. Порівняльна характеристика таких LMS наведена у табл. 2.

При наявності придатних умов, можна впровадити потужні, але недорогі проекти електронного навчання за допомогою LMS з відкритим кодом. З іншого боку, використання Open Source системи управління навчанням у команді, що не має достатніх можливостей та мотивації, призведе до невдачі, адже загальна кількість витраченого часу та ресурсів може бути вищою, ніж вибір комерційної системи з консультантами-експертами для проекту. Крім того, вибір LMS залежить від особливостей бізнес-процесів в IT-компанії та наявних ресурсів. Це рішення безпосередньо впливає на якість навчальних заходів, їхню вартість та успіх в організації. Компанія, приймаючи рішення стосовно вибору системи навчання та тренінгу персоналу, повинна оцінювати справжню спроможність використовувати аутсорсинг, свій бюджет, перспективи власного розвитку та інформаційні можливості.

Особливості застосування систем LMS і TMS у малих та середніх IT-компаніях та особливості їх впровадження

В залежності від напряму діяльності IT-компанії, LMS та TMS можуть розглядатися як інструменти для автоматизації завдань навчання, що дозволяє підвищити продуктивність працівників і ефективність навчального відділу, або ж як цілісне бізнес-рішення, тісно пов'язане з бізнес-стратегією організації. У зв'язку зі зміною функції навчання у корпоративній організації і його переходу від адміністративної необхідності до статусу стратегічного партнера у розвитку бізнесу, у даній роботі пропонується взяти за основу другий підхід, що пов'язаний, в першу чергу, з так званим “адаптивним навчанням”, тобто навчанням, що засноване на наявних знаннях співробітника і бажаний для нього траєкторії його розвитку в компанії (рис. 3).

У якості об'єкта подальших досліджень обрано IT-компанію «AcademySmart» з головним офісом в Україні (Харків) та філіалом в Ізраїлі (Тель-Авів), загальна кількість співробітників якої нараховує 75 чоловік. «AcademySmart» надає послуги з розробки програмного забезпечення протягом останніх 10 років та співпрацює з лідерами галузі на своїх ринках, зокрема, в сфері електронного навчання. Спеціалісти компанії мають досвід у таких сферах як фінансові додатки, системи ERP, EDP, системи бронювання та корпоративні веб-сайти. Незважаючи на наявність корпоративної бази знань, у компанії відсутня система LMS, а передача знань і практичних навичок здійснюється через доступ до існуючої документації, а також у процесі взаємодії між персоналом компанії. Наразі даною компанією розглядається можливість пілотного впровадження системи он-лайн навчання розробників програмного забезпечення.

Таблиця 2 – Комерційні та системи з відкритим кодом

Характеристика	Open source LMS	Комерційна LMS
Плата	Майже всі продукти на ринку є безкоштовними.	Ліцензійні продукти та їх оновлення постачаються за оплату.
Технічна підтримка	Технічна підтримка здійснюється шляхом формування запитань та отримання відповідей на них у формах користувача та відкритих документах постачальника. У деяких випадках для вирішення проблем оговорюється участь професійного консультанта.	Компанія-постачальник надає технічну підтримку згідно з сервісною угодою.
Апаратне забезпечення	LMS розміщується на власному сервері компанії. Для сервісного обслуговування потрібен спеціалізований персонал. Сервер може бути переданий в оренду або на аутсорсинг	Відповідно до договору, LMS може розміщуватися на своєму власному сервері або на серверах постачальника.
Масштабованість	LMS може бути масштабована таким чином, щоб обслуговувати 50 або 5000 користувачів з однаковою якістю.	Масштабованість гарантується компанією-постачальником.
Розвиток	За допомогою використання мови програмування, якою написана LMS, її можна необмежено розвивати у відповідності до потреб компанії. Готові рішення можна отримати, придбавши відповідні плагіни.	Розвиток відбувається за ініціативою постачальника. Компанія-постачальник з метою збереження високого рівня задоволеності клієнтів, покращує продукт, але результат може не відповідати потребам конкретної організації. У цьому випадку, згідно з угодою, для подолання таких питань можуть знадобитися додаткові платежі.
Безпека	Організація повинна вжити заходів для захисту всіх даних у LMS. Оскільки системи відкритого коду розробляються та перевіряються тисячами людей, їх уразливість може бути швидко виявлена та усунена.	Система безпеки, як правило, гарантується компанією-постачальником. Ураження системи безпеки може супроводжуватися втратою та витоком даних. Для уникнення таких наслідків перед заключенням договору необхідно ретельно проаналізувати надійність та компетенцію компанії-постачальника.
Інтеграція	Оскільки вихідні коди є відкритими для адаптації до існуючих та зовнішніх систем, всі проекти можуть бути реалізовані так, як дозволяє архітектура LMS.	Оскільки вихідні коди закриті, існує залежність інтеграції від компанії-постачальника. Можливість інтеграції та наявність спеціальних пропозицій необхідно заздалегідь оговорювати з компанією-постачальником.

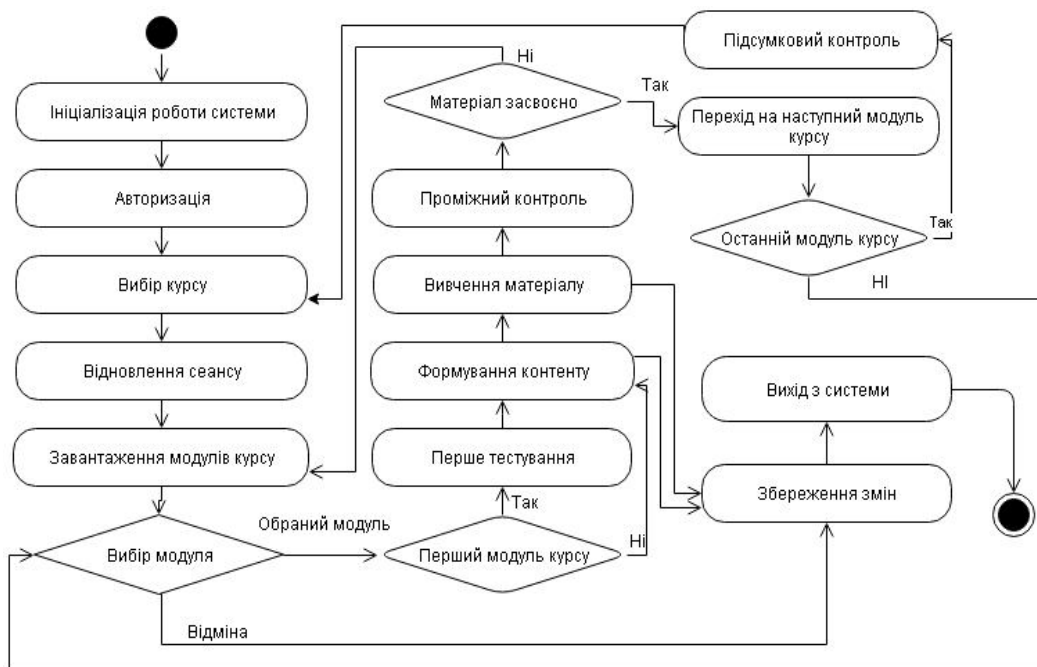


Рис. 3. Адаптивна модель електронного навчання (розроблено авторами)

Для формування рекомендацій стосовно вибору систем електронного навчання та тренінгу персоналу для «AcademySmart», у таблиці 3 наведено порівняльну характеристику трьох найпоширеніших

LMS – Moodle (безкоштовна система з відкритим кодом), Blackboard for Business (комерційна система) та E-front (комерційна система) з позицій їх використання в ІТ-компанії.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика найбільш популярних LMS [12]

Характеристика	Blackboard for Business	E-front	Moodle
Початкова ціна	–	750\$/місяць	–
Цінова модель	Підписка	Підписка, безкоштовний пробний термін	Підписка, безкоштовно
Ліцензія	Платна	Платна	Безкоштовна, відкритий код
Користувачі	Великі підприємства; малі та середні підприємства; неприбуткові організації; державний сектор	Великі підприємства; малі та середні підприємства; неприбуткові організації	Академічні організації; неприбуткові організації; державний сектор
Розгортання	Software as a Service / хмара; самостійна система; мобільний додаток; програма для ПК	Software as a Service / хмара; самостійна система; самостійна система на хмарі; мобільний додаток; програма для персонального комп'ютеру	самостійна система; самостійна система на хмарі; мобільний додаток
Тренування	Документація; вебінари; живі трансляції он-лайн; персонально з тренером	Документація; вебінари; он-лайн уроки; живі трансляції он-лайн;	Документація; он-лайн уроки
Підтримка	Живі трансляції он-лайн; бізнес-години; 24/7	Електронна пошта; база знань; FAQ; живі трансляції он-лайн, бізнес-години	FAQ; он-лайн спільнота
Підтримувані стандарти	TinCanAPI; SCORM1.2; SCORM 2004;AICC; IMS LTI	TinCan API;SCORM 1.2;Section 508;IMS CommonCartridge	TinCan API;SCORM 1.2; SCORM 2004;AICC
Підтримувані типи навчання	Асинхронне самостійне та з інструктором; синхронне у віртуальних класних кімнатах; змішане навчання	Асинхронне самостійне; асинхронне з інструктором; синхронне у віртуальних класних кімнатах; змішане навчання	Асинхронне самостійне; асинхронне з інструктором; змішане навчання
Мобільна підтримка навчання	Он-лайн (при наявності інтернет-зв'язку)	Он-лайн (при наявності інтернет-зв'язку); офф-лайн (при відсутності)	Он-лайн (при наявності інтернет-зв'язку)
Ролі користувачів	Команди та командні ієрархії	Розподілені ролі; призначені ролі; системний дозвіл для ролі; команди та командні ієрархії	Розподілені ролі; призначені ролі; системний дозвіл для ролі; команди та командні ієрархії
Автентифікація користувачів	Самостійна реєстрація; інтеграція SAML2/API	Самостійна реєстрація; самостійна реєстрація з підтвердженням адміністратора; інтеграція ActiveDirectory та LDAP4; інтеграція SAML2 / API; персоналізована сторінка входу користувача; доступ без авторизації	Самостійна реєстрація; самостійна реєстрація з підтвердженням адміністратора
Створення курсів	Вбудований інструмент авторизації; формування он-лайн відео-контенту; інструменти для тестування; планування занять у вигляді он-лайн трансляції	Вбудований інструмент авторизації; зміна параметрів за замовчуванням для курсів; завантаження курсів; можливість повторного використання PPT, PDF, відео; формування он-лайн відео-контенту; інструменти для тестування; інструментарій для нагляду; інструментарій для формування завдань; опції дублювання курсів; планування занять у вигляді он-лайн трансляції; розклад навчання	Вбудований інструмент авторизації; зміна параметрів за замовчуванням для курсів; завантаження курсів; інструменти для тестування; інструментарій для нагляду; інструментарій для формування завдань; опції дублювання курсів
Формати курсів	Соціальний формат; відеоконференції та вебінари в режимі реального часу; опції живого чату	У вигляді тем; гейміфікація; відеоконференції та вебінари в режимі реального часу; опції живого чату; обговорення курсів	Соціальний формат; щотижневий формат; у вигляді тем; обговорення курсів
Оцінка досягнень	Журнал оцінок	Ручна оцінка («маркування»); історія курсу	Журнал оцінок; коментарі журналу оцінок; різні шкали оцінювання; ручна оцінка («маркування»); історія курсу
Гейміфікація	Бейджі; списки найбільш успішних учнів	Бейджі; можливість самостійно створювати бейджі; бали; нагороди; рівні; списки найбільш успішних учнів; можливість самостійно створювати механізми гейміфікації	–
Звітність	Автоматичний розклад звітів; інформаційні панелі та графічні звіти	Технічне обслуговування навчального запису; експорт звітів у різні формати; формування звітності за розкладом; автоматизоване планування звітів; доставка звітів електронною поштою; інформаційні панелі та графічні звіти	Налаштування звітів про оцінки; доставка звітів електронною поштою
Безпека	–	IP-блокувальник; анти-спам; сильні паролі	IP-блокувальник; анти-спам; анти-вірус

Очевидно, що найбільш широкі можливості надає E-front, що поєднує властивості LMS та LCMS, однак його висока вартість може стати на заваді його впровадження у роботу невеликої ІТ-компанії, адже системи такого масштабу є серйозною інвестицією для компанії. Крім того, жодна з проаналізованих систем не надає можливості інтеграції з системами CRM для продажів, HR та рекрутингу, що є необхідним для формування плану кар'єрного розвитку співробітника у компанії та спрощення процесів формування проектних команд при отриманні нових замовлень від компаній-клієнтів. Слід зазначити, що вплив LMS та TMS систем на бізнес-процеси ІТ-компанії може бути як позитивним, так і негативним. Наприклад, у 2012 році компанії США витратили 164.2 млрд доларів на корпоративне навчання і тренінги персоналу, однак більшість таких інвестицій не принесла позитивного ефекту для бізнесу [19]. Основною причиною таких провалів є протиріччя між цілями компанії та цілями окремих співробітників, які розглядають корпоративне навчання як один з інструментів кар'єрного росту в межах або за межами компанії. Таким чином, впровадження таких систем є не тільки проблемою технічного характеру підбору інструментальних засобів і контенту, а й проблемою стратегічного управління компанією. Також впровадження таких систем передбачає вирішення ряду технічних проблем, пов'язаних з організацією навчального процесу [12, 20], пов'язаних з актуальністю контенту, мотивацією співробітників, календарним плануванням навчального процесу, а також відмінностями в ментальному і культурному аспекті учнів [21].

Наступним важливим аспектом є можливості компанії щодо залучення фахівців, здатних створити якісний навчальний контент. З одного боку, технічні фахівці, що ведуть роботу над поточними проектами компанії, є кращими джерелами інформації, і в умовах жорстких правил NDA по суті є єдиними можливими розробниками такого контенту. З іншого боку, залучення таких фахівців є не завжди можливим у зв'язку з їх зайнятістю у проектах. Крім того, якість виробленого ними контенту може бути сумнівною, адже вони не є фахівцями в розробці навчально-методичного матеріалу.

Особливості побудови LMS та TMS значним чином залежать від того, що саме буде предметом корпоративного навчання. Зазвичай робота ІТ-компанії полягає у реалізації окремих проектів із розробки програмного забезпечення. Предметні області окремих проектів можуть бути взагалі не пов'язані одна з одною, що обумовлює різноманітність методик розробки програмного забезпечення, використання інструментальних засобів тощо, і, відповідно, накладає обмеження на самі LMS та TMS.

Таким чином, покриття всіх аспектів діяльності компанії навчально-методичним матеріалом може бути досить неефективним через низку факторів:

- витрати на розробку навчального матеріалу значно більші, ніж бюджет проекту;
- час на розробку матеріалу значно більший за часові рамки проекту;

- в проекті вже існує усталена команда, яка не потребує подальшого навчання;

- проектна документація недостатньо структурована, або неповна (що є характерним для початку роботи над проектом, коли проведення корпоративного навчання є найбільш доцільним).

Таким чином, для успішного впровадження систем електронного навчання та тренінгу персоналу у роботу ІТ-компанії необхідною є наявність структурованої проектної інформації, яка могла б стати основою для навчального контенту у вигляді параграфів, які складаються зі статей, кожна з яких позначена певними ключовими словами для спрощення пошуку.

Типова функціональність та архітектура LMS-, TMS-систем та перспективні можливості її вдосконалення

Типовий функціонал LMS та TMS передбачає наступне: реєстрація користувачів; підтримка каталогу курсів; збереження та надання доступу до змісту і матеріалів курсів електронного навчання та тренінгу; завантаження модулів та інструментів для електронного навчання та тренінгу персоналу; поширення навчального матеріалу; управління навчальними матеріалами; інтеграція ресурсів управління знаннями; перевірка та оцінювання учнів; відстеження та фіксування результатів та прогресу учнів; відстеження навчальних заходів; надання звітів навчання керівництву; можливість спілкуватися у чаті тощо [12, 22, 23]. Корпоративні системи електронного навчання та тренінгу персоналу, як правило, спрямовані на асинхронне (самостійне) онлайнавання, оскільки немає припущення, що інструктор завжди буде присутній. Загальні особливості системи управління навчанням, що використовуються ІТ-компаніями, наведено у табл. 4 [11].

Типова функціональність систем електронного навчання повинна містити сукупність підсистем, які наведено на рис. 4 у вигляді пакетів в нотатції UML, що складаються з декількох окремих функціональних модулів (вони позначені як класи). З позицій планування кар'єри співробітника, особливу роль відіграє можливість створення індивідуальних навчальних планів для окремих слухачів для використання адаптивних методик навчання для розробки індивідуальних програм досягнення конкретної мети розвитку.

Загалом, корпоративні системи електронного навчання та тренінгу персоналу у відповідності до мети навчального процесу та особливостей організації роботи в ІТ-компанії надають достатньо великий обсяг можливої функціональності. У той же час, невіршеною залишається проблема релевантності інформації, що полягає у визначенні зв'язку між конкретними навчальними або тренувальними курсами та колом проблем, з якими працівник компанії має справу у процесі роботи над проектом. Необхідним є формування системи, яка дозволила б визначити можливі шляхи.

Можливим вирішенням цієї проблеми може бути запровадження функціональних зв'язків між навчальним контентом та конкретними проектами для усунення пробілів у знаннях працівників.

Таблиця 4 – Загальні особливості систем управління навчанням

Назва	Зміст
Електронне навчання	Запуск та відстеження курсу он-лайн
Змішане навчання	Наявність курсів, що поєднують традиційне навчання в аудиторії з електронним
Управління талантами	Інструменти для набору персоналу, управління продуктивністю, планування кар'єри
Зв'язки та комунікації (Web 2.0).	Чати, форуми, обмін файлами. У деяких з сучасних LMS передбачається використання соціальних мереж та роботу у групах
Розробка e-learning	Інструменти для розробки та публікації навчального матеріалу
Управління змістом	Інструменти для управління внутрішніми матеріалами курсу
Оцінка та тестування	Здатність проводити тести та оцінку знань у рамках вивчених курсів або окремо. Не завжди включені у корпоративні системи управління навчанням
Віртуальні аудиторії	Доступ до віртуальних лабораторій компанії або третьої сторони
Звітність	Широкий функціонал звітування та можливість налаштування звітів

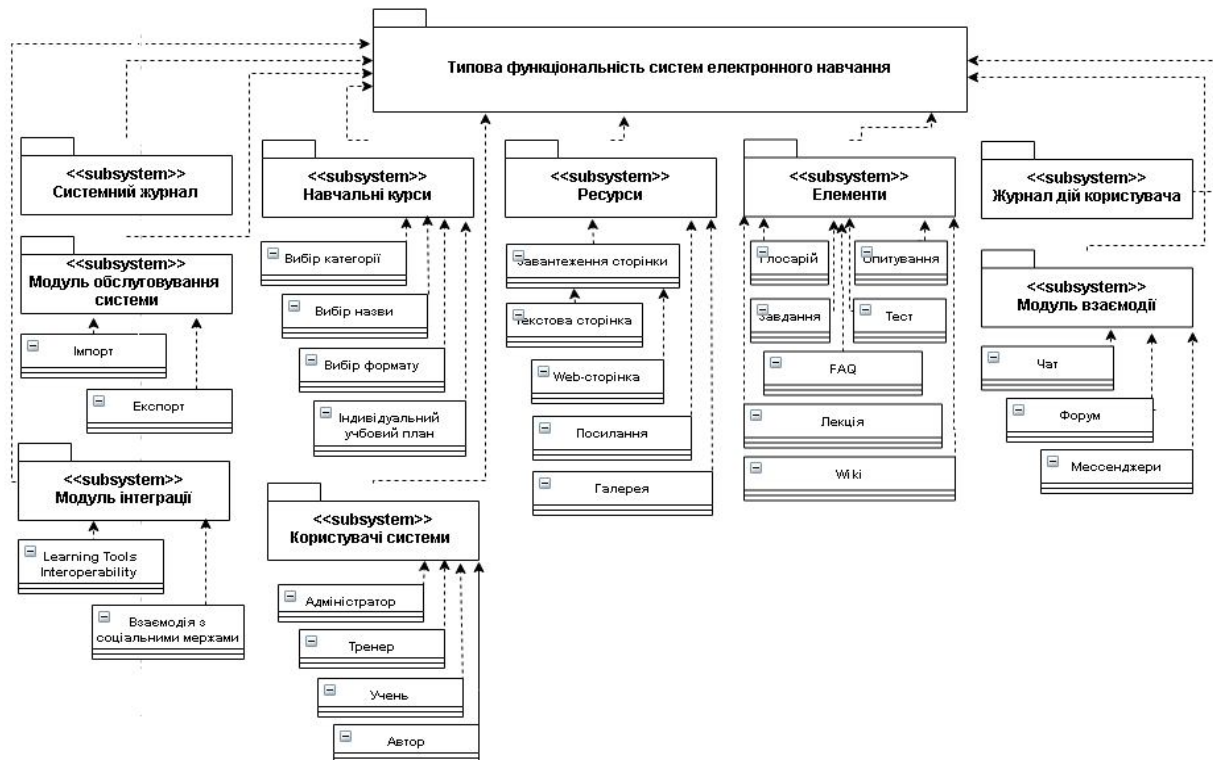


Рис. 4. Типова функціональність системи електронного навчання та тренінгу персоналу (розроблено авторами)

Формування такого комплексного підходу дозволить вирішувати завдання підбору працівників на стадії формування команди проекту за допомогою LMS та TMS систем.

Висновки та напрями подальших досліджень

Основною метою використання LMS та TMS в IT-компанії є формування у персоналу навичок та знань, необхідних для роботи над поточними та майбутніми проектами, а також забезпечення своєрідного репозиторію інтелекту, що дозволить уникнути відтоку знань у разі зміни працівником місця роботи.

У роботі розглянуті основні особливості та функціональні характеристики систем електронного навчання та тренінгу персоналу з позицій їх використання в IT-компанії. На прикладі діяльності компанії «AcademySmart» проаналізовано особливості та основні складності впровадження LMS та TMS у бізнес-процеси IT-компанії. Проаналізовано проблеми, пов'язані з організацією роботи систем електронного навчання та тренінгу персоналу, серед яких найбільш

вагомими є фінансовий аспект, складність технічної реалізації та побудова навчального контенту.

Разом з тим, визначено, що ряд аспектів діяльності компанії може бути в тій чи іншій мірі стандартизований завдяки впровадженню таких систем. Наприклад, використання загальної методики організації роботи над проектом компанії або окремих інструментальних засобів – організація сховища коду, проектної документації, засобів управління проектами тощо. Крім того, навчальний матеріал по використанню стандартних інструментальних засобів, загальних практик розробки програмного забезпечення вже існує. Таким чином, зроблено акцент на тому, що для сучасної LMS є принциповим наявність модуля інтеграції, що дозволяє вести віддалену роботу з контентом на умовах оренди.

Подальші дослідження передбачають огляд моделей та методів для формалізації процесів побудови та застосування сучасних систем LMS і TMS з метою вибору критеріїв, показників та методів оцінки ефективності розробки та використання таких систем у малих та середніх IT-компаніях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bakar M.S.A., Jalil D., Udin Z.M. Knowledge Repository: Implementing Learning Management System into Corporate Environment. *J. of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*. Durian Tunggal: UTeM, 2017. Vol. 9 (2-12). P. 141-145.
2. Atkinson P. E., Howells G., Reilly M., Ross C. Have you got an e-learning strategy yet? *Management Services*. Lichfield: Institute of Management Services, 2012. Vol. 56(2), P. 43-47.
3. de Oliveira P. C., de Almeida Cunha C. J. C., Nakayama, M. K. Learning management systems (LMS) and e-learning management: an integrative review and research agenda. *Journal of Information Systems and Technology Management*. Sao Paulo: University of Sao Paulo, 2016. Vol. 13(2). P. 157-180.
4. de Oliveira P. C. A Knowledge-Based Framework to Facilitate E-training Implementation. Lisboa: Univ. Nova de Lisboa. 66 p.
5. Chen E. Successful e-learning in corporations. *Communications of the IIMA*, San Bernardino: California State University, 2008. Vol. 8(2). P. 45-54.
6. Benninck R. Implementing e-learning from the corporate perspective. *Knowledge Tree e-journal*, 2004. Режим доступу : <http://wikieducator.org/images/8/83/Benninck.pdf> (останнє звернення 20.08.2018).
7. Batalla-Busquets J., Pacheco-Bernal C. On-the-job e-learning: Workers' attitudes and perceptions. *The International Review of Research in Open and Distance Learning*. Athabasca: Athabasca University, 2013. Vol. 14(1). P. 40-64.
8. Burgess J., Russell J. The effectiveness of distance learning initiatives in organizations. *Journal of Vocational Behavior*. Elsevier, 2003. Vol. 63(2). P. 289-303.
9. Gwebu K., Wang J. The role of organizational, environmental and human factors in e-learning diffusion. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*. IGI Global, 2007. Vol 2(2). P. 59-78.
10. Ellis P. F., Kuznia K. D. Corporate elearning impact on employees. *Global journal of business research*. Hilo: The Institute for Business and Finance Research, 2014. Vol. 8 (4), P. 1-16.
11. McIntosh D. Vendors of Learning Management and eLearning Products. Режим доступу: https://teachonline.ca/sites/default/files/pdfs/vendors_of_elearning_products_march2018.pdf (останнє звернення 1.09.2018).
12. eLearning Industry. Режим доступу: <https://elearningindustry.com/> (останнє звернення 21.10.2018).
13. Lonn S., Teasley S. Saving time or innovating practice: investigating perceptions and uses of learning management systems. *Computers & Education*. Elsevier, 2009. Vol. 53(3). P. 686-694.
14. Almrashdeh I.A., Sahari N., Zin N.A.M. , Alsmadi M. Distance learning management system requirements from student's perspective. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. JATIT, Islamabad, 2011. Vol. 24(1). P. 17-27.
15. Ellis, R.K. *Field Guide to Learning Management Systems*. Alexandria: STD Learning Circuits, 2009. 7 p.
16. Horton W., Horton K. *E-learning Tools and Technologies: A consumer's guide for trainers, teachers, educators, and instructional designers*. Wiley Publishing, 2003. 590 p.
17. Rosenberg M. J. *Beyond e-learning: approaches and technologies to enhance organizational knowledge, learning, and performance*. John Wiley & Sons, 2006. 400 p.
18. Ülker D., Yılmaz Y. Learning Management Systems and Comparison of Open Source Learning Management Systems and Proprietary Learning Management Systems. *Journal of systems integration*. Praha: CSSI, 2016. Vol. 2. P. 18-24.
19. Magnus M. B., Schrader F.D. The Great Training Robbery. Режим доступу: http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/16-121_bc0f03ce-27de-4479-a90e-9d78b8da7b67.pdf (останнє звернення 22.08.2018).
20. Molinsky A. Why Most Corporate Training Fails (and How to Fix It in 3 Easy Steps). Режим доступу: <https://www.inc.com/andy-molinsky/how-to-make-corporate-training-actually-work.html> (останнє звернення 25.08.2018).
21. Andriotis N. What are the Most Common Training Challenges and how do successful managers overcome them? Режим доступу: <https://www.efrontlearning.com/blog/2017/04/common-training-challenges-solutions.html> (останнє звернення 25.08.2018).
22. Rogers P. *Encyclopedia of distance learning*. Information Science Reference (an imprint of IGI Global), 2009. 2612 p.
23. Ninoriya S., Chawan P.M., Meshram B.B. *CMS, LMS and LCMS for eLearning*. IJCSI International Journal of Computer Science. Mahebourg: SoftwareFirst Ltd, 2011. Vol. 8(2). P. 644-647.

REFERENCES

1. Bakar M.S.A., Jalil D. and Udin Z.M. (2017), "Knowledge Repository: Implementing Learning Management System into Corporate Environment", *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, UTeM, Durian Tunggal, No 9(2-12), pp 141-145.
2. Atkinson P.E., Howells G., Reilly M. and Ross C. (2012), "Have you got an e-learning strategy yet?", *Management Services*, Institute of Management Services, Lichfield, No 56(2), pp. 43-47.
3. de Oliveira P. C., de Almeida Cunha C. J. C. and Nakayama, M. K. (2016), "Learning management systems (LMS) and e-learning management: an integrative review and research agenda", *Journal of Information Systems and Technology Management*, University of Sao Paulo, Sao Paulo, No 13(2), pp. 157-180.
4. de Oliveira P.C. (2014), *A Knowledge-Based Framework to Facilitate E-training Implementation*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 66 p.
5. Chen E. (2008), "Successful e-learning in corporations", *Communications of the IIMA*, California State University, San Bernardino, No 8(2), pp. 45-54.
6. Benninck R. (2004), "Implementing e-learning from the corporate perspective". *Knowledge Tree e-journal*, available at: <http://wikieducator.org/images/8/83/Benninck.pdf> (last accessed August 20, 2018).
7. Batalla-Busquets J. and Pacheco-Bernal C. (2013), "On-the-job e-learning: Workers' attitudes and perceptions", *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, Athabasca University, Athabasca, No 14(1), pp. 40-64.
8. Burgess J. and Russell J. (2003), "The effectiveness of distance learning initiatives in organizations", *Journal of Vocational Behavior*, Elsevier, No 63(2), pp. 289-303.
9. Gwebu K. and Wang J. (2007), "The role of organizational, environmental and human factors in e-learning diffusion", *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, IGI Global, No 2(2), pp. 59-78.
10. Ellis P. F. and Kuznia K. D. (2014), "Corporate elearning impact on employees", *Global journal of business research*, The Institute for Business and Finance Research, Hilo, No 8 (4), pp. 1-16.

11. McIntosh D. (2018), "Vendors of Learning Management and eLearning Products", available at: https://teachonline.ca/sites/default/files/pdfs/vendors_of_elearning_products_march2018.pdf (last accessed September 1, 2018).
12. eLearning Industry. Available at: <https://elearningindustry.com/> (last accessed October 21, 2018).
13. Lonn S. and Teasley S. (2009), "Saving time or innovating practice: investigating perceptions and uses of learning management systems", *Computers & Education*, Elsevier, No 53(3), pp. 686-694.
14. Almrashdeh I.A., Sahari N., Zin N.A.M. and Alsmadi, M. (2011), "Distance learning management system requirements from student's perspective", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, JATIT, Islamabad, No 24(1), pp. 17-27.
15. Ellis, R.K. (2009), *Field Guide to Learning Management Systems*, STD Learning Circuits, Alexandria, 7 p.
16. Horton W. and Horton K. (2003), *E-learning Tools and Technologies: A consumer's guide for trainers, teachers, educators, and instructional designers*, Wiley Publishing, 590 p.
17. Rosenberg M. J. (2006), "Beyond e-learning: approaches and technologies to enhance organizational knowledge, learning, and performance", John Wiley & Sons, 400 p.
18. Ülker D. and Yılmaz Y. (2016), "Learning Management Systems and Comparison of Open Source Learning Management Systems and Proprietary Learning Management Systems", *Journal of systems integration*, CSSI, Praha, No 2, pp. 18-24.
19. Magnus M. B. and Schrader F.D. (2016), *The Great Training Robbery*. Available at: http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/16-121_bc0f03ce-27de-4479-a90e-9d78b8da7b67.pdf (last accessed August 22, 2018).
20. Molinsky A. (2017), *Why Most Corporate Training Fails (and How to Fix It in 3 Easy Steps)*. Available at: <https://www.inc.com/andy-molinsky/how-to-make-corporate-training-actually-work.html> (last accessed August 25, 2018).
21. Andriotis N. (2016), *What are the Most Common Training Challenges and how do successful managers overcome them?* Available at: <https://www.efrontlearning.com/blog/2017/04/common-training-challenges-solutions.html> (last accessed August 25, 2018).
22. Rogers P. (2009), "Encyclopedia of distance learning", Information Science Reference (an imprint of IGI Global), 2612 p.
23. Ninoriya S., Chawan P.M. and Meshram B.B. (2011) "CMS, LMS and LCMS for eLearning", *IJCSI International Journal of Computer Science*, SoftwareFirst Ltd, Mahebourg No 8(2), pp. 644-647.

Received (Надійшла) 01.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2018

Классификация, типичная функциональность и особенности применения систем электронного обучения и тренинга персонала в IT-компаниях

Н. В. Ткачук, В. Е. Сокол, М. А. Белова, А. С. Космачов

Предметом исследования статьи являются особенности электронного обучения и тренинга персонала в IT-компаниях. **Цель работы** - анализ основных особенностей современных систем электронного обучения (LMS) и систем тренинга персонала (TMS) в соответствии с требованиями IT-компаний, классификация таких систем для определения факторов влияния на эффективность процессов их выбора, внедрения и дальнейшего функционирования; разработка предложений по их совершенствованию. В статье решаются следующие **задачи**: анализ преимуществ и недостатков использования LMS, TMS в IT-компаниях; определение общей структуры и классификации систем электронного обучения; характеристика основных особенностей внедрения и использования LMS-, TMS- систем в малых и средних IT-компаниях; характеристика типичных функций систем электронного обучения и тренинга персонала. Используются следующие **методы**: системный подход. Получены следующие **результаты**: проанализированы особенности корпоративного обучения и определена специфика использования LMS, TMS в IT-компаниях; охарактеризованы основные проблемы и сложности, которые возникают при внедрении таких систем в работу IT-компаний; определен типичный функционал систем электронного обучения и тренинга персонала и возможные аспекты его совершенствования. Проанализированы проблемы, связанные с организацией работы систем электронного обучения и тренинга персонала, среди которых наиболее значимыми являются финансовый аспект, сложность технической реализации и построение учебного контента. **Выводы**: на примере компании «AcademySmart» определены особенности внедрения LMS и TMS в бизнес-процессы IT-компаний.

Ключевые слова: e-learning; e-training; система управления обучением; LMS; система тренинга персонала; TMS.

Classification, typical functionality and application peculiarities of learning management systems and training management systems at IT-companies

M. Tkachuk, V. Sokol, M. Bilova, O. Kosmachov

The subject of the article's research is the peculiarities of e-learning and e-training at IT-companies. **The purpose** of the paper is to analyze the main features of modern learning management systems (LMS) and training management systems (TMS) in accordance with the requirements of IT-companies, the classification of such systems to determine the factors influencing the effectiveness of the processes of their selection, implementation and further functioning; development of suggestions for their improvement. The article addresses the following **tasks**: analysis of the advantages and disadvantages of using LMS, TMS in the IT-company; definition of the overall structure and classification of e-learning systems; characteristics of the main features of LMS, TMS at the small and medium-sized IT-companies; characteristics of LMS and TMS typical functions. The following **methods** are used: systems approach. The following **results** were obtained: the features of corporate training are analyzed and the specifics of using LMS, TMS in an IT-company are determined; the main problems and difficulties that arise when introducing such systems into the work of an IT-company are described; the typical functionality of e-learning and e-training systems and possible aspects of its improvement are defined. The problems associated with the organization of work of e-learning and e-training systems are analyzed, among which the most significant are the financial aspect, the complexity of the technical implementation and the construction of training content. **Conclusions**: using "AcademySmart" as an example, the specifics of introducing LMS and TMS into business processes of IT-company are defined.

Keywords: e-learning; e-training; learning management system; LMS; training management system; TMS.

Intelligent information systems

UDC 519.179.2 : 004.415.5 : 351.814.33

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.16

O. Timochko

Holding «Kreditech», Hamburg, Germany

METHOD OF SOFTWARE VERIFICATION OF AIR OBJECTS CLASSIFICATION FUZZY LOGICAL SYSTEM

Objects of different classes are detected in the process of monitoring airspace. The classification of an air object is the process of establishing its belonging to a preassigned class. Classes are automatically determined or set automated. The unambiguous assignment of air objects to a particular class is an actual scientific task. The purpose of the article is to develop a method for verifying software for a fuzzy logical system for classifying air objects. This problem is solved in a fuzzy setting. To solve this problem, an appropriate software verification method has been developed. The method is based on fuzzy colored Petri nets and uses a base of fuzzy production rules. The structure of the fuzzy network verification model has been developed. The basis of the model is a fuzzy colored Petri net for representing the base of fuzzy production rules for classifying air objects. For the convenience of visualization of the fuzzy network verification model, the interpretation of the elements of the fuzzy colored Petri net is introduced. The analysis of the state space of a fuzzy network verification model reflects all possible markings. The state space allows to obtain the values of the indicators of all the basic properties of the Petri net. The CPN Tools modeling system is used to build and analyze the state space. The full standard report for the fuzzy logical classification system of air objects was obtained from the simulation results. The report fragment with conclusions about the correctness of the model is given. The report contains sections of state space statistics - the number of nodes, arcs and status, indicators of the properties of reversibility, limitation, survivability and fairness of transitions. The method includes five steps. **1.** A base of fuzzy production rules is being developed. **2.** The set of interpretation rules transforms the base of fuzzy production rules into the form of fuzzy colored Petri nets. **3.** The model is examined for proper functioning. **4.** When an error is detected, its type is analyzed. After its correction, the program repeats, starting with any of stages 1, 2 or 3. **5.** Reports on the total space of states with various combinations of source data are issued. A final report is issued after analyzing the correctness of the set of reports and correcting errors that have occurred.

Keywords: air object, classification; software verification; colored Petri nets; fuzzy production rule; verification method.

Introduction

Formulation of the problem. There are two main problems, when developing a software verification method. The first problem is related to the representation of the subject area by some kind of mathematical apparatus. The second problem is related to building test suites.

It is obvious that the solution of both problems depends on the subject area for which the software is being developed. So, consider the fuzzy logical system of classification of air objects in the control of airspace. Software verification in this case is represented by dynamic interacting processes. They can be built on a colored Petri net [1]. For a fuzzy logic system, it is necessary to develop a base of fuzzy production rules [2].

Thus, when monitoring airspace the method of verification of a software for the classification of air objects must necessarily include:

- a) representation of dynamic interacting processes in the state space by a fuzzy colored Petri net;
- b) the base of fuzzy production rules of a fuzzy logical system. The system allows to classify air objects while controlling the airspace;
- c) a set of interpretation rules for converting the base of fuzzy production rules into the form of fuzzy colored Petri nets.

The purpose of the article is to develop a method for verifying the software of a fuzzy logical system for classifying air objects while monitoring airspace.

Analysis of the References. In [1], a specific fuzzy colored Petri net was considered. It is used to

classify air objects in the airspace control process. The work [2] is devoted to the development of a base of rules for fuzzy products. The fuzzy colored Petri net corresponds to the specified rule base. Obviously, this fuzzy colored Petri net is a fuzzy network model. The model is used to verify the software of a fuzzy logical classification system for air objects. The structure of this fuzzy network model of verification is shown in Fig. 1. The proposed fuzzy network model of verification is a feasible model. The model is limited to the framework of formal software verification methods.

The paper [3] is devoted to consideration of the stability of solutions for fuzzy control tasks in classification systems. Tasks take into account the interaction of dynamic fuzzy processes.

In the papers [4, 5], the influence of errors and redundancy in knowledge bases on the effectiveness of solutions is investigated.

Thus, the aforementioned allows us to proceed with the development of a method for verifying the software of a fuzzy logical classification system.

Presentation of the main material

Fuzzy colored Petri net corresponds to the base of fuzzy production rules for classifying air objects. This network is a fuzzy network model of software verification for classifying airborne objects. Its structure is shown in Fig. 1.

The proposed fuzzy network model is considered as an executable model in the framework of formal software verification methods.

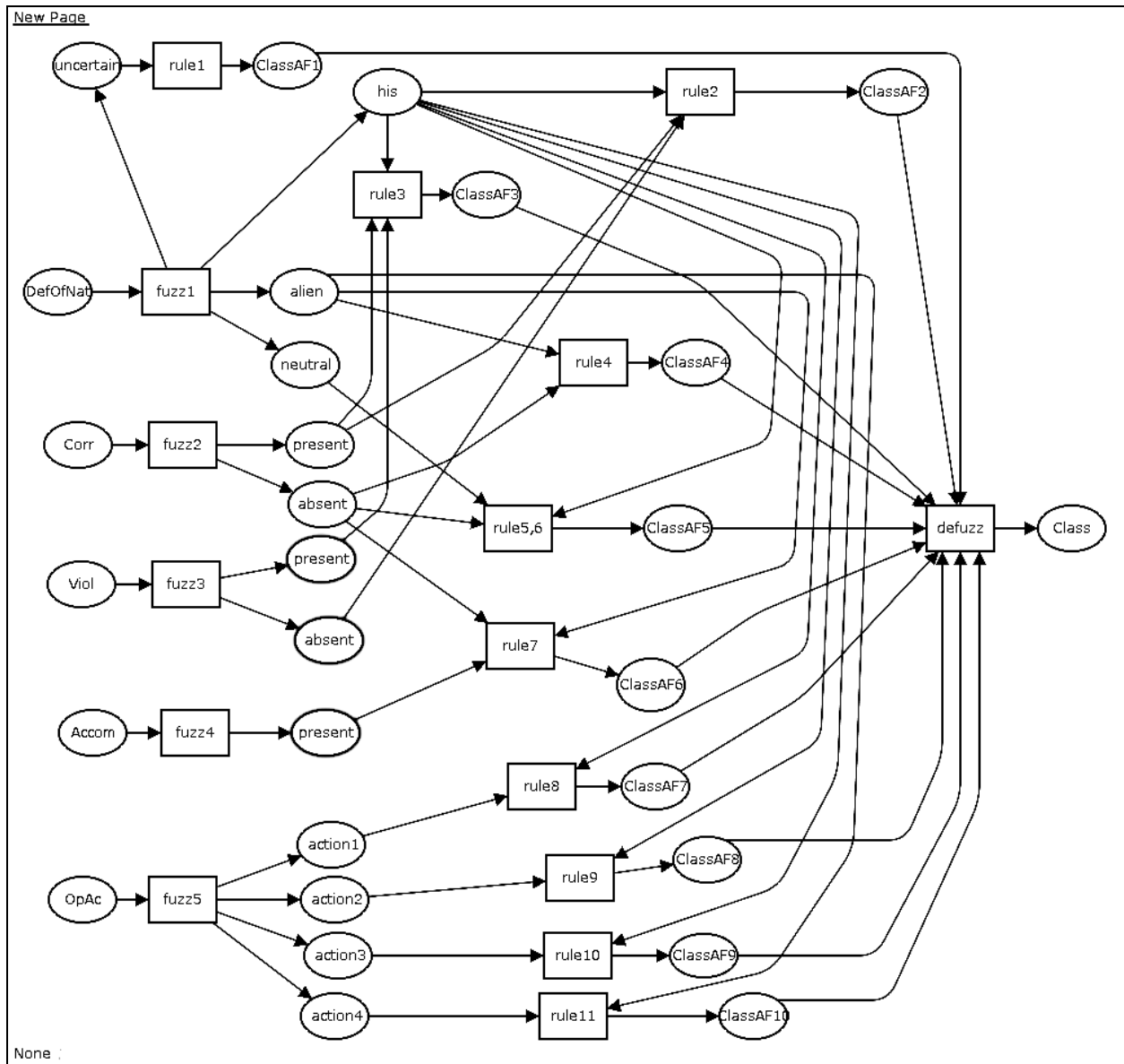


Fig. 1. The structure of the fuzzy network model of software verification for the classification of airborne objects, built on the basis of a fuzzy colored Petri net

We visualize a fuzzy network model of verification. To do this, we interpret the elements of the fuzzy colored Petri net in terms of a fuzzy logical system as follows:

- the positions DefOfNat, Corr, Viol, Accorn, OpAc correspond to the linguistic variables from the composition of the premises of the fuzzy production rules for the classification of air objects;
- transitions fuzz1-fuzz4 correspond to fuzzification operations (introducing fuzziness) for the corresponding values of linguistic variables;
- the positions following the transitions (fuzzification operations) correspond to the terms – the values of linguistic variables from the composition of the base of fuzzy products rules for the classification of air objects;
- transitions rule1-rule11 correspond to the operations of aggregating the degrees of truth of prerequisites for each of the fuzzy production rules for classifying air objects and operations of activating of conclusions for each rules;

- ClassAF1-ClassAF10 positions correspond to the values of the output linguistic variable from the composition of the base of fuzzy products rules for classifying air objects;

- the transition defuzz corresponds to the operation of defuzzification (reduction to clarity);
- the Class position corresponds to the value of the output linguistic variable with the maximum degree of belonging to one of its terms according to the results of processing the ClassAF1-ClassAF10 positions.

The state space of a fuzzy network verification model reflects all possible markings. We know CPN Tools modeling system [6]. It allows you to build a state space and analyze the values of the indicators of all the basic properties of the Petri net. According to the results of the simulation of a fuzzy network verification model, a complete standard report was obtained for the classification of air objects.

A fragment of the report with conclusions about the correctness of the model is given in Table 1.

Table 1 – Analysis of the report on the state space of a fuzzy network verification model

Report Results	Conclusions
State Space (<i>Statistics</i>) Status Full Nodes 45 Arcs 58	The state space of the model is calculated completely and contains 45 nodes and 58 arcs
<i>Reversibility properties</i> Home Markings All Dead Markings None	All markings are "home" – the model is reversible. There are no "dead" markings – there are no dead ends in the model
<i>Survivability properties</i> Dead Transition Instances None Live Transition Instances All	There are no "dead" transitions. All transitions are "live". All events occur during a communication session.
<i>Restricted properties - upper and lower bounds of numeric and multisets</i> Best Integer Bounds (Upper, Lower), Best (Upper, Lower) Multiset Bounds	
Corr 1 0 present 3 0 Class 1 0 Corr 1 (1, (1, 1)) ++ 1 (2, (1, 1)) ClassAF5 1 1 ++ 1 2	The network is limited, with boundaries equal to 3 – for the present place, 1 – for Corr, 1 – for the Class location, etc., which corresponds to the source data. Based on the data of the upper bounds of multisets of places, we conclude that there are tags in the places in accordance with the rules of the model
<i>Fairness Properties (fairness transitions)</i>	
fuzz1 Just rule3 Impartial rule7 Fair defuzz No Fairness	The validity of the fuzz1 transition is justified, the transition of rule3 is objective, the transition of rule7 is proved, and the transition of defuzz and of the other transitions is not proved

The presented report contains:

- sections of statistics of the state space – the number of nodes, arcs and status;
- indicators of the property of reversibility – a list of returnable markings (Home Markings) and "dead" markings (Dead Markings);
- indicators of survivability properties – a list of "live" transitions (Live Transition Instances) and "dead" transitions (Dead Transition Instances);
- indicators of the property of boundedness – the upper and lower numerical boundaries (Integer Bounds) and multisets (Multi-set Bounds);
- indicators of the property of fairness of the conversion transition (Just – justified, Fair – proved, Impartial – objectively, No Fairness – not determined).

Thus, a software verification method has been developed for a fuzzy logical classification system for airborne objects. It uses fuzzy colored Petri nets and includes the following steps (Fig. 2):

1. A base of fuzzy production rules is being developed. These rules apply to a fuzzy logical system. The system is designed to classify air objects in the process of monitoring airspace.

2. The set of interpretation rules transforms the base of fuzzy production rules into the form of fuzzy colored Petri nets.

3. The model is examined for proper functioning. For this, various combinations of source data are specified. These combinations are performed in different sequences.

4. When an error is detected, its type is analyzed. After its correction, the program repeats, starting with any of stages 1, 2 or 3.

5. Reports on the total space of states with various combinations of source data are issued. A final report is issued after analyzing the correctness of the set of reports and correcting errors that have occurred.

Conclusion

1. A software verification method has been developed for a fuzzy logical classification system for airborne objects when controlling airspace. Extended fuzzy colored Petri nets are chosen by the basic mathematical apparatus for the method. This class of Petri nets has a great advantage in comparison with other classes.

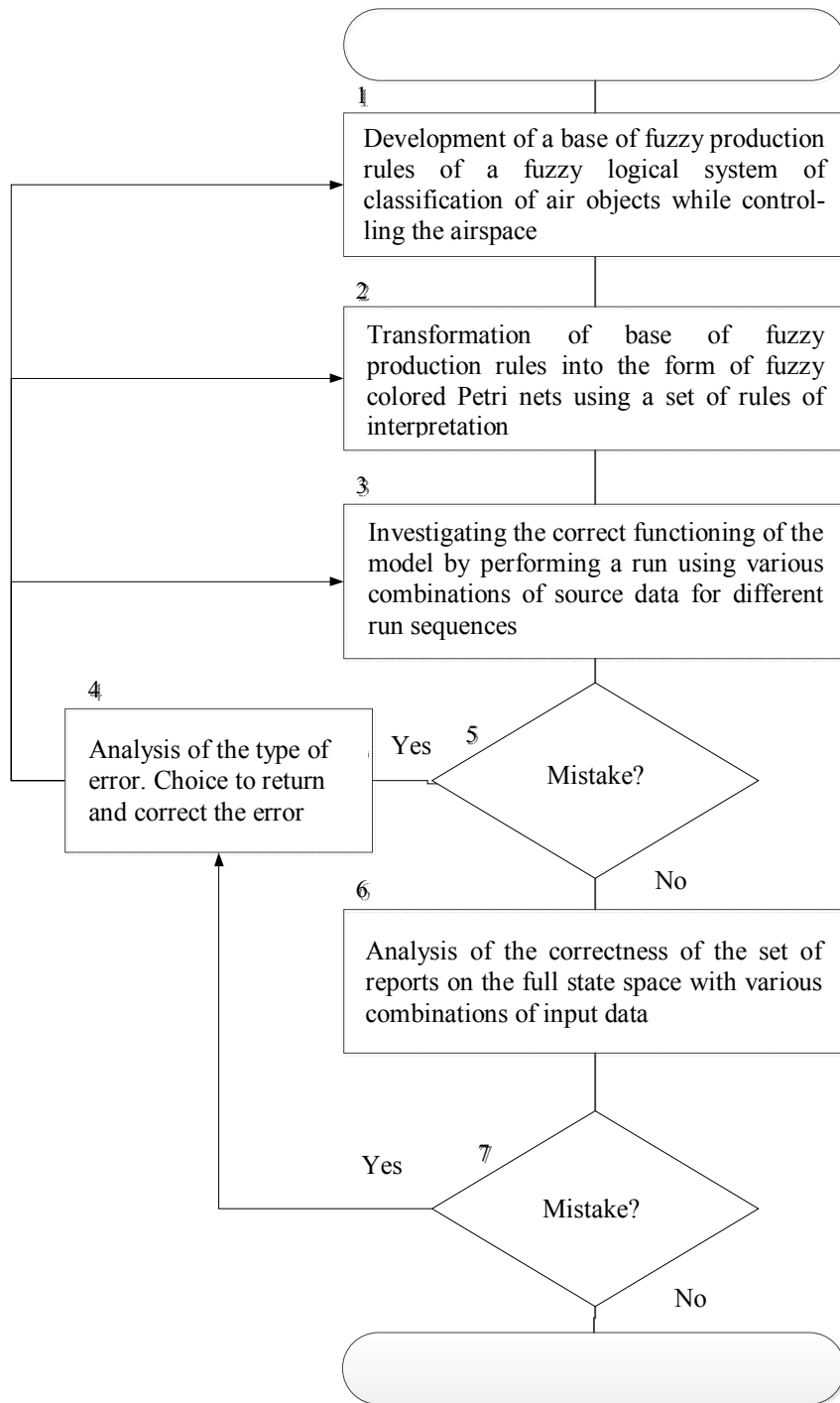


Fig. 2. Sequence of actions in the proposed method

It reduces the dependence of the dimension of a fuzzy network verification model on the dimension of dynamically interacting domain processes.

2. A base of fuzzy production rules of a fuzzy logical system and a generalized algorithm for implementing these rules for classifying air objects has been developed.

3. The fuzzy logical model allows to take into account the non-stochastic and subjective nature of the decision-making process on the classification of air objects.

4. The developed software verification method after analyzing various types of errors allows to classify air objects.

REFERENCES

1. Timochko, A.A. (2018), "Representation of dynamic interacting processes in the state space of a fuzzy colored Petri net for verification of a software product of a fuzzy logical classification system", *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4(33), pp. 82-89.

2. Timochko, A.A. (2018), "Development of fuzzy productive rules of a fuzzy logical classification system of air objects in the process air space control and a generalized algorithm of their realization", *Systems of Control, Navigation and Communication*, PNTU, Poltava, No. 5(51), pp. 33-37, available at: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.033>.
3. Hasegama, T., Furuhashi, T., Uchikama, Y. (1996), "Stability analysis of fuzzy control systems based on Petri nets", *Proc. Int. Discourse on Fuzzy Logic and the Management of Complexity*, FLAMOC'96, pp. 191-195.
4. Nasareth, D.L. (1993), "Investigating the applicability of Petri nets for rule-based system verification", *IEEE Trans. Software Eng.*, 4, pp. 402-415.
5. Polat, F., Guvenir, H. (1993), "UVT: A unification-based tool for knowledge base verification", *IEEE Expert*, 8, pp. 69-75.
6. Zaitsev, D.A., Shmeleva, T.R. (2006), *Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools*, ONAT, Odessa, 60 p.

Received (Надійшла) 23.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

Метод верифікації програмного продукту нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів

О. О. Тімочко

У процесі контролю повітряного простору повітряні об'єкти виявляються і класифікуються за різними задалегідь визначеними класами. Віднесення до класів здійснюється автоматично або встановлюється автоматизовано та є актуальним науковим завданням. Метою статті є розробка методу верифікації програмного забезпечення нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів. Завдання вирішується у нечіткій постановці. Для її вирішення розроблений відповідний метод верифікації програмного продукту. Метод базується на нечітких розфарбованих мережах Петрі і нечітких продукційних правилах. Розроблена структура нечіткої мережі моделі верифікації. Основою моделі є нечітка розфарбована мережа Петрі для подання нечітких продукційних правил для класифікації повітряних об'єктів. Для зручності візуалізації моделі перевірки нечіткої мережі вводиться інтерпретація елементів нечіткої розфарбованої мережі Петрі. Аналіз простору станів нечіткої мережі моделі верифікації, що відображає всі можливі маркування і дозволяє отримати значення показників всіх основних властивостей мережі Петрі. Його побудова й аналіз виконаний за допомогою системи моделювання CPN Tools. Система моделювання CPN Tools використовується для побудови й аналізу простору станів. За результатами моделювання був отриманий повний стандартний звіт для нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів. Наведений фрагмент звіту з висновками про правильність моделі. Звіт містить розділи статистики простору станів – кількості вузлів, дуг і статус, показники властивостей оборотності, обмеженості, живучості і справедливості спрацювання переходів. Даний метод складається з п'яти етапів. **1.** Розробка бази нечітких продукційних правил. **2.** Перетворення бази нечітких продукційних правил в форму нечітких розфарбованих мереж Петрі. **3.** Дослідження правильності функціонування моделі. **4.** Аналіз типу помилки при її виявленні. Після її корекції програма повторюється, починаючи з будь-якого з етапів 1, 2 або 3. **5.** Випуск звітів про загальний простір станів з різними комбінаціями вихідних даних. Заключний звіт видається після аналізу правильності набору звітів і виправлення помилок, що виникли.

Ключові слова: нечітке продукційне правило; класифікація повітряних об'єктів; база знань; функція приналежності; ознака повітряного об'єкта.

Метод верификации программного продукта нечеткой логической системы классификации воздушных объектов

А. А. Тимочко

В процессе контроля воздушного пространства воздушные объекты обнаруживаются и классифицируются по различным заранее определенным классам. Отнесение к классам производится автоматически или устанавливается автоматизированно и является актуальной научной задачей. Целью статьи является разработка метода верификации программного обеспечения нечеткой логической системы классификации воздушных объектов. Задача решается в нечеткой постановке. Для ее решения разработан соответствующий метод верификации программного продукта. Метод базируется на нечетких раскрашенных сетях Петри и нечетких продукционных правилах. Разработана структура нечеткой сети модели верификации. Основой модели является нечеткая раскрашенная сеть Петри для представления нечетких продукционных правил для классификации воздушных объектов. Для удобства визуализации модели проверки нечеткой сети вводится интерпретация элементов нечеткой раскрашенной сети Петри. Анализ пространства состояний нечеткой сети модели верификации отражает все возможные маркировки и позволяет получить значения показателей всех основных свойств сети Петри. Его построение и анализ выполнялся с помощью моделирующей системы CPN Tools. Система моделирования CPN Tools используется для построения и анализа пространства состояний. По результатам моделирования был получен полный стандартный отчет для системы нечеткой логической классификации воздушных объектов. Приведен фрагмент отчета с выводами о правильности модели. Отчет содержит разделы статистики пространства состояний – количество узлов, дуг и статус, показатели свойств обратимости, ограниченности, живучести и справедливости срабатывания переходов. Данный метод включает в себя пять этапов. **1.** Разработка базы нечетких продукционных правил. **2.** Преобразование базы нечетких продукционных правил в форму нечетких раскрашенных сетей Петри. **3.** Исследование правильности функционирования модели. **4.** Анализ типа ошибки при ее обнаружении. После ее коррекции программа повторяется, начиная с любого из этапов 1, 2 или 3. **5.** Вывод отчетов об общем пространстве состояний с различными комбинациями исходных данных. Окончательный отчет выдается после анализа правильности набора отчетов и исправления возникших ошибок.

Ключевые слова: воздушный объект; классификация; верификация программного обеспечения; раскрашенные сети Петри; нечеткое продукционное правило; метод верификации.

В. М. Левикін, О. В. Чала

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕМПОРАЛЬНОЇ БАЗИ ЗНАНЬ

Предметом вивчення в статті є процеси використання темпоральних знань для підтримки прийняття рішень по управлінню складеними об'єктами в умовах неповноти інформації про функціонування підприємства. **Мета** полягає в розробці комплексного підходу до побудови, а також застосування темпоральних баз знань для аналізу поточного стану підприємства як складеного об'єкту на різних рівнях організаційної ієрархії та підтримки прийняття рішень з управління. **Задачі:** розробити модель темпоральної бази знань для представлення контекстно-орієнтованих темпоральних залежностей щодо поведінки об'єкту управління; удосконалити метод виявлення аномальних станів об'єкту управління на основі аналізу темпоральних даних і знань; представити технології автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань для підтримки прийняття рішень з управління підприємством. **Методами**, що використовуються, є методи побудов баз знань та методи підтримки управління в умовах невизначеності. Отримані такі **результати**. Розроблено модель темпоральної бази знань для застосування в інформаційно-управляючих системах. Удосконалено метод виявлення аномальних станів об'єкту управління в інформаційно-управляючих системах на основі використання темпоральних залежностей. Запропоновано технології побудови та використання темпоральної бази знань для підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: Розроблено модель темпоральної бази знань, що містить патерни і реалізацію логічних фактів, які відображають стани об'єкту управління, а також правил, які визначають зв'язки між цими станами у часі. Модель дозволяє підвищити ефективність управління підприємством в умовах невизначеності на основі аналізу його поточного стану та виводу допустимих послідовностей дій із переходу до цільового стану. Удосконалено метод виявлення аномальних станів об'єкту управління в інформаційно-управляючих системах шляхом врахування зв'язку між діями на об'єкті управління та контекстом виконання цих дій. Метод дозволяє врахувати поточні властивості складових комплексного об'єкту управління для класифікації поточного стану в умовах невизначеності. Запропоновано технології побудови та використання темпоральної бази знань в інформаційно-управляючих системах, що забезпечують ітеративне поповнення знань при функціонуванні підприємства та їх використання в умовах неповноти інформації про об'єкт управління.

Ключові слова: інформаційно-управляюча система; підтримка прийняття рішень; темпоральна залежність; темпоральна база знань.

Вступ

Інформаційно-управляючі системи призначені для автоматизованого вирішення задач управління підприємством як комплексним об'єктом з використанням даних, що відображають динаміку зміни станів цього підприємства [1]. Задачі управління реалізуються в умовах невизначеності, яка характеризується неповнотою інформації про стан підприємства та є результатом як внутрішніх, так і зовнішніх впливів на його діяльність [2].

Процес управління в умовах невизначеності комбінує типові послідовності дій та фрагменти, пов'язані із прийняттям рішень виконавцями. Виконавці використовують свої персональні, часто неформалізовані знання для вибору раціональних рішень в умовах неповноти інформації щодо поточного стану об'єкту управління [3].

У випадку недостатньої інформації про значення окремих параметрів можуть бути використані апріорі знання про типові властивості складових комплексного об'єкту управління, що визначають значення цих параметрів за замовчуванням [4]. Однак у випадку невизначеності щодо поточного стану об'єкту управління в цілому для автоматизації управління доцільно побудувати та використовувати базу знань, що містить знання та досвід кваліфікованих співробітників підприємства [5].

Автоматизована побудова такої бази знань потребує проведення аналізу поведінки об'єкту управ-

ління [6]. Однак зазвичай інформація про поведінку об'єкту управління не відображає причинно-наслідкові залежності між його станами, а фіксує послідовність зміни станів в часі. Тому автоматизоване виявлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань пов'язано із труднощами.

В той же час аналіз поведінки об'єкту управління дозволяє виділити темпоральні залежності [7, 8]. Ці залежності визначають можливі та допустимі зміни станів об'єкту управління в часі, що дозволяє прогнозувати його поведінку в умовах неповноти інформації відносно поточного стану.

Викладене свідчить про актуальність використання темпоральних знань для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності на основі автоматизованої побудови темпоральної бази знань.

Структуризація темпоральних залежностей виконана в [9, 10]. Модель бази знань, що відображає характеристики артефактів як складових об'єкту управління, а також залежності між цими артефактами, представлена в [9, 10]. Узагальнений метод автоматизованої побудови бази знань на основі аналізу запису послідовностей станів об'єкту управління запропонований в [11]. Метод для визначення ваг темпоральних правил, які враховуються при визначенні ймовірності управлінських рішень, представлено в [12]. Методи ймовірнісного виводу, що забезпечують можливості підтримки прийняття рішень з управління підприємством в умовах невизначеності, запропоновані в роботах [13, 14].

Однак питанням інтеграції розроблених моделей та методів в рамках інформаційної технології підтримки рішень в умовах невизначеності на основі узагальненої моделі темпоральної бази знань не приділено достатньо уваги.

Таким чином, загальна задача побудови й використання темпоральної бази знань для підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності щодо стану об'єкту управління вимагає свого вирішення.

Метою статті є розробка комплексного підходу до автоматизованої побудови та застосування темпоральних баз знань для аналізу поточного стану підприємства як складеного об'єкту й підтримки прийняття рішень з управління в умовах невизначеності. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- розробка моделі темпоральної бази знань для представлення часових контекстно-орієнтованих правил щодо поведінки об'єкту управління;
- удосконалення методу виявлення аномальних станів об'єкту управління на основі аналізу темпоральних залежностей, що характеризують його поведінку;
- розробка технологій автоматизованої побудови та застосування темпоральної бази знань для підтримки прийняття рішень з управління підприємством.

Модель темпоральної бази знань

Темпоральна база знань (ТБЗ) призначена для зберігання залежностей, що формалізують поведінку об'єкту управління в умовах невизначеності. В ситуації невизначеності застосування традиційних моделей об'єкту управління пов'язано зі значними труднощами внаслідок неповноти інформації про значення змінних, які характеризують його властивості та стан.

Темпоральна база знань містить як дані, факти, темпоральні правила, що визначають можливу й допустиму поведінку об'єкту управління, так і набір алгоритмів, що оперують з цими правилами та забезпечують можливість для підтримки прийняття послідовності управляючих рішень. Структуру темпоральної бази знань представлено на рис. 1.

ТБЗ об'єднує формалізований опис патернів представлення декларативних і процедурних знань, а також ймовірнісні знання про послідовності зміни станів об'єкту управління у часі та про можливість формування послідовностей управляючих дій.

$$Kb = \langle Kr, D, K, W \rangle, \tag{1}$$

де Kr – формалізоване представлення знань у вигляді набору патернів; D – зв'язані дані, що характеризують стан та структура об'єкту управління; K – знання у вигляді логічних фактів та темпоральних правил, що визначають можливу й допустиму поведінку об'єкту управління в часі; W – набір алгоритмів ймовірнісного виведення в ТБЗ.

Представлення знань Kr в ТБЗ визначає способи формального опису даних Kr_D , логічних фактів Kr_F , правил Kr_R та алгоритмів Kr_W :



Рис. 1. Структура темпоральної бази знань інформаційно-управляючої системи

$$Kr = \langle Kr_D, Kr_F, Kr_R, Kr_W \rangle. \tag{2}$$

Дані в темпоральній базі знань визначаються тільки у форматі обмежень, заданих представленням Kr_D :

$$D = \{ Af, \{ a_j^k \}, \Pi_{Af} | Kr_D \}, \tag{3}$$

де $Af = \{ af_j \}$ – множина артефактів, тобто атомарних об'єктів, система яких складає комплексний об'єкт управління, а множина властивостей арте-

фактів $af_j - \{a_j^k\}$; $\Pi_{Af} \subseteq Af \times Af$ – відношення між артефактами, що визначають, наприклад, організаційну ієрархію на об'єкті управління.

Аналогічно, знання K у формі логічних фактів K_F та темпоральних правил K_R визначаються згідно шаблонів Kr_F та Kr_R :

$$K = \{K_F, K_R\}, \quad (4)$$

$$K_F = \{ft_i | Kr_F\}, \quad (5)$$

$$K_R = \{r_m | Kr_R\}. \quad (6)$$

Алгоритми W реалізуються у вигляді заздалегідь визначених процедур, що задають послідовність обробки темпоральних правил для формування рішень із переводу об'єкту управління до цільового стану. Такі процедури можуть оперувати або на всій базі знань, або на її підмножині.

В другому випадку обмеження, що впливають на вибір підмножини темпоральних правил, встановлюються або на основі артефактів, або шляхом прямого визначення підмножини атрибутів цих артефактів:

$$W = \{W_r, W_{Af}, W_a\}. \quad (7)$$

де W_r – алгоритм виводу, що оперує на всій множині темпоральних правил; $W_{Af} = \{w_{Af} | Af_i\}$ – алгоритми виводу, що використовують факти та правила, пов'язані із заданою підмножиною артефактів Af_i ; $W_a = \{w_a | \{a_j^k\}\}$ – алгоритми виводу, що використовують факти та правила, пов'язані із апріорно заданою підмножиною атрибутів.

Отримана модель дозволяє відобразити багатоваріантність поведінки об'єкту управління на основі відбору підмножин темпоральних правил, і тим самим сформувати спектр управлінських рішень із різною ймовірністю реалізації у поточному стані.

Модель забезпечує можливість вирішення задач аналізу поточного стану об'єкту управління та підтримки управлінських рішень.

Метод виявлення аномальних станів об'єкту управління з урахуванням контекстно-орієнтованих залежностей

Задача аналізу поточного стану об'єкту управління вирішується за допомогою запропонованого в роботі [15] методу виявлення аномальних станів на основі аналізу темпоральних знань. Цей метод враховує залежності між станами об'єкту управління, які відображені логічними фактами. Кожен із фактів представлений предикатом із повним набором змінних, що характеризують властивості усіх атомарних об'єктів, які використовуються в процесі управління.

Однак зазначений метод не враховує контекстно-орієнтовані залежності, які задаються підмножи-

ною атрибутів $\{a_j^k\}$, що і свідчить про необхідність його доповнення такою властивістю.

Головна ідея методу полягає формуванні узагальненої характеристики поточного стану об'єкту управління як суми ваг темпоральних правил, що обумовлюють перехід від початкового до поточного стану, та використанні цієї характеристики для класифікації поточного стану.

В процесі класифікації вага поточного стану порівнюється з аналогічними характеристиками альтернативних станів, досягнення яких виконується в результаті типових послідовностей дій, апріорно заданих в існуючій моделі об'єкту управління.

Метод в якості вхідних даних використовує записи про поведінку об'єкту управління у вигляді послідовності його реалізованих станів.

Удосконалений метод містить у собі такі етапи.

Еман 1. Формування множини послідовностей $S'_i = \langle ft_{i,1}, \dots, ft'_{i,j} \rangle$ логічних фактів $ft_{i,j}$, що відображають послідовність зміни властивостей об'єкту управління, які привели до поточного стану s_j .

Поточний стан представляється фактом $ft'_{i,j}$.

Кожен логічний факт із цієї послідовності визначається як предикат на підмножині значень змінних, що описують поточний стан.

$$ft_{i,j} = Q(\{a_j^k\}), \{a_j^k\} \subseteq s_j. \quad (8)$$

Вибір підмножини значень змінних дозволяє сформулювати як правила типу *Next* та *Future*, які задають послідовність станів в цілому, так і правила типу *Until*, які визначають контекстні умови виконання управляючих дій [8].

Еман 2. Формування множини темпоральних правил типів *Next*, *Future* та *Until*. Особливості формування вказаних правил представлені в роботі [8].

Еман 3. Формування підмножин p_m з двох та більше послідовних фактів для кожного кортежу S'_i :

$$p_m = \langle ft_{i,l}, ft_{i,l+1}, \dots, ft_{i,l-1}, ft_{i,l} \rangle, 1 \leq l \leq j. \quad (9)$$

Ці послідовності фактів є «маркерами» послідовності станів, що привели до поточного стану об'єкту управління.

Еман 4. Формування альтернативних послідовностей фактів S_i , що складаються із p_m та приводять до типових станів об'єкту управління, тобто:

$$S_i = p_m : ft_{i,L} \neq ft'_{i,j}, ft_{i,L-1} = ft_{i,j-1}. \quad (10)$$

Еман 5. Формування правил та обмежень для послідовностей S_i .

Обмеження виконуються для всіх можливих послідовностей станів у вхідних даних. Особливості формування обмежень представлені в роботі [13].

Еман 6. Виявлення аномального стану на основі обмежень.

Якщо існують обмеження, що виконуються в типових режимах S_i функціонування об'єкту управління і вони не задовольняються для послідовності S'_i , то поточний стан визначається як аномальний. Робота методу на цьому етапі завершується.

В іншому випадку виконуються етапи 7-9 перевірки на основі суми ваг правил.

Етап 7. Видалення обмежень із загального переліку правил. Обмеження мають вагу, що дорівнює нескінченності і тому не можуть бути використані при сумуванні ваг правил.

Етап 8. Розрахунок потенціалів для поточного стану $ft_{i,j}$ та альтернативних станів $ft_{i,L}$. Потенціал розраховується як сума ваг правил для кожної послідовності S_i та S'_i .

Етап 9. Класифікація поточного стану на основі порівняння множини потенціалів.

Класифікація виконується шляхом обчислення різниць між потенціалами для множини альтернативних фактів та порівняння отриманих результатів із пороговим значенням.

Представлений метод відрізняється від існуючого врахуванням підмножини змінних для опису стану на етапі 1, що дає можливість враховувати правила типу *Until* на етапах 2, 5-8. Також введено додаткове обмеження на етапі 4: характеристики передостанніх станів в послідовностях p_m повинні співпадати для альтернативних варіантів поведінки об'єкту управління.

Це обмеження дозволяє виділити лише ті послідовності фактів, які безпосередньо привели до поточного стану.

Технології автоматизованої побудови темпоральної бази знань та її використання для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності

Технологія автоматизованої побудови темпоральної бази знань реалізує етапи життєвого циклу комплексного знання-орієнтованого об'єкту управління, використовує представлену модель бази темпоральних знань і моделі темпоральних правил [8], та відповідає загальному методу автоматизованої побудови бази знань [11].

Технологія складається із трьох основних фаз: побудови патернів темпоральних залежностей; формування темпоральних правил; побудови ієрархії правил згідно ієрархічної структури об'єкту управління.

Фаза 1. Побудова патернів темпоральних знань на основі аналізу характеристик станів комплексного об'єкту управління.

Патерни в базі темпоральних знань відображають стани об'єкту управління та перехід між цими станами. Патерни першого виду представлені логічними фактами. Набір змінних для кожного логічного факту залежить від множини властивостей артефактів, які характеризують стани об'єкту управління.

Патерни другого виду задають зв'язок між послідовними станами, та будь-якими станами об'єкту управління. Вказаний зв'язок може бути визначений як для представленого логічним фактом опису стану в цілому, так і для підмножини змінних, що характеризують цей стан.

Типові патерни, які не залежать від властивостей предметної області, представлено в роботі [8]. Вказаний набір патернів може бути доповнений характерними для предметної області залежностями.

Фаза 2. Побудова логічних фактів та темпоральних правил на основі аналізу записів про поведінку об'єкту управління.

На даній фазі з використанням патернів формуються логічні факти для кожного стану об'єкту управління. Набір змінних для кожного факту характеризує стан підмножини артефактів складеного об'єкту управління.

Після визначення фактів формуються правила, що пов'язують ці факти.

Правила задають зв'язок у часі між відповідними станами об'єкту управління.

Для кожного правила обчислюється вага. Остання відповідає ймовірності його виконання на відомому наборі записів про поведінку об'єкту управління.

Правила, які виконуються на всіх відомих наборах, доцільно розглядати як обмеження на можливі варіанти реалізації послідовностей управлінських дій.

Тому при визначенні ваг отримані на фазі 2 залежності розділяються на правила та обмеження.

Вага правил обчислюється запропонованим в роботі [12] методом. Вага обмежень встановлюється рівною нескінченності. Таке значення ваги дозволяє в подальшому зменшити складність ймовірнісного виводу в базі темпоральних знань.

В результаті застосування даної технології формується множина темпоральних залежностей, що визначають ймовірнісні знання про поведінку об'єкту управління.

Фаза 3. Побудова ієрархії залежностей в базі темпоральних знань.

На даній фазі за потреби визначаються декілька рівнів деталізації правил, що відповідають організаційній структурі підприємства як об'єкта управління [16]. У випадку визначення рівнів ієрархії застосовується метод ймовірнісного виведення, що представлений в роботі [14], а у випадку «пласкої» бази знань – метод виведення [13].

Результатом застосування технології є зважена база фактів та темпоральних правил, що характеризують підприємство як об'єкт управління. Структура цих правил обумовлює вибір методу ймовірнісного виводу згідно наведеної моделі ТБЗ.

Технологія підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності з використанням темпоральної бази знань відповідає моделі життєвого циклу комплексного об'єкту управління [17] та методу підтримки циклу управління складеним об'єктом в інформаційно-управляючих системах в умовах невизначеності на основі темпоральних знань [18]

Технологія містить у собі дві ключових фази, які циклічно виконуються при реалізації управління, та вирішують задачу аналізу стану об'єкту управління та синтезу спектру можливих послідовностей управлінських рішень.

Фаза 1. Аналіз поточного стану складеного об'єкту управління.

Головна мета цієї фази полягає в тому, щоб на основі результатів аналізу вибрати один із двох підходів до управління підприємством як комплексним об'єктом.

Аналіз виконується на основі порівняння декількох варіантів попередньої поведінки об'єкту управління, як було показано у представленому вище методі.

У випадку типової поведінки (тобто відсутності невизначеності) даний стан класифікується як стандартний, що передбачає подальшу реалізацію традиційного підходу до управління з використанням апріорно заданих детермінованих моделей.

Класифікація поточного стану як аномального є ознакою неповноти інформації про об'єкт управління, тобто свідчить про його функціонування в умовах невизначеності. В даному випадку для підтримки прийняття управляючих рішень використовується ймовірнісний знання-орієнтований підхід, що реалізується на другій фазі.

Фаза 2. Формування множини допустимих послідовностей дій для переходу від поточного до цільового стану об'єкту управління.

Мета даної фази полягає у виведенні ймовірних шляхів вирішення задачі управління, тобто послідовності переведення об'єкту управління до цільового стану.

Набір послідовностей станів формується з використанням темпоральних правил шляхом ймовірнісного виводу в базі знань з використанням методу [13]. Для кожної послідовності станів на основі ваг темпоральних правил [12] обраховується ймовірність її реалізації. Оскільки опис кожного стану містить у собі управляючу дію, яка привела до виникнення цього стану, то на основі послідовності станів може бути сформована відповідна послідовність управляючих дій.

Підприємство є складеним об'єктом управління, представленим на різних рівнях організаційної ієрархії. Тому на даній фазі також враховується рівень деталізації знань про діяльність підприємства на основі виділення відповідної підмножини його станів [16]. Це дозволяє провести ймовірнісний

вивід в базі знань та сформувані можливі послідовності управлінських дій на різних рівнях організаційної ієрархії з використанням представленого в роботі [14] метода.

Висновки

1. Розроблено модель темпоральної бази знань, що містить патерни і реалізацію логічних фактів, які відображають стани об'єкту управління, правил, які визначають зв'язки між цими станами у часі, та алгоритмів ймовірнісного виведення, які задають зв'язки між темпоральними правилами. Модель дозволяє підвищити ефективність управління підприємством в умовах невизначеності на основі аналізу його поточного стану та виводу допустимих послідовностей дій із переходу до цільового стану.

2. Удосконалено метод виявлення аномальних станів об'єкту управління в інформаційно-управляючих системах шляхом врахування темпоральних правил, що встановлюють контекстні залежності виконання управляючих дій. Метод дозволяє врахувати поточні властивості елементів складеного об'єкту управління для класифікації його поточного стану в умовах невизначеності.

3. Запропоновано технології побудови та використання темпоральної бази знань в інформаційно-управляючих системах.

Технологія автоматизованої побудови темпоральної бази знань формує цю базу шляхом виділення зважених темпоральних правил та обмежень, що пов'язують між собою стани об'єкту управління, а також управляючі дії та контекст виконання цих дій.

Технологія інтегрується в життєвий цикл об'єкту управління та забезпечує можливість поповнення бази знань в реальному часі.

Технологія підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності з використанням темпоральної бази знань передбачає формування множини ймовірних послідовностей станів об'єкту управління з урахуванням його організаційної ієрархії і, відповідно, множини ймовірних послідовностей управляючих дій, що переводять об'єкт управління до цільового стану.

Технологія забезпечує підвищення ефективності управління в умовах неповноти інформації про об'єкт управління на основі вибору із найбільш ймовірних контекстно-залежних послідовностей управляючих дій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sljivic S. Management control in modern organizations. / S. Sljivic, S. Skorup, P. Vukadinovic // International Review. – 2015. – Vol. 4-5. – P. 39-49.
2. Dechow N. Management control of the complex organization – relationships between management accounting and information technology / N. Dechow, M. Granlund, J. Mouritsen. – Published in Chapman C., Hopwood A. & Shields M. (eds.) Handbook in Management Accounting Research. Oxford: Elsevier, 2007. – P. 625-640.
3. Chala O. Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management / O. Chala // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 40-44. –DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.07>.
4. Kalynychenko O. Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining / O. Kalynychenko, S. Chalyi, Y. Bodyanskiy, V. Golian, N. Golian // 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). – 2013. – DOI: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662>.

5. Kendal S.L. An introduction to knowledge engineering / S.L. Kendal, M. Creen. – London: Springer, 2007. – 290 p.
6. Levykin V. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system // V. Levykin, O. Chala / EUREKA: Physics and Engineering. – 2018. – Vol. 4. – P. 29-35.
7. Чала О. В. Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах / О. В. Чала // Сучасні інформаційні системи : науково-технічний журнал. – 2018. – Том 2, № 3. – С. 54-59.
8. Chala O. Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base / O. Chala // Econtechmod. – 2018. – Vol. 07, № 3. – P. 53 – 58.
9. Левикин В. М. Розробка моделі багатоваріантного знання-ємного бізнес-процесу // В. М. Левикин, О. В. Чала / Вісник херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 4(59). – С. 195-202.
10. Левыкин В. М. Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов // В. М. Левыкин, О. В. Чала / УСиМ. – 2016. – № 6. – С. 59-66.
11. Levykin V. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system / V. Levykin, O. Chala // EUREKA: Physics and Engineering. – 2018. – № 4. – P. 29-35.
12. Levykin V. Method of determining weights of temporal rules in Markov logic network for building knowledge base in information control system / V. Levykin, O. Chala // EUREKA: Physics and Engineering. – 2018. – № 5. – P. 3-10. – DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>.
13. Levykin V. Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management / V. Levykin, O. Chala // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018 – № 5/3(95). – P. 16-24. – DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142664>.
14. Чала О. В. Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0» // Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – № 4 (50). – С. 86-90.
15. Chala O. Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge / O. Chala // EUREKA: Physics and Engineering. – 2018. – Vol. 6. – P. 28-35. – DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00787>.
16. Чала О. В. Метод обобщения представления знание-емкого бизнес-процесса / О. В. Чала // Бионика интеллекта. – 2016. – № 2 (87). – С. 101-105.
17. Левикин В. М. Модель жизненного цикла знание-емкого бизнес-процесса / В. М. Левикин, О. В. Чала // Управляющие системы и машины. – 2017. – № 1. – С. 68-76, 85.
18. Левикин В. М., Чала О. В. Підтримка управління складеним об'єктом в ІУС з використанням темпоральних залежностей / В. М. Левыкин, О.В. Чала // Біоніка інтелекту. – 2018. – № 1(90). – С. 77-83.

REFERENCES

1. Sljivic, S. Skorup, S. and Vukadinovic, P. (2015), “Management control in modern organizations”, *International Review*, Vol. 4-5, pp. 39-49.
2. Dechow, N., Granlund, M. and Mouritsen, J. (2007), “Management control of the complex organization – relationships between management accounting and information technology”, *Handbook in Management Accounting Research*, Elsevier, Oxford, pp. 625-640.
3. Chala, O. (2018), “Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management”, *Advanced information systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 40-44, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.07>.
4. Kalynyuchenko, O., Chalyyi, S., Bodyanskiy, Y., Golian, V. and Golian, N. (2013), “Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining”, *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), DOI: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662>.
5. Kendal, S.L. and Creen, M. (2007), *An introduction to knowledge engineering*, Springer, London, 290 p.
6. Levykin, V. and Chala, O. (2018), “Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system”, *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. 4, pp. 29-35.
7. Chala, O. (2018), “Construction of temporal rules for representing knowledge in information control systems”, *Advanced information systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 54-59.
8. Chala, O. (2018), “Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base”, *Econtechmod*, Vol. 07, No. 3, pp. 53-58.
9. Levykin, V. and Chala, O. (2016), “Modelling less-structured knowledge-intensive business process”, *Bulletin of the Kherson National Technical University*, No. 4(59), pp. 195-202.
10. Levykin, V. and Chala, O. (2016), “The Model of Knowledge-Intensive Business Process for the Process Mining”, *Control systems and machines*, No. 6, pp. 59-66.
11. Levykin, V. and Chala, O. (2018), “Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system”, *EUREKA: Physics and Engineering*, No. 4, pp. 29-35.
12. Levykin, V. and Chala, O. (2018), “Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system”, *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. 5, pp. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>.
13. Levykin, V. and Chala, O. (2018), “Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 5/3(95), pp. 16-24. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142664>.
14. Chala, O. (2018), “The method of hierarchical inference in the knowledge base of the information control system in the "Enterprise 2.0" paradigm”, *Control Systems, Navigation and Communication*, No. 4 (50), pp. 86-90.
15. Chala, O. (2018), “Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge”, *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. 6, pp. 28-35. DOI: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00787>.

16. Chala, O. (2016), "Developing a method of forming a multi detailed representation of the knowledge-intensive business process", *Bionics of intelligence*, No. 2 (87), pp. 101-105.
17. Levykin, V. and Chala, O. (2017), "Model of lifecycle of knowledge-intensive business process", *Control systems and machines*, No. 1. pp. 68–76, 85.
18. Levykin V. and Chala O. (2018), "Supporting for managing the composite object in the MIS using temporal dependencies", *Bionics of intelligence*, No. 1(90), pp. 77-83.

Received (Надійшла) 10.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

Поддержка принятия решений в информационно-управляющих системах с использованием темпоральной базы знаний

В.М. Левыкин, О.В. Чала

Предметом изучения в статье являются процессы использования темпоральных знаний для поддержки принятия решений по управлению составными объектами в условиях неполноты информации о функционировании предприятия. **Цель** заключается в разработке комплексного подхода к построению, а также применению темпоральных баз знаний для анализа текущего состояния предприятия как составного объекта на разных уровнях организационной иерархии и поддержки принятия решений по управлению. **Задачи:** разработать модель темпоральной базы знаний для представления контекстно-ориентированных темпоральных зависимостей о поведении объекта управления; усовершенствовать метод выявления аномальных состояний объекта управления на основе анализа темпоральных данных и знаний; разработать технологии автоматизированного построения и использования темпоральной базы знаний для поддержки принятия решений по управлению предприятием. **Методами** являются: методы построения баз знаний и методы поддержки управления в условиях неопределенности. Получены следующие **результаты**. Разработана модель темпоральной базы знаний для применения в информационно-управляющих системах. Усовершенствован метод выявления аномальных состояний объекта управления в информационно-управляющих системах на основе использования темпоральных зависимостей. Предложены технологии построения и использования темпоральной базы знаний для поддержки управленческих решений в условиях неопределенности. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: Разработана модель темпоральной базы знаний, содержащей паттерны и реализацию логических фактов, отражающих состояния объекта управления, а также правил, устанавливающих связи между этими состояниями во времени. Модель позволяет повысить эффективность управления предприятием в условиях неопределенности на основе анализа его текущего состояния и вывода допустимых последовательностей действий по переходу к целевому состоянию. Усовершенствован метод выявления аномальных состояний объекта управления в информационно-управляющих системах путем учета связи между действиями на объекте управления и контекстом выполнения этих действий. Метод позволяет учесть текущие свойства составляющих комплексного объекта управления для классификации текущего состояния в условиях неопределенности. Предложены технологии построения и использования темпоральной базы знаний в информационно-управляющих системах, обеспечивающие итеративное пополнение знаний при функционировании предприятия, а также их использование в условиях неполноты информации об объекте управления.

Ключевые слова: информационно-управляющая система; поддержка принятия решений; темпоральная зависимость; темпоральная база знаний.

Support decision-making in information control systems using the temporal knowledge base

V. Levykin, O. Chala

The **subject matter** of the article are the processes of using temporal knowledge to support decision-making on the control of composite objects within the framework of the enterprise functioning paradigm. The **goal** is to develop an integrated approach to building, as well as the use of temporal knowledge bases for analyzing the current state of the enterprise as an integral object at different levels of the organizational hierarchy and decision support for control. **Tasks:** to develop a model of the temporal knowledge base for the presentation of context-oriented temporal dependencies on the behavior of the control object; improve the method of detecting anomalous states of the control object based on the analysis of temporal data and knowledge; to present technologies for the automated construction and use of a temporal knowledge base to support decision-making on enterprise management. The **methods** used are: methods of construction knowledge bases and methods of supporting management in conditions of uncertainty. The following results were obtained. The following **results** were obtained. A model of a temporal knowledge base has been developed for use in information management systems. The method of detecting anomalous states of the control object in information control systems based on the use of temporal dependencies has been improved. Technologies for building and using a temporal knowledge base to support management decisions under uncertainty are proposed. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows: A model of a temporal knowledge base has been developed, containing patterns and the realization of logical facts reflecting the state of the control object, as well as the rules establishing the links between these states over time. The model makes it possible to increase the efficiency of enterprise management in conditions of uncertainty based on an analysis of its current state and the derivation of permissible sequences of actions for the transition to a target state. The method for detecting anomalous states of a control object in information control systems has been improved by taking into account the connection between actions at the control object and the context for performing these actions. The method allows to take into account the current properties of the components of the complex control object to classify the current state in conditions of uncertainty. The proposed technology for the construction and use of a temporal knowledge base in information management systems that provide for the iterative replenishment of knowledge in the operation of an enterprise and their use in the context of incomplete information about the control object.

Keywords: information control system; decision support; temporal dependence; temporal knowledge base.

Methods of information systems protection

UDC 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.18

V. Hordiichuk

Naval Institute of National University "Odesa maritime academy", Odesa, Ukraine

METHOD OF ACCURACY INCREASE IN RADIO CONTROL SYSTEMS WITH ORTHOGONAL FREQUENCY MULTIPLEXING AT THE CONSIDERATION OF THE TIMER SIGNAL CONSTRUCTIONS USE

The issue of improving the efficiency of radiocommunication systems and radiocommunication complexes in a complex radio-electronic environment is a prime scientific problem, which attracts attention of a large number of leading scientists. In this article, the author carried out research aimed at increasing the structural secrecy in radio-frequency communication systems with orthogonal frequency multiplexing using timer signal constructions, due to the development of a method of increasing the secrecy in radio-frequency systems with orthogonal frequency muxification due to the use of timer signal structures. In the course of the research carried out by the author, the basic provisions of the theory of communication, the theory of impedance protection, the theory of complex technical systems, the theory of antagonistic systems, the theory of noise immunity coding, the theory of chaotic processes, the theory of orthogonal systems, the theory of radio frequency planning and the theory of timer signal structures. The difference in the proposed methodology from the known, which determines its novelty are: the use of timer signal structures, in contrast to the traditional position signaling structures, it can increase the structural secrecy of signals with orthogonal frequency multiplexing; the use of expanding sequences of different types and with different autocorrelation properties allows for the operational adaptation of parameters of systems and radio communication equipment with orthogonal frequency multiplexing to the effect of destabilizing factors aimed at disclosing the properties of systems and radio communication equipment for electronic intelligence; application of the mechanisms of frequency adaptation to the effect of intentional obstacles allows you to determine the areas of the frequency range struck by them and conduct the intellectual planning of using the radio frequency resources by radio communication systems with orthogonal frequency multiplexing.

Keywords: radio communication systems, radio wave suppression, radio resources, signal-code structures, noise immunity, orthogonal frequency multiplexing, timer signal structures.

Introduction

The issue of improving the efficiency of radiocommunication systems and radiocommunication complexes in a complex radio-electronic environment is a prime scientific problem, which attracts the attention of a large number of leading scientists. The increase of the efficiency of radio communication systems and complexes takes place in the following directions [1]:

- increase of energy efficiency of systems and radio communication facilities;
- increase of frequency effectiveness of systems and devices of radio communication;
- simultaneous increase of frequency and energy efficiency of systems and radio communication facilities.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology is widely used in telecommunication systems [1-5]. The analysis of the known scientific achievements in the mentioned subject field prove that OFDM technology allows to use the bandwidth of multi-channel radio communication channels as efficiently as possible [4], however the given transfer technology has a number of shortcomings [1-6]:

- high peak factor;
- nonlinear distortions in the radio path of radio communication;
- synchronization errors while establishing a connection;
- is subjected to harmful effects of deliberate disturbances;

- the absence of mechanisms for the protection of radiocommunication devices (RCD) from intelligence, revealing information about their state and status;

- high vulnerability to attacks such as "denial of service";

- high probability of interception of traffic by devices of electronic intelligence;

- vulnerability of synchronization channels.

One of the ways that can improve the efficiency of OFDM radio communication systems is to increase their stealthy use of timer signal constructions (TSC).

Taking into account the aforementioned, the purpose of the article is to develop a method of increasing the secrecy in radio communication systems with orthogonal frequency multiplexing OFDM due to the use of timer signals TSC.

Presentation of the main material

Tasks of unauthorized access (UAA) to information is to detect a signal, determine the structure of the detected signal and disclosure of information contained in the signal.

For the prevention of UAA information, signals must have, including, such a property as secrecy.

The indicated tasks of the UAA, respectively, are opposed to three types of secrecy of signals: energy, structural and informational.

Energy secrecy characterizes the ability to withstand measures aimed at detecting a signal by devices of unauthorized access. It is known [1-6] that one of the ways to increase energy secrecy is to increase

the width of the spectrum of signals used, achieved by the use of noise-like signals (NLS) and chaotic signals in confidential information transmission systems.

Structural secrecy characterizes the ability to withstand UAA measures aimed at disclosing the structure of the signal, provided that the signal is already detected. This means recognizing the shape of the signal and measuring its parameters, that is, identifying the detected signal with one of the set of known transmitted symbols. Obviously, in order to increase structural secrecy, it is necessary to have a larger ensemble of signals used with variable-time parameters.

Information secrecy is determined by the ability of the system to withstand measures aimed at disclosing the content of a message transmitted using signals [8, 10]. Disclosure of the information contained in the message means its reproduction in comparison with the message that was transmitted.

The essence of the method under study is to select the values of the OFDM-signal parameters, which are optimal for the criterion for maximum structural stealth at a given bandwidth of the RCD.

Setting the objectives.

Given: P_c is the signal strength, L is the length of the expansion sequence; T_c is the time interval of the formation of timer signal constructions, n is the number of elementary parcels, N is the number of subcarriers, ΔF is the channel bandwidth. The values ΔF , T_c are constant.

It is necessary: to determine the value of the signal parameters (the number of active subcarriers, the type and parameters of the TSK, expansion parameters, transmitter power), which minimizes the probability of a bit error P_b in the execution of restrictions on the rate of transmission in the channel $v_1 \geq v_{1\text{ доп}}$.

Limit: The number of subcarriers of OFDM signal $4 \leq N \leq 128$.

The task of determining the parameters of the OFDM signal with a minimum probability of a bit error is reduced to a typical optimization problem. The system of equations for solving the optimization problem has the form [5-7]:

$$\begin{cases} P_b = F_1(v_1, \Delta F, M, n, R, d, P_c, N_A, Q_i^2, L) \rightarrow \min; \\ v_1 = F_2(M, R, N_A, \Delta F, Q_i^2) \geq v_{1\text{ пер}}, \end{cases} \quad (1)$$

where P_c is the signal strength, M is the dimension of the ensemble of signals, R is the speed of the correction code ($R = k/n$), k is the number of information bits in the code combination with length n , d is the code distance, L is the duration of the expansion sequence; N is the number of subcarriers, ΔF is bandwidth of the channel. The values ΔF , T_c are constant.

The method of selecting the parameters of the OFDM signal, the algorithm of which is presented in fig. 1, consists of the following steps [7, 8].

Input of input data. The parameters of the transmitter and the communication channel $\Psi = \{\psi_i\}$ are entered, as well as the value of the minimum required transmission speed.

Selection of operating frequencies based on the RES strategy. Based on the algorithm developed in [5] for the selection of working frequencies for military radio communications under conditions of deliberate interference, the choice of operating frequencies with a minimum probability of a bit error occurs. The indicated algorithm is based on the representation of the process of radio-electronic confrontation in the form of two antagonistic systems [5]. In this case, the decision making on the management is taken taking into account the analysis of the electronic environment and the criterion for minimizing the probability of a bit error. To implement this algorithm, the use of the coefficient of working frequencies use by each of the antagonistic systems (the coefficient of overlapping with subcarrier noise) was chosen [5].

The main stages of the implementation of the algorithm:

1. Determination of the type and characteristics of intentional obstacles.
2. Check the value of the overlap factor.
3. Formation of the matrix of the game of radio-electronic conflict.
4. Formalization of the problem of linear programming.
5. Check the optimal control of the choice of operating frequencies.

Determine the number of subcarriers and the distance between them, as well as the duration of the symbol. The distance between subcarriers of the OFDM signal is chosen depending on the following parameters: Doppler spectrum scattering; minimum delay time of beams (reverb copies of the signal); the maximum possible symbol duration (the coherence time of the channel parameters).

Due to Doppler dispersion, as well as errors in the evaluation of the frequency of the transmitter on the receiving side, the orthogonality between the subcarriers is violated. In a number of papers, studies have been conducted on the equivalent loss in the required signal / noise ratio for a given Doppler dissipation, as well as the error of estimating the carrier at the reception [4-9]. For short-wave (SW) and ultra short-wave (USW) channels, the equivalent loss in signal / noise of no more than 0.5 dB Doppler scattering should not exceed 2-3% of the distance between subcarriers. A frequency shift of 7-8% of the distance between subcarriers results in an equivalent signal-to-noise reduction of 1 dB. After determining the minimum distance between subcarriers, you can calculate the length of the $T_c = 1/\Delta F$ character.

The minimum delay time between the rays determines the degree of unevenness of the amplitude-frequency characteristic (AFC) of the channel. Hence, a greater delay between rays corresponds to a larger period of uneven frequency response. At a maximum delay of 4 ms between rays, the period of unevenness of the AFC is 250 Hz. Thus, the distance between subcarriers should be chosen in the assumption that the frequency response on each of them will be a channel with an additive white Gaussian noise (AWGN). Accordingly, the distance between the subcarriers should be considerably less than in the period of uneven

frequency response of the channel. That is, from this point of view, the distance between subcarriers needs to be minimized. For the SW channel, the distance of 50 Hz is the maximum allowable, since larger values of the distance between the carriers lead to a significant

distortion of the channel parameters, resulting in a distortion of the symbol [6, 7]. Another limitation on the length of a character is the assumption that the channel parameters must be constant over the length of the character.

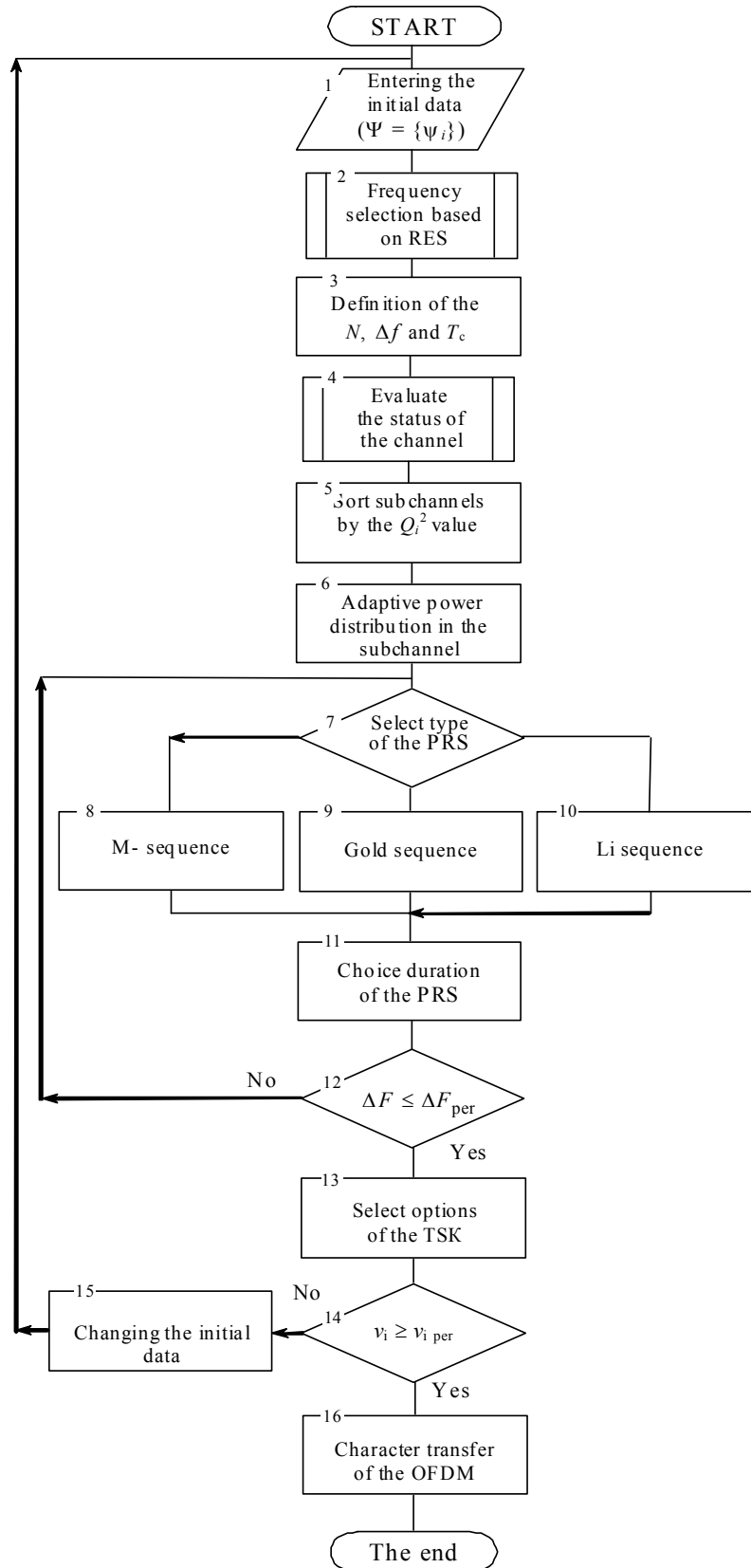


Fig. 1. Scheme of the algorithm for selecting signal parameters of radio communication with OFDM depending on the condition of the communication channel

This makes it possible to use a simple method for evaluating and compensating the AFC of the channel in the frequency domain on each symbol. The length limit for a character in the SW range can be taken as an order of hundreds of milliseconds.

Determination of the number of subcarriers N should be based on the information (and technical) speed of the group signal, taking into account the need to reserve part of the bandwidth of the channel for a variety of official information. In this case, N is selected from a number of values provided by the operation of the inverse Fast Fourier Transform (FFT). According to [6], the calculation of the required number of FFT points is carried out according to the formula

$$K = T_c f_d,$$

and the sampling frequency f_d is defined as

$$f_d > 2\Delta F.$$

Next, you can determine the frequency range between the subcarriers and the number of $N = \Delta F / \Delta f$ subcarriers.

To eliminate the harmful effects of intersymbol interference into a signal structure, a cyclic prefix was introduced. The size of the prefix T_p was selected based on the values of the two parameters: the maximum possible time shift between the rays; the required ratio between the duration of the character without the prefix and the prefix itself (in the case where the prefix is used to find the clock synchronization). For the SW channel, the maximum multipath level is about 5 m/sec (maximum value for one-two-bit passage of the radio signal). For data transmission at short distances multipath is slightly smaller and is 1-2 m/sec. The value of the cyclic prefix is within range of

$$t_p \leq T_p < 0,25T_c.$$

Assessment of the transmission characteristics of the communication channel. At this stage, the use of the methods presented in [4, 5, 7, 9], the state of the multi-channel communication channel was evaluated and its transfer characteristic was determined. Thus, we can draw the following conclusions:

1. In the presence of sufficiently well-known information about transmitted information symbols, the best results for the criterion of the ratio of accuracy of estimation and complexity of implementation is demonstrated by the algorithm of linear estimation with a minimum of mean-square deviation.

2. In the absence of sufficiently well-known information about the transmitted symbols, the best-fitting unmatched version of the estimate for the minimum of the smallest squares is preferred.

3. In order to increase the accuracy of the evaluation of the transmission characteristics of the channels in the conditions of a complex electronic environment it is expedient to use iterative principles.

Adaptive distribution of signal power in subchannels. At this stage, according to the results of

the evaluation of the transfer characteristics of the channel, the assignment of the sequence numbers to each subchannel in the order of reduction of the signal/noise ratios is carried out (worse subchannels have larger sequence numbers):

$$Q_1^2 \geq Q_2^2 \geq \dots \geq Q_N^2.$$

After this, the worst-case ratio is subtracted from the signal/noise ratio subwoofer. Disconnecting subcarriers with low signal/noise ratio reduces the harmful effects of frequency selective fading on bandwidth and allows you to redistribute the transmitter power among other subcarriers.

Choose the type and duration of the expansion sequence. To combat deliberate interference (especially imitation) spectrum expansion is used with the help of technology of expanding code sequences, the main principles of which is the expansion of the spectrum in combination with the code division of physical channels through the use of pseudorandom sequences (PRS). The indicated principle of controlling intentional interference is also implemented in the MC-CDMA (Multi-Carrier Code Division Multiple Access) method.

The key feature of MC-CDMA systems is that all chips that are mapped to the same bit of code are transmitted in parallel in the narrowband subchannels, using OFDM.

In the MC-CDMA technology, each bit of the signal stream is displayed on all subcarriers, and each subcarrier uses its phase-to-time phase shift, which is selected according to the law-defined encoding.

In the mentioned method, the code sequence is selected separately for each subcarrier, from the set of expanding sequences shown in Fig. 1

Different types of expansion sequences are used to expand the spectrum in OFDM systems: binary (Walsh sequences, Shapiro-Rudin sequences, Barker codes, Gold codes, M-sequences, Hadamard sequences) and multiphase (Frank and Zadov-Chu sequences, Milevsky sequences, Goley sequences) [10].

A comparative analysis of these sequences has shown that in OFDM systems, the smallest peak factor is provided by ideal, many-phase sequences of Frank, Zadov-Chu, Milevsky ($P \leq 2$ (3 dB)) [10,11]. The binary sequences of Shapiro-Rudin provide $P \leq 4$ (6 dB). The disadvantage of the above-mentioned ideal sequences is that the volume of their alphabet increases with the growth of the number of subcarriers.

Also, in [5, 7] four-phase Li sequences with one zero are considered, ideal 8-phase single-zero hinges and ideal 8-phase sequences with two zeros. These sequences also show $P \leq 2$.

Broad application in broadband systems has found so-called M-sequences. As a rule, binary M-sequences are used, the symbols of which $a(k)$ and $d(k)$ accept values $a(k)$ 1 and 0, $d(k)$, respectively -1 and 1 [5-7, 9].

Gold Codes have high value for autocorrelation function and low correlation value. These properties provide the ability to use these codes for the implementation of multiple access with code division [5].

Gold Codes with a 2^{l-1} period were formed on the basis of two M sequences with the selection of so-called "gear pairs", which have three-digit autocorrelation of the $(1, \phi(t), \phi(t), 2)$ function, where

$$\phi(t) = \begin{cases} 2(L+1)/2, & \text{where } L \text{ dual value;} \\ 2(L+2)/2, & \text{where } L \text{ odd value.} \end{cases} \quad (2)$$

Gold codes were formed by adding in modulus 2 each character of two m-sequences. They are divided into three types: primary, secondary orthogonal Gold codes (256 bits long) and long code.

Gold's orthogonal Codes were formed on the basis of the M-sequence of 255 bits in length and the addition of one excess symbol. The primary sync code has an aperiodic auto-correlation function and was used to initialize the synchronization. The secondary sync code is an unmodulated Gold code, which was transmitted with the primary sync code. Each secondary sync code was selected from 17 different Gold codes [9].

Selection the parameters of the timer signal constructions.

The basic element in the formation of timer signal constructions is $\Delta = t_0/S$ [10]. Unlike the traditional positional signal-code structures, when the bit rate is determined by the energy of the elementary parcel (Nyquist element), the information in the TSK was laid out in the sequence of individual time intervals "i" with the duration of each $\tau_c = t_0 + k\Delta$, where t_0 is the interval of the elementary Nyquist element, $k = 0, 1, \dots, S(n-2)$ and their mutual placement on the code sequence T_c interval.

Changing the n, S, i parameters makes it possible at the output of the TSK encoder to receive different sets of signal constructions, each of which may vary in duration depending on the values n , the number of base elements Δ and the number of transitions i , that is, the structure of the signal. The frequency change of the parameters of the TSK encoder is chosen such that the amount of intercepted by the radioelectronic intelligence station of the implementation of a signal of a definite form with given parameters was not sufficient to reveal the structure of the signal over a period of time during which the indicated signal is of

interest to the radioelectronic intelligence station. After selecting the signal parameters from the OFDM, the condition of the constraint on the transmission rate in the channel was checked. If this condition is not fulfilled, the initial data starts changing.

The evaluation of the effectiveness of the proposed methodology was carried out in the programming environment *MathCad 14*.

The estimation of the computational complexity of the implementation of the developed method showed that for the given output data and while using the ADSP-21261 processor, the formation of a signal with optimal parameter values can be carried out in real time with the delay required for the transmission of information about these values through the service feedback channel.

Conclusion from the article

In the mentioned article the method of increasing the secrecy in radio communication systems with orthogonal frequency multiplexing was developed due to the use of timer signal constructions.

The essence of the proposed method is to increase the structural secrecy of signals with orthogonal frequency multiplexing.

The difference between the proposed methodology from the known, which determines its novelty are:

- the use of timer signal constructions unlike traditional positional signals, that allows to increase the structural secrecy of signals with orthogonal frequency multiplexing;

- the use of expanding sequences of different types and with different auto-correlation properties makes it possible to carry out operative adaptation of parameters of radio-communication systems with orthogonal frequency multiplexing under the influence of destabilizing factors;

- the use of frequency adaptation mechanisms to the effect of deliberate interferences that allows to determine areas of the frequency range that were affected by them and to conduct intellectual planning of the radio frequency resource use.

The further research will be directed to the development of methodological bases for increasing the efficiency of the systems and radio communication complexes with timer signal constructions use.

REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No 1(5), pp. 35-40. available at: <http://journals.uran.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed May 25, 2018).
2. Shyshatskiy, A.V., Zhuk, O.G. and Lyutov, V.V. (2015), "Analysis of the direct efficiency of the functions of the systems radio communication orthogonal frequency multiplexes", *Arms and military equipment*, No. 4(8), pp. 22-27.
3. Shyshatskiy, A.V. and Tverdokhlibov, V.V. (2015), "Analysis of noise-proof protocols using the OFDM-technologies Scientific and practical conference", *Prospects for the Development of automated control systems for troops and geoinformation systems*, abstracts of reports, pp. 164-166.
4. Shyshatskiy, A.V., Lyutov, V.V., Boroznyuk, M.V. and Rubtsov I.Yu (2016), "Mathematical model of signal distortion in radio communication systems with orthogonal frequency multiplexing under the influence of deliberate disturbances", *Information processing systems*, No. 3, pp. 181-186.
5. Shyshatskiy, A.V., Olshansky, V.V. and Zhyvotovskiy, R. M (2016), "Algorithm of choice of working frequencies for devices of military radio communication under the conditions of intentional interference", *Systems of arms and military equipment*, No. 2., pp. 62-66.
6. Shyshatskiy, A.V (2015). "Method of formation of signal-code structures OFDM-signal in conditions of influence of deliberate interferences and selective fading", *Information processing systems*, No. 7 (132), pp. 71-77.

7. Zakharchenko, M.V., Gorokhov, S.M., Kochetkov, O.V., Hordiichuk V.V. and Shamshidin, E.B. (2017), "Comparison of ensembles of code sets synthesized on the basis of several modules with ensembles realized on the basis of timer signal constructions", *Information processing systems*, No. 1(147), pp. 18-21. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.147.04>.
8. Zakharchenko, M.V., (2009), *Data transfer systems*, Vol. 1: "Interference-encoding" a textbook [for students of higher technical educational institutions], Phoenix, Odessa, 448 p.
9. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M. (2017), "Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication", *Information Processing Systems*, Vol. 5(151), pp. 16-25. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.
10. Kuvshinov, O.V., Shyshatskiy, A.V., Lyutov, V.V. and Zhuk, O.G. (2017), "Analysis of ways for increasing the secrecy of broadband radiocommunication systems", *Scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, No. 1(50), pp. 24-28.
11. Zakharchenko, M.V., Gorokhov, S.M., Kochetkov, O.V. and Hordiichuk V.V. (2016), "Comparison of positional and timer coding", *Collection of scientific works MITI*, No. 1, pp.59-63.

Надійшла (received) 23.07.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 17.10.2018

Методика підвищення скритності в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням за рахунок використання таймерних сигнальних конструкцій

В. В. Гордійчук

Питання підвищення ефективності систем і комплексів радіозв'язку в складній радіоелектронній обстановці є споконвічною науковою проблемою, до якої прикута увага великої кількості провідних вчених. В зазначеній статті автором проведено дослідження, що спрямоване на підвищення структурної скритності в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням з використанням таймерних сигнальних конструкцій, завдяки розробки методики підвищення скритності в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням за рахунок використання таймерних сигнальних конструкцій. В ході проведеного автором дослідження використані базові положення теорії зв'язку, теорії завадозахищеності, теорії складних технічних систем, теорії антагоністичних систем, теорії завадостійкого кодування, теорії хаотичних процесів, теорії ортогональним систем, теорії радіочастотного планування та теорії таймерних сигнальних конструкцій. Відмінністю запропонованої методик від відомих, що визначає її новизну полягає в наступному: використання таймерних сигнальних конструкцій на відміну від традиційних позиційних сигнальних конструкцій дозволяє підвищити структурну скритність сигналів з ортогональним частотним мультиплексуванням; використання розширювальних послідовностей різного типу і з різними автокореляційними властивостями дозволяє проводити оперативну адаптацію параметрів систем і засобів радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням до впливу дестабілізуючих чинників, спрямованих на розкриття властивостей систем і засобів радіозв'язку для засобів радіоелектронної розвідки; застосування механізмів частотної адаптації до впливу навмисних перешкод дозволяє визначити ділянки частотного діапазону, вражені ними і провести інтелектуальний планування використання радіочастотного ресурсу системами і засобами радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням.

Ключові слова: системи радіозв'язку, радіоелектронне подавлення, радіоресурс, сигнально-кодові конструкції, завадозахищеність ортогональне частотне мультиплексування, таймерні сигнальні конструкції .

Методика повышения скрытности в системах радиосвязи с ортогональным частотным мультиплексированием за счет использования таймерных сигнальных конструкций

В. В. Гордейчук

Вопросы повышения эффективности систем и комплексов радиосвязи в сложной радиоэлектронной обстановке является исконной научной проблемой, к которой приковано внимание большого количества ученых. В указанной статье автором проведено исследование, направленное на повышение структурной скрытности в системах радиосвязи с ортогональным частотным мультиплексированием с использованием таймерных сигнальных конструкций, благодаря разработке методики повышения скрытности в системах радиосвязи с ортогональным частотным мультиплексированием за счет использования таймерных сигнальных конструкций. В ходе проведенного автором исследования использованы основные положения теории связи, теории помехозащищенности, теории сложных технических систем, теории антагонистических систем, теории помехоустойчивого кодирования, теории хаотических процессов, теории ортогональным систем, теории радиочастотного планирования и теории таймерных сигнальных конструкций. Отличием предлагаемой методики от известных, определяет ее новизну заключается в следующем: использование таймерных сигнальных конструкций в отличие от традиционных позиционных сигнальных конструкций позволяет повысить структурную скрытность сигналов с ортогональным частотным мультиплексированием; использования расширительных последовательностей разного типа и с разными автокорреляционными свойствами позволяет проводить оперативную адаптацию параметров систем и средств радиосвязи с ортогональным частотным мультиплексированием к воздействию дестабилизирующих факторов, направленных на вскрытие свойств систем и средств радиосвязи для средств радиоэлектронной разведки; применение механизмов частотной адаптации к воздействию преднамеренных помех позволяет определить участки частотного диапазона, поражены ими и провести интеллектуальное планирование использования радиочастотного ресурса системами и средствами радиосвязи с ортогональным частотным мультиплексированием.

Ключевые слова: системы радиосвязи, радиоэлектронное подавление, радиоресурс, сигнально-кодовые конструкции, помехозащищенность ортогональное частотное мультиплексирование, таймерные сигнальные конструкции.

A. Tetskyi

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

THE METHOD OF SELECTING MEASURES TO PROTECT THE WEB APPLICATION AGAINST ATTACKS

The **subject matter** of the paper is the process of ensuring the protection of Web applications against attacks aimed at obtaining unauthorized access to the functions of the content management system administrator. The **goal** is to create a method to select measures to protect the Web application against attacks. The **tasks** are: to determine a list of common Web application security measures, to develop a method of selection the most efficient protective measures within a limited budget. The **methods** used are: attacks trees analysis, expert assessment method, methods for solving nonlinear integer programming problems with Boolean variables. The following **results** were obtained. The method for selecting Web application security measures based on the success rate estimation of a Web application attack has been developed. Inasmuch as all protective measures differ in cost, effectiveness, and influence on various attack vectors, as a result of the choice an optimal set of countermeasures that will provide the maximal reduction level of attack success rate must be determined. That's why not only changing the parameters of countermeasures, but also changing the parameters of the attack tree can lead to changing the set of countermeasures. The problem of selecting protection measures is a nonlinear problem of integer programming with Boolean variables. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows: the method of selecting countermeasures by solving the optimization problem, which allows to select the most effective countermeasures in a limited budget, was improved. The minimization of the attack success rate is used as a target function; the budget of services is specified as a limitation. However, it is also possible to use a minimization of a budget level as a target function, wherein the maximum allowable value of the attack success rate is used as a limitation.

Keywords: attack; security; protection measure; Web application; cost minimization.

Introduction

Modern web applications provide opportunities for providing a wide range of services on the Internet. Owing to the development of content management systems, it is possible to create websites without writing code directly. Content management systems can be divided into classes, depending on the scope of their application. At the moment, content management systems are also used to run small and medium businesses in the World Wide Web. In this regard, the interest of intruders who can hack the site and, in any way, get a profit has increased in such systems. In the area of Web application security, there are a number of problems, normally being forgotten or missed by site owners. Moreover, site owners often do not understand the consequences of hacking the site by malicious users.

In general, there are two groups of reasons why hacking websites are possible. The first group of causes is associated with defects during creation a Web application [1]. The second group of causes is related to problems at the stage of exploitation. Causes from both groups arise from the low level of knowledge in the field of information security of those who develop the system and who use it. For example, if an attacker was able to bypass the authorization mechanism on the site and gain access to the control panel, this is the reason from the first group. If an attacker gained access to the control panel due to the usage of a weak password by the system administrator, then this is a problem from the second group.

Most of the problems from both groups are known for a long time and methods of protection against them are also known [2, 3]. Naturally, any method of protection can't guarantee one hundred percent effectiveness, but the usage of protection measures can significantly increase the site's resistance against malicious attacks [4, 5]. Insofar as the usage of protection measures is not

ubiquitous and the protection measures have different efficiency levels, selecting protection measures for a particular Web application is the actual task.

The goal of the paper is to create a method for selecting the most effective measures for protecting a specific Web application.

Main results

This paper is based on the work [6], in which frequent attack scenarios of Web applications were visualized as an attack tree, and a method for estimation the attack success rate was proposed based on the tree. It is necessary to determine a variety of measures that can be applied to counter attacks in the attack tree. The attacks and countermeasures tree is shown in Fig. 1.

As an example, a site that implements the functionality of an online store, created using a content management system considered. Assume that no countermeasures from the list below have yet been applied to the site in question. Such security measures can be applied to the site (C_i):

1. Two-factor authentication usage to gain access to the control panel. Such a measure will not allow an attacker to log in to the system using compromised credentials of administrator.

2. Trainings for staff to improve the level of knowledge in the field of information security. Often the online store has several administrators who manage the processing of orders. Often, site managers do not know why they shouldn't set an easy password, why they shouldn't store the password, or use untrusted software on their computers. That is, this measure is used to reduce the number of hacks for the reasons of the second group, which was mentioned at the beginning of the paper.

3. Using encrypted HTTPS connections. Statistics shows that currently less than a half of sites in the net-

work use an encrypted protocol to transmit traffic [7]. This protection is extremely important, because when intercepting administrator credentials, password complexity does not matter.

4. Using VPN when working in the admin panel. This measure also protects traffic from interception.

5. Protection against busting usernames and passwords. Unfortunately, almost always the built-in brute force protection mechanisms are either missing or not effective. The usage of effective methods of protection against brute force will save the site even in the case of using dictionary logins and passwords.

6. Usage of complex passwords and non-standard logins. If there is no effective brute force protection, the brute force attack can continue infinitely. Using standard logins and weak passwords will lead to the fact that the attacker automatically selects a combination of a

login and password that matches the credentials of one of the site administrators.

7. Install and configure the firewall. It will allow to restrict access to vulnerabilities for attackers that may be present in the source code of the application. The peculiarity of this protection measure is that its effectiveness depends on the setting, and if it is not configured correctly, such measure may completely obstruct the correct operation of the site.

Each protection measure is characterized by a cost and impact factor, which is determined by an expert. The list of countermeasures and events subject to countermeasures, as well as their impact coefficients and costs, are shown in Table 1. The cost is given for illustration on the assumption of there is a subject who is ready to provide services for the implementation of security measures at a specified cost.

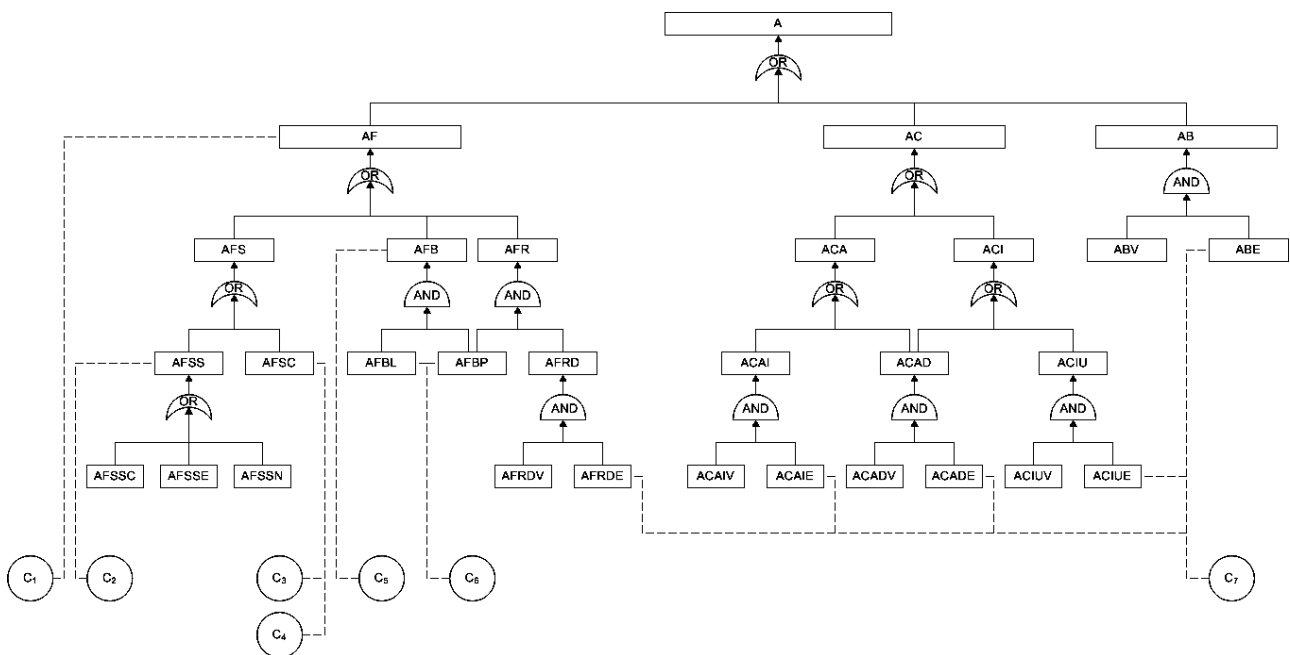


Fig. 1. Attack tree, augmented by countermeasures

Table 1 – The list of countermeasures

Countermeasure	Events affected by countermeasure	Impact coefficient	Cost (cu)
C ₁ – Two-factor authentication usage	AF	0.8	120
C ₂ – Staff training	AFSS	0.5	300
C ₃ – HTTPS usage	AFSC	0.7	50
C ₄ – VPN usage	AFSC	0.8	80
C ₅ – Protection against brute forcing usernames and passwords	AFB	0.9	60
C ₆ – Setting complex passwords and non-standard logins	AFBL, AFBP	0.6	20
C ₇ – Installing and configuring the firewall	AFRDE, ACAIE, ACADE, ACIUE, ABE	0.75	220

The full names of the events are given in Table 2. The main event is event «A» – a successful attack of a Web application that managed to gain access to the administrator’s functions.

Selection of protection measures being held by solving an optimization problem. For calculations, a spreadsheet MS Excel is used, the function of calculating the attack success rate is implemented in VBA, the add-in “Solver” is used for solving the optimization

problem [8]. The fragment of the document in which the success rate is calculated is shown in Fig. 2. The values used for evaluations, coefficients and costs for calculations are test values and they intended to demonstrate how the methods for evaluating the attack success rate and the selection of security measures for a Web application work.

Another sheet of the document contains information about countermeasures. The target function is to

minimize the success rate of an attack; the limitation is the total amount of services cost. A fragment of the document, reflecting the source data for the selection of countermeasures, is shown in Fig. 3.

Table 2 – Event names

Abbreviation	Full name of the event
A	Get access to control panel functions
AF	Find out the login and password of the current administrator
AC	Create a new administrator account
AB	Bypass authorization
AFS	Steal login and password
AFB	Find login and password using brute force
AFR	Find a password using a known hash
ACA	Add a new account with privileges directly to the database
ACI	Increase standard user privileges
ABV	Vulnerabilities to bypass authorization are found
ABE	Exploit vulnerabilities to bypass authorization
AFSS	Credentials stolen from storage
AFSC	Credentials stolen during unencrypted transmission
AFBL	The attacker has a dictionary that includes the desired login
AFBP	The attacker has a dictionary that includes the desired password
AFRD	Retrieve username and password from database
ACAI	Usage of appropriate vulnerabilities (for example, SQL injection on insert)
ACAD	The credentials for connecting to the database are known
ACIU	Usage of appropriate vulnerabilities (for example, SQL injection on update)
AFSSC	Credentials stolen from PC
AFSSE	Credentials stolen from email or any cloud storage
AFSSN	Credentials stolen from non-digital storage
AFRDV	Appropriate vulnerabilities have been discovered that allow retrieving username and password from database
AFRDE	Exploiting vulnerabilities that allows to retrieve username and password from the database
ACAIV	Appropriate vulnerabilities found (for example, SQL injection on insert)
ACAIE	Exploit vulnerabilities (for example, SQL injection on insert)
ACADV	Appropriate database connection vulnerabilities found
ACADE	Exploiting database connectivity vulnerabilities
ACIUV	Appropriate vulnerabilities found (for example, SQL injection on update)
ACIUE	Exploiting vulnerabilities (for example, SQL injection on update)

Event name	ABV	ABE	AFSC	AFBL	AFBP	AFSSC	AFSSE	AFSSN	AFRDV	AFRDE	ACAIV	ACAIE	ACADV	ACADE	ACIUV	ACIUE
Attack difficulty	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
Attack cost	2	3	2	3	3	5	5	5	2	3	2	3	2	3	2	3
Detection difficulty	4	3	1	1	1	1	1	1	4	3	4	3	4	3	4	3
Coefficient w_1	0.33															
Coefficient w_2	0.33															
Coefficient w_3	0.33															
Coefficient c	0.30															
Attack success rate	0.512															

Fig. 2. Calculation of attack success rate

	A	B	C	D	E	F	G	H
1 Countermeasure name		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
2 Cost		120	300	50	80	60	20	220
3 Coefficient of reducing		0.8	0.5	0.7	0.8	0.9	0.6	0.75
4 Usage		0	0	0	0	0	0	0
5								
6								
7 The objective function is to minimize P		0.511721						
8 Cost of services		0						

Fig. 3. Initial data for selecting countermeasures

The objective function is contained in cell B7, the total cost of services is contained in cell B8. In the example shown in Fig. 4, the restriction $B8 \leq 450$ is used. In the process of solving an optimization problem, the values of the B4:H4 cells change, conditional formatting is applied to them for greater clarity. The restriction for these cells is that they can contain an integer value not greater than one, i.e. two values are

possible, 1 – a countermeasure is used, 0 – a countermeasure is not used. If a countermeasure is used, the probabilities of the events affected by this countermeasure are multiplied by the impact coefficient of the countermeasure.

Fig. 5 shows the graph of the attack success rate dependence on budget. Indeed, the value of the indicator is minimal, subject to a limited budget of 450 conventional units. Fragments of the graph, going only up, are dead-end and they are caused by the fact that the cost of different combinations of countermeasures is the same, but their total impact on the success rate of an attack can vary greatly.

Of the total set of possible combinations of measures, sets were selected that provide a greater reduction of the attack success rate at the same total cost. The optimized graph of attack success rate dependence on budget is shown in Fig. 6.

Figure 6 shows that even a small budget can significantly increase the security of the site. For example, with a budget of 120 conventional units, the attack success rate is approximately 0.138, with a total cost of services of 440 conventional units, this value is 0.088. A significant increase in the total cost of services leads to a slight decrease of the attack success rate.

That's why the customer must determine the feasibility of purchasing the proposed set of protection measures.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1 Countermeasure name		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
2 Cost		120	300	50	80	60	20	220
3 Coefficient of reducing		0.8	0.5	0.7	0.8	0.9	0.6	0.75
4 Usage		1	0	0	1	0	1	1
5								
6								
7 The objective function is to minimize P		0.088255						
8 Cost of services		440						

Fig. 4. The result of the countermeasures selection

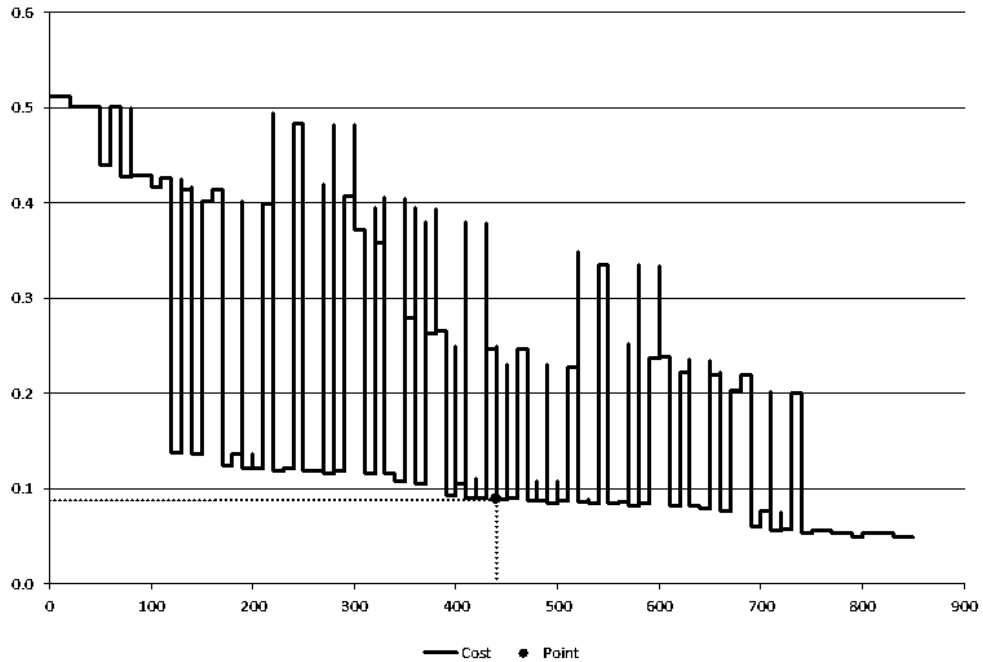


Fig. 5. The graph of the attack success rate dependence on budget

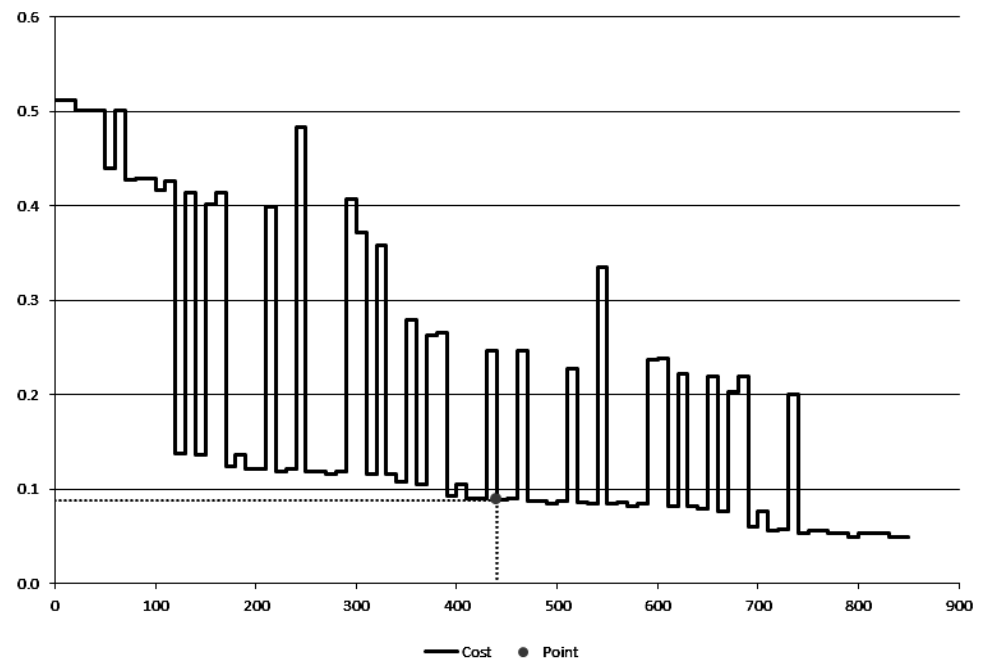


Fig. 6. The optimized graph of the attack success rate dependence on budget

Conclusions

The developed method allows to select the most effective protection measures for each individual Web application.

A set of countermeasures that provides the greatest decrease of attack success rate is selected.

The minimization of the attack success rate is used as the target function; the budget of services is used as a

limitation. However, it is also possible to use budget minimization as a target function, and to set the maximum allowable value of the attack success rate as a limitation.

REFERENCES

1. Atashzar, H., Torkaman, A., Bahrololum, M. and Tadayon, M.H. (2011), "A survey on web application vulnerabilities and countermeasures", *Proc. of the 2011 6th Int. Conf. on Computer Sciences and Convergence Information Technology*, pp. 647-652.
2. Lepofsky, R. (2014), *The manager's guide to web application security: a concise guide to the weaker side of the web*, Apress, 232 p., DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0148-0>.
3. Shah, S. and Mehtre, B. M. (2015), "An overview of vulnerability assessment and penetration testing techniques", *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, vol. 11, no. 1, pp. 27-49, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11416-014-0231-x>.
4. Han, Y., Sakai, A., Hori, Y. and Sakurai, K. (2009), "Improving the Quality of Protection of Web Application Firewalls by a Simplified Taxonomy of Web Attacks", *Advances in Information Security and Its Application. ISA 2009. Communications in Computer and Inf. Science*, Vol. 36, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 105-110, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-02633-1_14.
5. McClure, S., Shah, S. and Shah, S. (2002), *Web hacking: Attacks and defense*, Addison-Wesley Professional, 528 p.
6. Tetskyi, A.G. (2018), "Applying of attack trees for estimation the probability of a successful attack of the web-application", *Radioelektronni i komp'uterni sistemi*, no. 3, pp. 74-79, DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.3.08>.
7. *Usage of Default protocol https for websites*, available at: <https://w3techs.com/technologies/details/ce-httpsdefault/all/all>.
8. *Solver in Excel*, available at: <https://www.excel-easy.com/data-analysis/solver.html>.

Received (Надійшла) 27.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.11.2018

Метод вибору заходів захисту WEB-застосунок від атак

А. Г. Тецький

Предметом дослідження є процес забезпечення захисту Web-застосунок від атак, спрямованих на отримання несанкціонованого доступу до функцій адміністратора системи управління контентом. **Метою** є створення методу вибору заходів захисту Web-застосунок від атак. **Завдання:** визначити перелік найбільш поширених заходів захисту Web-застосунок, розробити метод вибору найбільш ефективних заходів захисту за умови обмеженого бюджету. Використовуваними **методами** є: аналіз дерев атак, метод експертних оцінок, методи розв'язання нелінійних задач цілочисельного програмування з булевими змінними. Отримані наступні **результати**. Розроблено метод вибору заходів захисту Web-застосунок, заснований на методі оцінювання показника успішності атаки Web-застосунок. Оскільки всі заходи захисту відрізняються вартістю, ефективністю і впливом на різні вектори атак, в результаті вибору визначається набір контрзаходів, який надає максимальне зниження показника успішності атаки. Тому до зміни набору контрзаходів призводить не тільки зміна параметрів контрзаходів, а й зміна параметрів дерева атак. Завдання вибору заходів захисту є нелінійним завданням цілочисельного програмування з булевими змінними. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: удосконалено метод вибору контрзаходів шляхом розв'язання оптимізаційної задачі, що дозволяє вибрати найбільш ефективні контрзаходи в умовах обмеженого бюджету. В якості цільової функції використовується мінімізація показника успішності атаки, бюджет послуг вказується в якості обмеження. Однак також можливо використовувати в якості цільової функції мінімізацію бюджету, а в якості обмеження встановити максимально допустиме значення показника успішності атаки.

Ключові слова: атака; безпека; захід захисту; Web-застосунок; мінімізація витрат.

Метод выбора мер защиты Web-приложения от атак

А. Г. Тецкий

Предметом изучения являются процессы обеспечения защиты Web-приложения от атак, направленных на получение несанкционированного доступа к функциям администратора системы управления контентом. **Целью** является создание метода выбора мер защиты Web-приложения от атак. **Задачи:** определить перечень наиболее распространенных мер защиты Web-приложения, разработать метод выбора наиболее эффективных мер защиты при условии ограниченного бюджета. Используемыми **методами** являются: анализ деревьев атак, метод экспертных оценок, методы решения нелинейных задач целочисленного программирования с булевыми переменными. Получены следующие **результаты**. Разработан метод выбора мер защиты Web-приложения, основанный на методе оценивания показателя успешности атаки Web-приложения. Поскольку все меры защиты отличаются стоимостью, эффективностью и влиянием на различные векторы атак, в результате выбора определяется набор контрмер, оказывающий максимальное снижение показателя успешности атаки. Поэтому к изменению набора контрмер приводит не только изменение параметров контрмер, но и изменение параметров дерева атак. Задача выбора мер защиты является нелинейной задачей целочисленного программирования с булевыми переменными. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: усовершенствован метод выбора контрмер путем решения оптимизационной задачи, что позволяет выбрать наиболее эффективные контрмеры в условиях ограниченного бюджета. В качестве целевой функции используется минимизация показателя успешности атаки, бюджет услуг указывается в качестве ограничения. Однако также возможно использовать в качестве целевой функции минимизацию бюджета, а в качестве ограничения установить максимально допустимое значение показателя успешности атаки.

Ключевые слова: атака; безопасность; мера защиты; Web-приложение; минимизация затрат.

Applied problems of information systems operation

UDC 621.32

doi: 10.20998/2522-9052.2018.4.20

A. Roianov, S. Garbuz

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

THE ASSESSEMENT OF THE SCALES AND THE RISK OF THE APPEARANCE TECHNOGENOUS SITUATIONS DURING THE PROCESS OF DEGASING THE STORAGE TANKS OF LIGHT PETROLEUM PRODUCTS

The subject of study in this article is the processes of increasing the level of the environmental and fire safety during the degassing of the vertical cylindrical tanks with the remnants of the light petroleum products. **The purpose of this work** is concluded in controlling the level of the environmental and fire safety of the territories in the zone of the influence the oil saving objective complexes using the application of the method proposed by U.S. Environmental Protection Agency. The Office of Emergency Management Center, EPA, developed the ALOHA® software product that is used to calculate the distribution of the concentrations during the evaporation of pollutants due to their getting into the oil processing station under different conditions. The task is to assess the level of anthropogenic pressure on the environment, and the influence oil product vapors by the forced decontamination of light oil storage tanks. **The methods** used here are researching conducted with the use of gas analysis to establish the qualitative and quantitative composition of the gas mixtures at the outlet of the tanks, using the modern test equipment. **The following results** have been obtained. Due to the researching, the methodology for calculating and forecasting the level of the technogenic load on the atmospheric air by modeling and forecasting the zones of the active pollution by emissions of the vapor-air hydrocarbon mixtures has been developed further. **The conclusions.** On the basis of the conducted studies, an active contamination zone was determined when performing forced degassing with the air supply, which was carried out using the traditional method, using software for modeling dispersion of pollutants. It has been established that by the forced ventilation of RVS-5000 reservoir, 1.5 tons of the vapor-air mixture get into the natural environment. Using the ALOHA® software product, the hazardous area was estimated, and the area of possible explosion of the gasoline vapors during the natural degassing of the tanks with the storage of light oil products. The size of the zone of the strong toxic influences on the population reaches 1.2 km, it was calculated for the given initial conditions, the zone of the fire danger is 80 m, the explosion zone does not exceed 13 m.

Keywords: a forced ventilation; an evaporation rate; a tank cleaning; the environmental pollution; a risk of the explosion.

Introduction

The formulation of the problem. The security problems of the objects of the oil and gas complex are paid a special attention at all levels of legislative and executive power, while one of the most urgent issues remains to ensure protection of the people and territories from the influence of the dangerous factors that may arise in the event of regular operation, emergency situations and during regulatory work on the oil and petroleum products stores.

The most dangerous sources of technogenic loading on the environment are storage tanks of petroleum products as the objects of uncontrolled emissions or steam-air mixtures or steam-gas mixtures and strains of petroleum products with the subsequent occurrence of fires and explosions. According to its physical and chemical properties, light petroleum products are more lethal and explosive and fire hazard, which cause the fire danger of the reservoir parks for storage of this group of hydrocarbons.

The analysis of the recent researches and publications. According to the statistics, [1] that more than 20% of all hazardous emergencies in these facilities are due to violations of the regulatory requirements for regulatory work. The periodicity of the execution of the cleaning the oil storage tanks is specified in the requirements of the normative

documents, and on each particular enterprise is supported by the internal regulations. The purification of petroleum product tanks is carried out in the following stages: degassing by ventilation; pumping out of fuel residues; removal of hatches and hinged equipment; cleaning of reservoirs and removal of bottom sediments; diagnostics with replacement (if it is necessary) of joints and gaskets; detailed careful review of containers; drawing up an act of the performed work.

In Fig. 1 it is shown that most part of these stages are associated with potential environmental hazards.

One of the most complex and fire-hazardous technological operations in the process of exploitation of the reservoirs is the preparation of the tanks with residues of petroleum products for fire repair work [2].

The main reasons for the failure of steel tanks are [3]:

- corrosion of the tank body;
- change in pressure (increase or decrease) in the gas space of the reservoir above the permissible norms;
- the tendency of the main body material of the tank boiled (made) from the boiling steel to a fragile destruction in the conditions of a sharp drop in the air temperature or the stored product, especially during periods of negative temperatures and strong winds;
- uneven precipitation of the reservoirs during the process of the exploitation (working), especially in the areas with the unstable soils;

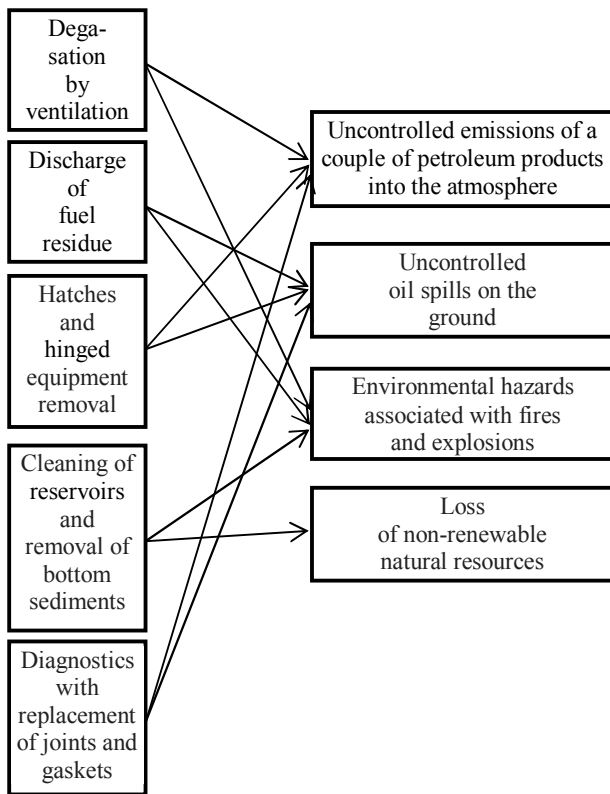


Fig. 1. Stages of the reservoir preparation for carrying out of the scheduled work and their ecological danger

- formation of stresses, especially dangerous in the lower belt of the reservoirs when combined with walls of the reservoir bottom.

Therefore, every year the number of accidents on the tanks is increasing rapidly. The main reason for this tendency is the exhaustion of the main exploitation resource for the most tanks. The wear of used vertical steel tanks according to [4] is 60-80%. An analytical review of the state of the man-made and natural safety in Ukraine, in particular the fire one, for 2013-2017 years.

Setting the task and its solution

The normative document [5] proposed a method for calculating the size of the distribution zones of the cloud of combustible vapors in the case of the accident. It is assumed that the resulting concentration of the gas in the steam-air cloud is calculated by the formula:

$$C_{(x,y,z)} = \sum_{j=1}^n \frac{2Q_j}{(2\pi)^{1.5} \cdot \sigma_{yj}^2 \cdot \sigma_{zj}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-x_j)^2}{2 \cdot \sigma_{yj}^2}\right) \times \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_{yj}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{2 \cdot \sigma_{zj}^2}\right), \quad (1)$$

where $Q = m - \tau_j$ - is the mass of the liquefied hydrocarbon gases (LHG) in j elemental volume, kg; m - is the mass rate of the leakage of LHG, kg / s; σ_{yj} , σ_{zj} - the average square deviation of the distribution of the concentrations in the j -th elemental volume, m, $\sigma_y \cdot (x_c - x_o)$; $\sigma_z \cdot (x_c - x_o)$ - depends on Pasville's resistance class.

When $x_c = x_o$ accepted

$$\sigma_{y0} = \frac{r}{2,14}, \quad \sigma_{z0} = \frac{h}{2,14}.$$

When $x_c > x_o$ accepted

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y0}^2 + \sigma_y^2 f(x_c - x_o), \quad \sigma_z^2 = \sigma_{z0}^2 + \sigma_z^2 f(x_c - x_o).$$

Also there are given the formulas for determining the mass of vapor entering the room when evaporated from the open surface of the liquid.

$$M_u = WF_u \tau, \quad (2)$$

where W - is the intensity of the evaporation from the open surface, kg / m² s; F_u - the evaporation area, m²; τ - the time of evaporation, p.

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot M \cdot P_s, \quad (3)$$

where η - is a coefficient, accepted for tab. 3 [5], depending on the speed and temperature of the air flow; M - the molecular weight; P_s - the pressure of the saturated vapors, kPa.

The indicated method does not take into account the change in the rate of the evaporation of the liquid at the wind speeds more than 1 m / s, the temperature of its surface layer, which as a rule, is usually different from the environment temperature, the change in the pressure of saturated vapors, depending on the time of this evaporation and the height of the liquid layer.

Given these restrictions, it is inappropriate to use this technique to determine the intensity of the evaporation from the open surface to the environment, because the estimated calculations will be significantly different from the actual ones.

Therefore, the method proposed by the U.S. Environmental Protection Agency was used to estimate the danger zone, which is determined by the influence of reservoirs for storing light petroleum products during their natural ventilation for the purpose of degassing at the stage of pre-repair works. [6]. The Office of Emergency Management Center, EPA, developed the software ALOHA®, which is used to calculate the concentrations by the evaporating of the pollutants as a result of their input to the oil refinery (IOR) under the different conditions.

All assumptions about the extent of evaporation in the process of risk assessment focus on the worst consequences.

The degree of contamination was ranked according to concentrations of the Acute Exposure Guideline Levels (AEGL) concentrations [7]. According to AEGLs, 3 levels of the concentration are determined: AEGL-1, AEGL-2 and AEGL-3, respectively.

In Ukraine, the value of the maximum permissible concentration for gas vapors in the air at the level of 5 mg/m³ [8] is adopted. According to the standards of the European Community, the total organic compounds content is 35 g/m³ and EPA is 10 g/m³. The regulation of the gasoline emissions in accordance with the

German standard TA-Luft, the emission limit value of total organic compounds is 0.15 g/m^3 [9-11].

In order to calculate the air pollution zone by the gas vapor, a vertical steel reservoir was selected at the Shebelinsky oil refinery in the Kharkiv region of Ukraine. The calculation was based on the given conditions of the terrain, the type of the shelter capacities, physical and chemical properties of chemicals removed from the reservoir in the atmosphere, meteorological and climatic parameters, and others like that.

The algorithm for the diffusion of pollutants can be represented by one of the possible methods, such as: the Gaussian model of the dispersion or the model of the dispersion of heavy gases. Referring to the initial data on the estimated situation of the release of steam-air mixture of petroleum products into atmospheric air, simulation was conducted using a dispersive model of heavy gases [12].

Using the ALOHA® software and source data, a calculation of the pollution zone and concentration levels was performed during degassing of a reservoir for $5,000 \text{ m}^3$. The results are shown in Fig. 2 and 3. The results of the distribution of the atmospheric air pollution levels in the vapor of the gasoline are plotted on the map of the area with the indicated location of the reservoirs. Three zones are given based on the value of

the maximum permissible concentration of MPC for gasoline or isoctane, equal to 5 mg/m^3 . These zones are painted in three different colours: red, orange and yellow to reduce the level of danger. The text information on the program screen indicates the size of the specified hazardous zones:

- red: 1,2 kilometer - 5 mg/m^3 ;
- orange: 1.6 kilometers - 3 mg/m^3 ;
- yellow: 2.9 kilometers - 1 mg/m^3 .

In fig. 2 is shown the zone of the active air pollution by the vapor of the gasoline. In the case of being the population in the red zone there is a real danger of the acute toxic effects.

The fires and explosions on the tanks with easy-flammable substances and easy-flammable liquids often happen during the cleaning, preparation for repairing and directly during the repairing work [13, 14].

Fig. 3 shows the area of the fire hazard of gas vapors, for which the concentration is in the flammable range between the lower and upper limits of the explosion (NMW and IWB). These limits are determined in percentages that reflect the concentration of the fuel (the vapors of the chemicals) in the air. In the case of a collision of the chemical vapor with a source of ignition (for example, a spark), the combustion process occurs only if the value of the concentration of the fuel in the air is between LMW and IVF.

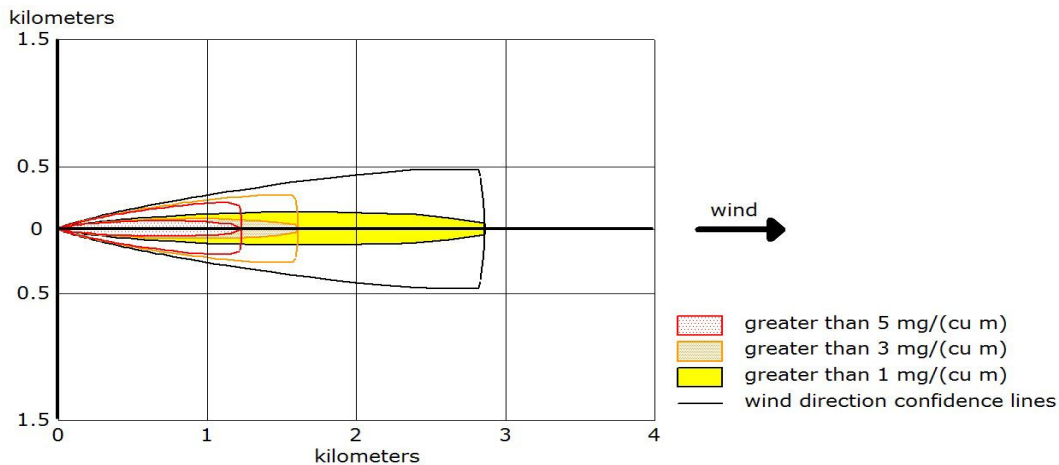


Fig. 2. Pollution from gas vapors during the natural ventilation of tanks

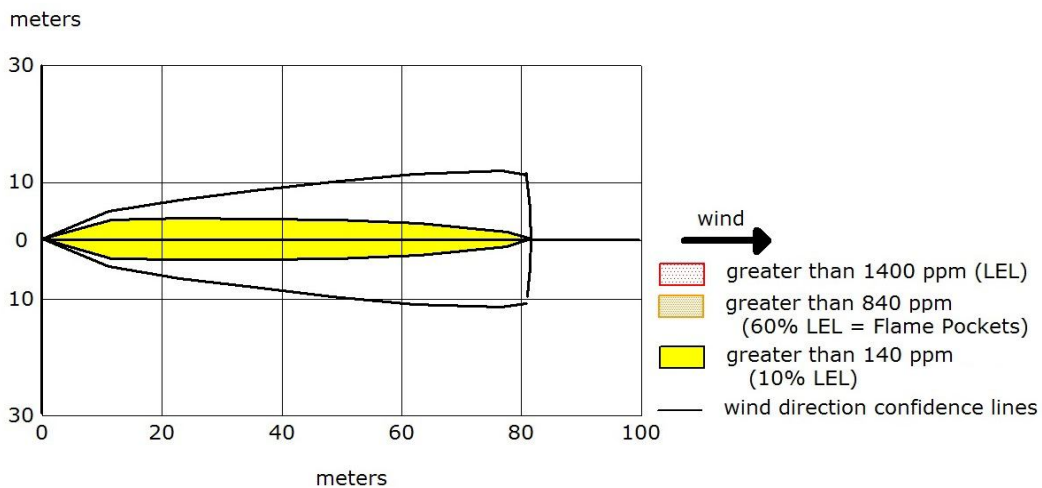


Fig. 3. Dimensions(size) of the flammable zone for gas vapors

ALOHA uses 60% of the NMS as the default level for the highest threat zone (red), as some experiments have shown that fires can occur in the places where the average concentration exceeds this level. Another typical level of the threat which is used by respondents is 10% of LMW, which is the standard hazard rate for a medium-threat zone (yellow).

As it can be seen from Fig. 3, there are no zones of high and medium danger for the given conditions, therefore the probability of the fire is minimal (10% of NME), and is characterized by an area of 80 m.

Another no less important indicator is the area of the explosive danger.

The excessive voltage, which is also called an explosive wave, means a sudden onset of the pressure wave after the explosion.

This voltage wave is due to the energy which releases during the initial explosion - the more initial explosion, the greater the pressure wave.

ALOHA uses the surplus pressure (in psi, psi) based on the review of several commonly used sources of the excessive pressure and the explosions:

- 8.0 pounds / square. inch (destruction of the buildings);
- 3.5 pounds / square. inch (possible the serious damage);
- 1.0 pounds / square. inch (destruction of the glass).

For the considered of this situation, the size of the zone with the serious damage is 13 m in the direction of the prevailing wind in accordance with the wind rose (Fig. 4).

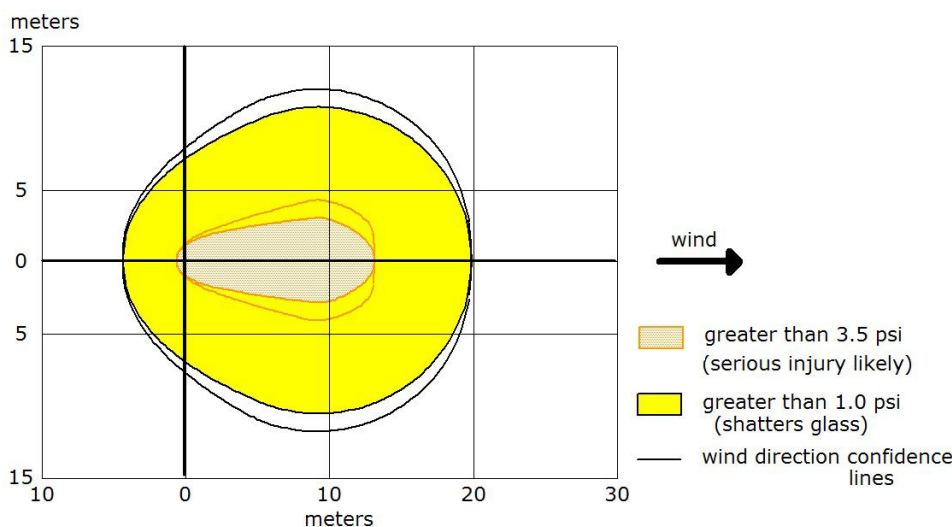


Fig. 4. Explosion region of the cloudy steam of the gasoline

Conclusions

On the basis of the conducted researches, the area of the active contamination was identified in the course of the forced ventilation with the traditional air supply, using software for modeling the dispersion of the pollutants. It was established that during the forced degassing of PBC-5000 reservoir 1.5 tons of petroleum

vapors enter the atmosphere. The software, ALOHA®, evaluates the toxic zone, fire hazard zone and the gas explosion area by the natural ventilation of the tanks.

The size of the zone of the acute toxic effects on the population consists of 1,2 km and was calculated for the given initial conditions, the zone of fire danger is 80 m, the explosion zone does not exceed 13 m.

REFERENCES

1. Statistical Yearbook "Ukraine in Figures". State Committee of Statistics of Ukraine (2017), Kyiv, 600 p., available at: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/08/Ukr_cifra_2017_u.pdf.
2. Nazarov, V.P. (2009), "Provision of fire and explosion safety during the elimination of the accident and emergency situations at the objects of transport and storage of oil and petroleum products", *Theses of the reports of the XXI International scientific practice. conf. "Actual problems of fire safety"*, FGU VNIPO, Moscow, pp. 166-167.
3. Baydalinov, A.D. and Sharov, S.I. (2016), "Analysis of the provision of fire and explosion safety of fire repair works on the RVS", *Forum of Young Scientists*, No. 4 (8), pp 9-17.
4. Kantakov, G.P. (1998), "The problems of domestic reservoir construction and possible ways of their solution", *Industrial and civil construction*, No. 5. pp. 24-26.
5. Abuzova, F.F., Bronshtein, I.S. and Novoselov V.F. (1981), *Fighting oil and oil product losses when transporting and storing them*, Nedra, Moscow, 248 p.
6. Areal Locations of Hazardous Atmospheres (2018), available at: <http://response.restoration.noaa.gov/aloha>.
7. Acute Exposure Guideline Levels (2018), available at: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/>.
8. IUPAC (1997), *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"), Compiled by A.D. McNaught and A. Wilkinson, Blackwell Scientific Publications, Oxford, XML, DOI: <https://doi.org/10.1351/goldbook>.
9. USEPA (1991), *EPA handbook: Control technologies for hazardous air pollutants* USEPA: Office of Research and Development, Washington, DC.

10. Ruddy, E.N. and Carroll, L.A. (1997), "Select the best VOC control strategy", *Chemical Engineering Progress*, 7, pp. 33-45.
11. Pezolt, D.J., Collick, S.J., Johnson, H.A. and Robbins, L.A. (1997), "Pressure swing adsorption for VOC recovery at gasoline terminals", *Chemical Engineering Progress*, No. 16 (1), pp. 34-49.
12. Maria, Markiewicz (2012), "A Review of Mathematical Models for Atmospheric Dispersion of Heavy Gases. Part I. A Classification of Models", *Ecological Chemistry and Engineering*, Vol. 19, Issue 3, pp. 297-314, DOI: <https://doi.org/10.2478/v10216-011-0022-y>.
13. Kakareka, S.V. (2012), *Assessing Total Atmospheric Air Pollution, Geogr. Nat Resour*, 113 p., DOI: <https://doi.org/10.1134/S1875372812020023>
14. Yew, M. C. and Sulong, N. H. R. (2012), "Fire-resistive performance of intumescent flame-retardant coatings for steel", *Materials & Design*, Vol. 34, pp. 719-724.

Received (Надійшла) 12.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.10.2018

Оцінка масштабів і ризику виникнення техногенних ситуацій під час процесу дегазації резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів

А. М. Роянов, С. В. Гарбуз

Предметом дослідження в даній статті є процеси підвищення рівня екологічної та пожежної безпеки при дегазації вертикальних циліндричних резервуарів із залишками світлих нафтопродуктів. **Мета даної роботи** полягає в контролі рівня екологічної та пожежної безпеки територій в зоні впливу нафтогазозберігаючих об'єктних комплексів з використанням методу, запропонованого Агентством з охорони навколишнього середовища США. Управління надзвичайними ситуаціями (EPA) розробило програмний продукт ALOHA®, який використовується для розрахунку розподілу концентрацій при випаровуванні забруднюючих речовин в результаті їх потрапляння на станцію переробки нафти в різних умовах. Завдання полягає в тому, щоб оцінити рівень антропогенного тиску на навколишнє середовище та вплив парів нафтопродуктів шляхом примусової дезактивації резервуарів для зберігання легкої нафти. **Використовувані методи** - це дослідження, що проводяться з використанням газового аналізу для визначення якісного та кількісного складу газових сумішей на виході з резервуарів з використанням сучасного випробувального обладнання. Були отримані наступні результати. **В результаті** проведених досліджень була розроблена методика розрахунку і прогнозування рівня техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом моделювання і прогнозування зон активного забруднення викидами пароповітряних вуглеводневих сумішей. **Висновки.** На підставі проведених досліджень була визначена зона активного забруднення при проведенні примусової дегазації з подачею повітря, яка здійснювалася традиційним методом з використанням програмного забезпечення для моделювання розсіювання забруднюючих речовин. Встановлено, що при примусової вентиляції резервуара PBC-5000 в природне середовище потрапляє 1,5 тонни пароповітряної суміші. Використовуючи програмний продукт ALOHA®, була оцінена небезпечна зона і зона можливого вибуху парів бензину при природній дегазації резервуарів із зберіганням світлих нафтопродуктів. Розмір зони сильних токсичних впливів на населення досягає 1,2 км, вона розрахована для заданих початкових умов, зона пожежної небезпеки становить 80 м, зона вибуху не перевищує 13 м.

Ключові слова: примусова вентиляція; інтенсивність випаровування; очищення резервуарів; забруднення навколишнього середовища; ризик вибуху.

Оценка масштабов и риска возникновения техногенных ситуаций во время процесса дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов

А. Н. Роянов, С. В. Гарбуз

Предметом исследования в данной статье являются процессы повышения уровня экологической и пожарной безопасности при дегазации вертикальных цилиндрических резервуаров с остатками светлых нефтепродуктов. **Цель данной работы** заключается в контроле уровня экологической и пожарной безопасности территорий в зоне влияния нефтегазозберігаючих объектных комплексов с использованием метода, предложенного Агентством по охране окружающей среды США. Управление чрезвычайными ситуациями (EPA) разработало программный продукт ALOHA®, который используется для расчета распределения концентраций при испарении загрязняющих веществ в результате их попадания на станцию переработки нефти в различных условиях. Задача состоит в том, чтобы оценить уровень антропогенного давления на окружающую среду и влияние паров нефтепродуктов путем принудительной дезактивации резервуаров для хранения легкой нефти. **Используемые методы** - это исследования, проводимые с использованием газового анализа для определения качественного и количественного состава газовых смесей на выходе из резервуаров с использованием современного испытательного оборудования. Были получены следующие **результаты**. В результате проведенных исследований была разработана методика расчета и прогнозирования уровня техногенной нагрузки на атмосферный воздух путем моделирования и прогнозирования зон активного загрязнения выбросами паровоздушных углеводородных смесей. **Выводы.** На основании проведенных исследований была определена зона активного загрязнения при проведении принудительной дегазации с подачей воздуха, которая осуществлялась традиционным методом с использованием программного обеспечения для моделирования рассеивания загрязняющих веществ. Установлено, что при принудительной вентиляции резервуара PBC-5000 в природную среду попадает 1,5 тонны паровоздушной смеси. Используя программный продукт ALOHA®, была оценена опасная зона и зона возможного взрыва паров бензина при естественной дегазации резервуаров с хранением светлых нефтепродуктов. Размер зоны сильных токсических воздействий на население достигает 1,2 км, она рассчитана для заданных начальных условий, зона пожарной опасности составляет 80 м, зона взрыва не превышает 13 м.

Ключевые слова: принудительная вентиляция; интенсивность испарения; очистка резервуаров; загрязнение окружающей среды; риск взрыва.

В. М. Триснюк¹, В. О. Шумейко¹, О. В. Кащишин², А. В. Курило¹, К. В. Сметанін¹

¹ Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МОНІТОРИНГ ВИКОРИСТАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Предметом вивчення в науковій статті є можливості використання безпілотних літальних апаратів та їх завдання при проведенні екологічного моніторингу земель. Визначено основні характеристики та переваги моніторингу природних ресурсів з використанням БПЛА. Аналіз існуючих наукових джерел показав, що при проведенні екологічного моніторингу використовуються різні засоби та пристрої. **Мета** досліджень – підвищення якості екологічного моніторингу з використанням БПЛА в умовах негативного антропогенного впливу на природне середовище. У загальному за допомогою БПЛА будують ортофотоплани, цифрові моделі місцевості та 3D-моделі, які є досить економічно вигідними в плані економії часу. Отримані **результати** свідчать, що високе просторове розрізнення на місцевості дозволяє побачити найдрібніші деталі рельєфу і об'єкти. Організація ефективного управління БПЛА здійснюється при використанні наземного інформаційного комплексу, заснованого на обчисленні координат повітряного об'єкту по відомому значенню базису і виміряним відстаням до літального апарату, що дозволяє виробляти обчислення поточних координат. Для забезпечення заданої ефективності виконання завдань пов'язаних з проведенням екологічного моніторингу в різних умовах, застосовується резервування елементів з підвищеним рівнем надійності, а також системи вбудованого контролю, які класифікуються: за принципом управління, за дальністю дії, за тривалістю польоту, за малогабаритними характеристиками. Управління у природокористуванні, засноване на результатах дешифрування аерофотоматеріалів (дослідження території по аерофотографічних зображеннях), дозволить полегшити і прискорити виробничий процес без втрати якості виробництва. При оцінці впливів на стан ґрунтів під час проведення моніторингу враховують ґрунтові відміни, характеристики гумусового складу, механічні і водно-фізичні властивості, ландшафтно-геохімічні бар'єри (накопичення і міграція речовин), родючість, ступінь розвитку процесів деградації ґрунтів та ін. **Висновок** зводиться до того, що завдяки багатофункціональності БПЛА можна виконувати велику та різноманітну кількість робіт, які будуть менш фінансово затратні та будуть забезпечувати більш якісний результат моніторингу земель.

Ключові слова: моніторинг; природні ресурси; безпілотні літальні апарати; екологічний стан.

Вступ

Концептуальні напрямки розвитку безпілотних засобів в інтересах вирішення завдань національної безпеки та економіки визначаються, з одного боку, співвідношенням між важливістю й обсягами завдань, які необхідно і потрібно ефективно вирішувати за допомогою повітряних платформ без людини на борту, з іншого, – вартістю розроблення, виробництва, експлуатації безпілотних засобів та ефективністю їх застосування, що значною мірою залежить від рівня розвитку науки, техніки і технологій.

Актуальність теми. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) з кожним роком все більше використовуються у різних сферах і тим самим покращується робота та якість результатів спостереження, контролю та прийняття управлінських рішень. **Мета** досліджень – підвищення якості екологічного моніторингу з використанням БПЛА в умовах негативного антропогенного впливу на природне середовище.

Аналіз наукових джерел показав, що при проведенні екологічного моніторингу використовуються різні засоби та пристрої, які характеризують певні властивості антропогенного впливу. Також достатньо розроблено різних наукових підходів, механізмів та методик, в яких оперативно оцінюється стан навколишнього природного середовища під час проведення екологічного моніторингу дистанційними методами. Так при реалізації дистанційних методів активно використовуються як спектральна зйомка, так і тепловізійні системи. За даним напрямком працювали багато вче-

них, серед яких відомі праці авторів Красовського Г.Я., Лялька В.І., Машкова О.А., Мокіна В.Б., Чумаченка С.М та інших. Однак в існуючих наукових працях в основному представлені рішення науково-технічних завдань, що пов'язані із забезпеченням функціонування БПЛА та побудовою бортового обладнання і спеціальних приладів, що забезпечують вирішення завдань екологічного моніторингу [1, 5, 6].

Виклад основного матеріалу

Технічний прогрес ХХІ століття не стоїть на місці і тому дає нові методи для вирішення різноманітних задач моніторингу. Тому, щоб полегшити роботу та покращити якість і точність, потрібно знати нові можливості новітніх розробок сучасних засобів моніторингу. Одним з перспективних інструментів, що використовуються в екологічному моніторингу, є БПЛА. Взагалі за допомогою БПЛА будують ортофотоплани, цифрові моделі місцевості та 3D-моделі, які є досить економічно вигідними і зручними у плані економії часу та грошей (рис. 1, 2).

За доступністю безпілотні технології наближаються до рівня побутових технологій. Зараз прогрес у розвитку цивільних безпілотних систем має найвищий темп, сформувалася нова індустрія послуг.

Даний вид повітряного моніторингу прекурсно підходить для аналізу природних ресурсів та надає унікальну можливість відстежувати зміни у використанні земельного фонду. Аналіз методів моніторингу дає змогу визначити певні переваги та недоліки в різних діапазонах (табл. 1).

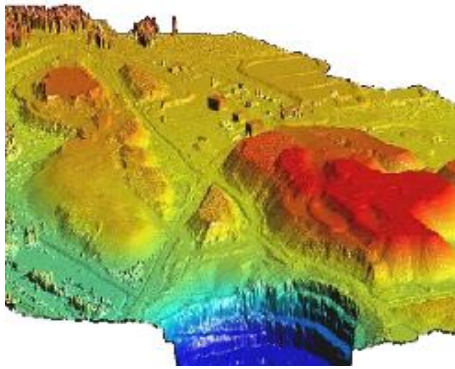


Рис. 1. Цифрова модель рельєфу



Рис. 2. 3D модель рельєфу

Таблиця 1. Аналіз різних методів екологічного моніторингу ґрунтів

Метод моніторингу	Переваги	Недоліки
Наземні виміри	Можливість детального дослідження, висока точність результатів досліджень.	Обмеженість людських ресурсів та спеціальної техніки.
Аерофотозйомка	Обсяг робіт, що виконується одним виконавцем зростає, а вартість робіт знижується на 15-20% (в порівнянні з наземними вимірами). Літак може літати нижче за хмари або повторити політ наступного дня. Можливо отримувати зображення з просторовим розрізненням до декількох сантиметрів.	Висока вартість оренди літальних засобів, як наслідок низька періодичність спостереження. Трудомісткість та великі витрати при обробці результатів.
Космічна зйомка	Велика смуга огляду. Одночасне одержання зображень у видимому і інфрачервоному діапазонах. Висока періодичність спостереження. Швидкість і зручність оброблення цифрових даних.	Залежність від погодних умов (хмарність) в оптичному діапазоні. Висока ціна всепогодних (радіолокаційних) космічних знімків.

Традиційний спосіб аерофотозйомки території передбачає використання великогабаритних пілотованих літаків, який з самого початку передбачає значні витрати і накладає ряд обмежень через його габарити і залежність від погодних умов. Використання малогабаритних БПЛА має багато переваг і перевершує традиційний метод зйомки з літака за рахунок можливості швидкого розгортання і оперативної підготовки до запуску БПЛА (відсутність необхідності у спеціальних злітно-посадкових майданчиків). Більш того, можливість літати при мінімальній висоті в 150-200 м дозволяє перебувати нижче хмарного покриву. Крім цього, високе просторове розрізнення на місцевості дозволяє побачити найдрібніші деталі рельєфу і об'єкти. Організація ефективного управління БПЛА здійснюється при використанні наземного інформаційного комплексу, заснованого на обчисленні координат повітряного об'єкта по відомому значенню базису і вимірним відстаням до літального апарату, що дозволяє виробляти обчислення поточних координат. А для забезпечення заданої ефективності виконання завдань пов'язаних з проведенням екологічного моніторингу в різних умовах, застосовується резервування елементів з підвищеним рівнем надійності, а також системи вбудованого контролю, які класифікуються:

за принципом управління:

- автономні;
- дистанційного керування;
- комбіновані;

за дальністю дії:

- малої дальності (50 ... 150 км);
- середньої дальності (до 650 км);
- великої дальності (до 3000 км);

за тривалістю польоту:

- малої тривалості (5 ... 12 год);
- середньої тривалості (12 ... 24 год);
- великої тривалості (понад 24 год);

за масогабаритними характеристиками:

- мікро (до 10 кг);
- міні (до 50 кг);
- середні (до 1 т);
- важкі (до 5 т).

Управління у природокористуванні, засноване на результатах дешифрування аерофотоматеріалів (дослідження території по аерофотографічних зображеннях), дозволить полегшити і прискорити виробничий процес без втрати якості виробництва.

Особливо затребуваними БПЛА є під час спостережень і моніторингу, які використовують певні види апаратури:

Види спеціальної апаратури БПЛА:

- кадрові аерофотоапарати (АФА): планові або перспективні
- панорамні АФА
- аналогові телевізійні (ТВ) системи
- матричні кадрові цифрові камери
- лінійкові сканувальні цифрові камери
- лінійкові багато- або гіперспектральні цифрові камери
- інфрачервоні (ІЧ) сканувальні системи дальнього (довжина хвилі 8...14 мкм) та (або) середнього (довжина хвилі 3...5 мкм) інфрачервоного спектральних діапазонів;
- радіолокаційні станції бокового огляду із синтезованою апертурою антени (РСА)
- лазерні сканери.

Наприклад, у сільському господарстві БПЛА допомагають заощаджувати час і кошти завдяки контролю за врожаєм шляхом заміни традиційного обходу чи об'їзду угідь на їх безпілотний обліт (табл. 2).

лю за врожаєм шляхом заміни традиційного обходу чи об'їзду угідь на їх безпілотний обліт (табл. 2).

Таблиця 2. Переваги методів дистанційного зондування сільськогосподарських угідь та відповідні предмети доповнення і удосконалення традиційних ґрунтознавчих методів

Переваги методів дистанційного зондування ґрунтів	Предмет доповнення та удосконалення традиційних ґрунтознавчих методів
Точність та інформативність	Можливість визначати просторову варіабельність ґрунтових показників та їх динаміку точно і безперервно, в кожній точці сільськогосподарських угідь. Велика інформативність матеріалів та незначні втрати інформації при обробці та картографуванні.
Оглядовість	Здатність матеріалів охоплювати великі території з виробничою точністю.
Оперативність	Здатність швидко та своєчасно проводити відповідні обстеження с/г угідь та можливість налагодження поточних спостережень за тими чи іншими характеристиками ґрунту.
Об'єктивність	Незалежність відповідної інформації від уподобань дослідника та методу первинної обробки (на відміну від традиційної карти, яка є авторським витвором та вміщує в собі слід особистості автора).
Економічна ефективність	Заощадження значних коштів (за рахунок зменшення польового періоду та частини лабораторно-аналітичних робіт).
Невтручання в ґрунтові процеси	Неруйнівний спосіб збору ґрунтової інформації.

У цьому випадку актуального значення набуває моніторинг земель, який спрямований на аналіз та оцінку впливу людської діяльності на ґрунти з урахуванням особливостей землекористування, наявності площ цінних сільськогосподарських угідь, хімічного, біологічного та радіоактивного забруднення, виникнення небезпечних інженерно-геологічних процесів і явищ та інших чинників, які негативно впливають на стан ґрунтів. При оцінці впливів на стан ґрунтів під час проведення моніторингу враховують ґрунтові відміни, характеристики гумусового складу, механічні і водно-фізичні властивості, ландшафтно-геохімічні бар'єри (накопичення і міграція речовин), родючість, ступінь розвитку процесів деградації ґрунтів та ін. [2].

Крім того, результати моніторингу земель дозволяють обґрунтувати заходи щодо запобігання або зменшення негативних впливів на ґрунти і зниження їхньої родючості, рекультивації земель, які тимчасово вилучаються з використання, проведення робіт з поліпшення якості малопродуктивних земель тощо [3]. Моніторинг земель - це система спостереження за станом земель з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення та ліквідації наслідків

негативних процесів. У системі моніторингу земель проводиться збирання, оброблення, передавання, збереження та аналіз інформації про стан земель, прогнозування змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень щодо запобігання негативним змінам стану земель та дотримання вимог екологічної безпеки [4].

Саме моніторинг земель є інноваційним інструментом для комплексного аналізу розвитку земельних відносин та розробки управлінських рішень у цій галузі. Моніторинг проводиться на рівні районів та міст обласного підпорядкування.

Висновок

Систематичний і системний моніторинг земель є одним з методів виявлення тенденцій динаміки і оцінки землекористування, включає в себе розробку пропозицій і заходів щодо ведення державного земельного кадастру, прийняття рішень у процесі управління використанням земельних ресурсів. Саме тому, завдяки багатофункціональності БПЛА можна виконувати велику та різноманітну кількість робіт, які будуть менш фінансово затратні та будуть забезпечувати більш якісний результат моніторингу земель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов / А. Г. Гребеников, А. К. Мялица, В. В. Парфенюк и др. – Х.: НАУ «ХАИ», 2008. – 377 с.
- Рэндал У. Биард. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Рэндал У. Биард, Тимоти У. Мак-Лейн. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 312 с.
- Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering. – 2014. – № 3. – С. 183-187.
- Триснюк В. М. Алгоритм оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС / В. М. Триснюк, А. А. Нікітін, В. О. Шумейко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 102-110.
- Butenko O. Aerogeodesis monitoring of potential areas of spontaneous combustion of the forest / O. Butenko, S. Gorelik, D. Gusakov, E. Buravchenko // Сучасні інформаційні системи. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 74-77. – DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.13>.
- Bayramov A. A. The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition / A. A. Bayramov, E. G. Hashimov // Сучасні інформаційні системи. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 70-73. – DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.12>.

REFERENCES

1. Grebenikov, A.G., Myalitsa, A.K. and Parfenyuk V.V. (2008), *General views and characteristics of unmanned aerial vehicles*, KhAI, Kharkiv, 377 p.
2. Randal W., Byard and Timothy W., McLain (2015), *Small unmanned aerial vehicles: theory and practice*, TECHNO-SPHERA, Moscow, 312 p.
3. Trofymchuk, O., Trysnyuk, V., Novokhatska, N. and Radchuk, I. (2014), "Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste", *Journal of Environmental Science and Engineering*, 3, pp. 183-187.
4. Trisnyuk, V.M., Nikitin A.A. and Shumeiko, V.O. (2017), "Algorithm for processing information about radioactive contamination of the area using the remote sensing data and GIS data", *Control, Navigation and Communication Systems*, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava, No. 6 (46), pp. 102-110.
5. Butenko, O., Gorelik, S., Gusakov, D. and Buravchenko, E. (2017), "Aerogeodesis monitoring of potential areas of spontaneous combustion of the forest", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 74-77, DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.13>.
6. Bayramov, A.A. and Hashimov, E.G. (2017), "The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 70-73, DOI : <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.12>.

Received (Надійшла) 18.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2018

Мониторинг использования и экологического состояния земель с помощью беспилотных летательных аппаратов

В. М. Триснюк, В. О. Шумейко, О. В. Кашишин, А. В. Курило, К. В. Сметанин

Предметом изучения в научной статье есть возможности использования беспилотных летательных аппаратов и их задача при проведении экологического мониторинга земель. Определены основные характеристики и преимущества мониторинга природных ресурсов с использованием БПЛА. Анализ существующих научных источников показал, что при проведении экологического мониторинга используются различные средства и устройства. **Цель исследований** - повышение качества экологического мониторинга с использованием БПЛА в условиях негативного антропогенного воздействия на природную среду. В общем, с помощью БПЛА строят цифровые модели местности и 3D-модели, которые достаточно экономически выгодными и удобными в плане экономии времени. **Полученные результаты** подтверждают, что высокое пространственное разрешение на местности позволяет увидеть мельчайшие детали рельефа и объекты. Организация эффективного управления БПЛА осуществляется при использовании наземного информационного комплекса, основанного на вычислении координат воздушного объекта по известному значению базиса и измеренным расстояниям до летательного аппарата, позволяет производить вычисления текущих координат. Для обеспечения заданной эффективности выполнения задач связанных с проведением экологического мониторинга в различных условиях, применяется резервирование элементов с повышенным уровнем надежности, а также системы встроенного контроля, которые классифицируются; по принципу управления, с дальностью действия, по продолжительности полета, по массогабаритным характеристикам. Управление в природопользовании, основанное на результатах дешифровки аэрофотоматериалов (исследование территории по аэрофотографическим изображениям), позволит облегчить и ускорить производственный процесс без потери качества производства. **Выводы.** При оценке воздействий на состояние почв при проведении мониторинга учитывают грунтовые отмены, характеристики гумусового состава, механические и водно-физические свойства, ландшафтно-геохимические барьеры (накопление и миграция веществ), плодородие, степень развития процессов деградации почв и др.

Ключевые слова: мониторинг; земельные ресурсы; беспилотные летательные аппараты; охрана земель.

Monitoring of use and environmental state of the land with unmanned aerial vehicle

V. Trysnyuk, V. Shumeyko, O. Kashchyshyn, A. Kurilo, K. Smetanin

The subject of study in the scientific article is the possibility of using unmanned aerial vehicles and their tasks in conducting environmental monitoring of land. The basic characteristics and advantages of monitoring of natural resources with the use of UAV are determined. An analysis of existing scientific sources has shown that different means and devices are used in conducting environmental monitoring. **The purpose** of the research is to improve the quality of environmental monitoring with the use of UAV in conditions of negative anthropogenic impact on the natural environment. In general, with the help of UAV, they build orthophotomaps, digital terrain models and 3D models, which are quite economical and convenient in terms of time saving. **The obtained results** confirm that the high spatial distinction on the ground allows to see the smallest details of the relief and objects. The organization of effective control of the aircraft is carried out with the use of a ground information system based on the calculation of the coordinates of the airspace according to the known value of the basis and the measured distances to the aircraft, which allows to calculate the current coordinates. To ensure the specified efficiency of the tasks related to conducting environmental monitoring in different conditions, the reservation of items with an increased level of reliability, as well as the system of embedded control, which are classified; on the principle of management, the range of action, the duration of the flight, the mass-grossing characteristics. Environmental management based on the results of the decoding of aerophotographic materials (study of the territory by aerial photography), will facilitate and accelerate the production process without losing the quality of production. **Conclusion.** When assessing the impacts on the state of the soil during the monitoring take into account soil abandonment, characteristics of the humus composition, mechanical and water -physical properties, landscape-geochemical barriers (accumulation and migration of substances), fertility, degree of development of processes of degradation of soils, etc.

Keywords: monitoring; land resources; unmanned aerial vehicles; land protection.

O. Shmatko¹, V. Alekseyev², Liang Dong¹

¹National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

AN ALGORITHM FOR SEA-SKY LINE DETECTION UNDER VISIBLE SEA IMAGE

Subject of research is the process of sea-sky line detection, based on color feature. **The purpose** of this work is to develop the method is based on color feature as well as textural information. It consists of sea sky region extraction and horizon detection, which is more precise and fast no matter in the sceneries created by camera mounted on board or on shore. **The tasks to be solved is:** to propose the new linear fitting metric in sea-sky line extraction. The following **results** were obtained. The proposed linear fitting method was studied. The performance of proposed horizon detection method is estimated by comparison to other 3 state-of-art methods based on 13 challenging testing videos under different circumstances. The 3 methods are: the method based on discriminates and eigenvalues of covariance matrices in RGB space (H-DE); the method adopting probability distribution functions of sea and sky region (H-PDF) and the method by multi-scale cross modal linear feature (MSCM). The video sequences can be classified into two categories: the camera mounted on board and with camera mounted on shore horizon. **Conclusion.** The proposed linear fitting method can rectify the outlier values. The experimental results on a sequence of test videos demonstrate that the proposed sea-sky line detection method has a higher accuracy and it is more robust and efficient than other existed methods.

Keywords: Sea-sky line; extract the sea-sky line accurately even from low-resolution image; novel horizon detection method for maritime environment.

Abstract

Sea-sky line is one of the most important semantic boundaries in sea-sky images. We design an algorithm consisting of three stages: region extraction, color segmentation and line detection. At first, the region extraction is performed by a spatial-contextual texture-based model and each region is assigned a probability for constructing a belief map to identify sea-sky region. Then, the color segmentation algorithm calculates a series of adaptive thresholds so as to create corresponding breakpoints. Finally, a novel voting method is developed to reduce the computation and the expenses on storage for line detection. Under various sea and sky background, our algorithm can detect the partially occluded sea-sky line precisely.

Introduction

Sea-sky line, as a kind of horizon, bisects sea and sky from sea-sky background image. Sea-sky line plays an important role in maritime surveillance which has been applied to several domains. Because targets on the remote distance always firstly appear near the sea-sky line, the sea-sky line is located to detect the remote targets. Besides, the sky region is regarded as the background, which is excluded to narrow the target searching area and reduce computation cost. Unmanned aerial vehicle (UAV) works on the sea, whose pitch angle and roll angle can be estimated by sea-sky line to automatically adjust its attitude. As the sea-sky line become popular in maritime surveillance, more and more methods are proposed to extract sea-sky line.

A two dimensions parameter space is constructed by adjusting bank angle and pitch angle so as to indicate the location of assumed sea-sky line. Based on color feature, covariance matrices of sea and sky are created respectively. The criterion using determinants and sum-of-eigenvalues is proposed to determine the true sea-sky line [2]. In [3] the probability distribution function is introduced for describing the gray distribution of image.

The line with maximum Bhattacharyya distance is regarded as the true sea-sky line. Shen et al. [4] proposed a modified algorithm of H-HC with double-side narrow band which reduces the influence from wave clutters to some extent. Cornell et al. [5] simplified the calculation by a circular mask. Within the circular mask, the image is segmented into sea region and sky region using OTSU algorithm [10]. The centroid coordinate in each region can be acquired by the average values of x and y . The position of sea-sky line is derived directly without extra extraction of the linear feature. However, the method is only conducted with clear sky over flat terrain. In [6], the horizon angle ranging from 0° to 180° is divided into several parts equally. Within each part, edge pixels project to a line crossing origin. As the maximum projection value may not correspond to the real sea-sky line, several metrics are used such as the distribution of the real sea-sky line projection is symmetric and narrower than other edges projection; the sea-sky line project must be a local extreme value. Edges produced by waves and clouds also satisfy these metrics which are applicable to sky-ground situation but not work well under sea-sky circumstance. Luo et al. [7–8] designed a model composed of color classification and physical-motivated signature validation, which is only effective under specific circumstance with clear and light-blue sky at daytime. Dilip et al. [9] proposed an algorithm for sea-sky line detection called multi-scale cross modal linear feature. By multi-scale media filtering, the linear feature is extracted by Hough transform and the intensity variation over different scales. Affirm score composed of geometric score and goodness score are calculated, the largest value of which indicates the true sea-sky line. The method can extract the sea-sky line accurately even from low-resolution image or under the circumstance that horizon is partially occluded by other objects. But the method is easily influenced to waves with huge computational complexity.

The paper is organized as follows. In Section 2, the physical characteristics around horizon in maritime are

investigated. According to these characteristics, abnormal values are eliminated and a statistical gray-level co-occurrence matrix is constructed. Then a weighted contrast is designed to extract texture feature. Based on color feature, the process of sea-sky line detection is executed. A series of thresholds are obtained by OTSU method to find appropriate split points. Thus a new metric linear fitting method is desired using the split points. Section 3 presents experimental results and discussion on the performance of methods. Conclusion and suggestions for future research are drawn in Section 4.

Algorithm

Clouds influence color distribution of sky region which also constructs textural features while features of sea region are consisted of light refraction and reflection from waves. To extract sea-sky line, sky with its clouds can be classified into one class and sea belongs to another class. What we should to do is that reduce the difference within the class without weakening the difference between classes. In order to illustrate three color distributions, we extract 1-D traces within the image along blue sky-to-cloud direction. As shown in Fig.1 (a), we find that in blue channel color changes between blue sky and white clouds is not as significant as in red channel and green channel. In cloud region whose color is seen as whitish, all three channels reach a high level in clouds [1] but only the blue channel in blue sky has a high value as clouds. And in Fig. 1 (b), three color distributions are similar to each other. One of them can represent the others. It means that we can adopt the blue channel value to transform the image from RGB color space to gray space under this circumstance. This principle is also applicable to condition associating with sunrise and sunset.

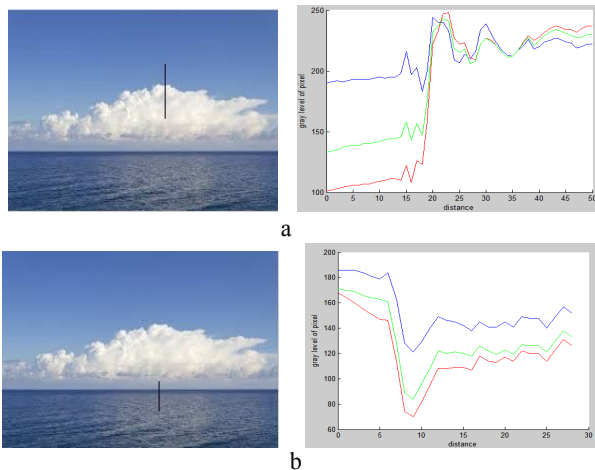


Fig. 1. The first image of shows a trace (in black color) going through clear blue sky and white clouds, crossing sky to deep blue sea. The second image illustrates corresponding color records of three channels (blue, green and red respectively)

For an original image I with $M \times N$ resolution cells, its gray image is described as:

$$I_{gray} = f(x, y)_{M \times N}.$$

Where $f(x, y)$ is gray level of pixel at position (x, y) . We randomly select a region whose height or

width should be equal to height or width of image and calculate average value of each channel. The value of $f(x, y)$ is computed by following equation:

$$f(x, y) = \begin{cases} R(x, y) & \text{if } R > G, R > B; \\ G(x, y) & \text{else if } G > R, G > B; \\ B(x, y) & \text{otherwise,} \end{cases}$$

where $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$ represent value of red, green, blue channel at position (x, y) respectively while RGB respectively represent the average value of three-distinction image's color channel of red, green, blue in selected region. Based on YUV model, there is a traditional formula to acquire a gray image from original RGB image:

$$f(x, y) = 0.299 \times R(x, y) + 0.587 \times G(x, y) + 0.114 \times B(x, y).$$

Fig. 2 shows the result of transformation by two different formulas. From Fig. 2 we find that the diversity between blue sky and white clouds is weakened obviously and the difference between sky and sea is reduced slightly by proposed formula. It is helpful to separate the sky from sea.



a – Original image



b – Gray image by proposed method



c – Gray image by traditional method

Fig. 2. The obtained gray images using different formulas.

For that sea always has darker blue color comparing to sky, color as the most prominent feature, which can be directly used to identify sky and sea in the most circumstance. But sky with saturated blue at the top and sea with lights from reflection and scattering

may disturb sea-sky line extraction. On the basis of Rayleigh’s law, the color of sky gradually desaturates from zenith to sea-sky line. The region appearing near the horizon is almost white for scattering effect caused by particles in air. To eliminate saturation effect on the top of image and reflection light on large area appearance of sea, we can extract sea-sky region, including both partial sea and sky, to locate sea-sky with less disturbance. Our experimental images show that for true clear sky region or overcast sky region even color-tinted sky region (at sunrise or sunset), the detected sky region have a near uniform distribution. Because the light scattering in some color channel is approximately homogeneous, the sky region also appears fairly homogeneous in terms of color as well as textural feature. But the light reflection and scattering on the appearance of sea cause them inhomogeneous. We use textural feature to describe characteristics of sea and sky. As the spatial relationship is regard as the function of distance between two pixels, the textural feature of region can be expressed by gray-level co-occurrence matrix. Gray-level co-occurrence matrix is consisted of the joint numbers by combination of every two gray level i and j along direction Θ , with distance d . The co-occurrence matrix is defined as:

$$P(i, j, d, \Theta) =$$

$$\# \{[(x, y), (x + m, y + n)] | f(x, y) = i, f(x + m, y + n) = j\},$$

where $m = d \cos \Theta$, $n = d \sin \Theta$, (x, y) and $(x + m, y + n)$ are positions of two pixels in image, $\#$ represents the number of elements in this set; Θ ($\Theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$) denotes the angle between horizontal direction and the line connected by two pixels.

To reduce the computation, we rescaled the values from 8 bit to 4 bit.

The rescaled formula is shown as:

$$f(x, y) = f(x, y) / 16,$$

a normalized matrix is defined as:

$$P(i, j, d, \Theta) = P(i, j, d, \Theta) / R,$$

where R is the total number of pixel pairs.

We have got gray-level co-occurrence matrix and need to evaluate the complex of textural feature. The contrast, as an evaluated approach of textural features, is calculated as:

$$C = \sum_i \sum_j (i - j)^2 P(i, j, d, \Theta).$$

As gray distribution of sky and sea is anisotropic, textural features from all four angles are useful for constructing gray-level co-occurrence matrix. We add up values from four directions as the final textural feature value. For characteristics of sea-sky images, we classify them into four classes: overcast images with clouds, images containing rough waves, color-tinted images with strong lights from scattering and reflection as well as normal images including clear sky and calm sea. These are showed as Fig. 3.

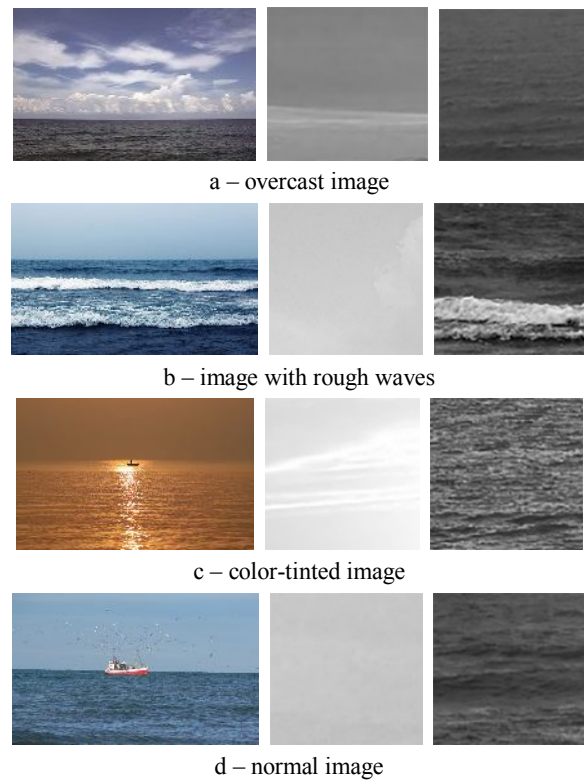


Fig. 3. The first column of a, b, c, d is original sea-sky image. The second column describes their sky region. The last column is from their sea region.

To illustrate the difference of sky region and sea region, we calculate textural features of them from Fig. 3. We set d starting at $d = 1$ and the increasing step is one pixel. The biggest value of d is 30. The normalized contrast values of the textural feature calculated from the sky and sea sub-images are shown in Fig. 4.

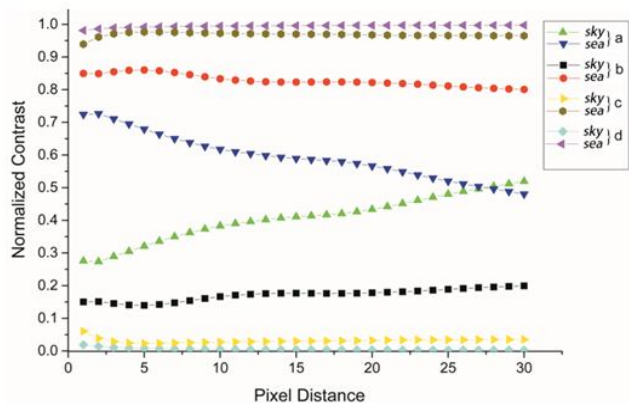


Fig. 4. The normalized contrast values with the variation of d

From Fig.4, when $d = 2, 3$ the normalized contrast value performs better to get an obvious differentiation between the sky region and sea region. In all four kinds of scene, the textural feature of sea region is more complex than sky region with certain pixel distance [8]. Especially in color-tinted image and image with rough sea, the textural features of sea and sky are even not in the same order. But for image with overcast sky, the sea region is more complex than the sky region only when the pixels distance less than 28, because the thickness of clouds is not

unformed. Lights scatter by particles in clouds, which cause variable gray distribution and construct more complex textural features comparing to other scenes.

We design a sliding window and calculate textural feature value in each time window slides. The size of sliding window cannot be too small because textural features are based on statistics. As well the window size should not be so large that it includes both sky and sea which confuses discrimination. There is no identical standard to devise the size of window. According to experimental results, we set the size of sliding window at a resolution of $m \times n$, where $m = \lceil M/15 \rceil, n = \lceil N/15 \rceil$, M is the number of original image's rows while N represents the amount of columns. The sliding window starts moving on the top-left along the vertical direction. The moving trajectory is given in Fig. 5, a.

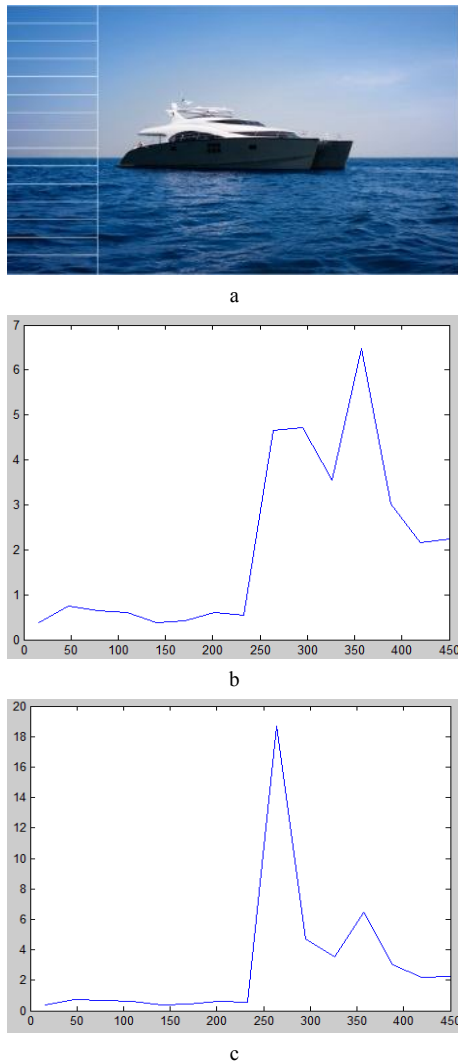


Fig. 5. Each small white rectangular shows the size of sliding window. Window moves along the vertical direction from zenith to nadir. b – shows a series of datas with outlier c – shows datas without outlier

We compute textural features in each sliding window and get a series of values, which are showed in Fig. 5, b. It clearly can be seen that the curve increases sharply near the conjunction of sea and sky on which existing a specially high value exceeds over 18. This outlier value is created by the window including both sea

and sky where gray distribution changes violently. We eliminate this abnormal value (as Fig. 5, c) and these remaining datas distribute like a s-shape curve. Although within one sliding window textural value of sea larger than sky's, there are still some special condition as Fig. 5, a: sliding windows containing sky and sea may have the maximum textural value over all image under which the next regions are believed to be sea with high confidence(the seed region of sea). On the same time, the window with the minimum value is defined as sky region in low confidence(the seed region of sky). Based on experimental results, if the textural value in some window is less than four times of minimum textural value and no more than a quarter of maximum textural value, corresponding windows belong to sky. Every seed region of sea is assigned a belief value of 0.99999, and each seed region of sky is given a belief value of 0.00001. We also need to assigned belief values to other regions, in other words sliding windows, which are not seed region. A logistic model of sea is applied to a classification stage for assigning a belief value to each region. The logistic model is represented as:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-(x-a)/c}}$$

Where α is the offset of logistic function on x-axis. c represents the extent of inclination for curve: the value is higher, the curve is steeper. x is the location of seed region in original image $f(x)$ is belief value corresponding to each $x, f(x) \in (0,1)$. We takes logarithm of logistic function as:

$$\ln\left(\frac{1}{f(x)} - 1\right) = \ln\left(\exp\left(-\frac{x-a}{c}\right)\right) = -\frac{x}{c} + \frac{a}{c}.$$

$$\text{Set } y = \ln\left(\frac{1}{f(x)} - 1\right), \text{ so } y = -\frac{x}{c} + \frac{a}{c}.$$

The logistic function has been transformed into a linear function. Suppose that the number of seed region is N , we have a series fitting points consisting of the location of seed region x_{seed} and their belief values y_{pro} . We should adopt a method to minimize the sum of squared residuals between observed belief value and fitted belief value. The method of least square, as an approach in linear regression, can be used in data fitting.

When two coefficients of logistic function has got, the fitting curve of Fig. 5, a is descibed as Fig. 6.



Fig. 6. The logistic curve of Fig. 5 is based on the location of seed region and their belief value

When the belief value of area approximates near 1, the area is definitely sea area. Otherwise, when the belief value decreases near 0, its corresponding area all belongs to sky. Some areas with probability between 0 and 1 are hardly to be defined as sea or not. We called these area as sea-sky area. Sea-sky area eliminates the top region of original image on which saturated effect often appears. Sea region on the sea-sky area is almost white. And on the sea-sky area, the reflecting light scatters more times from appearance of sea whose color becomes deeper dark blue. The boundary of sea-sky region is decided by predefined belief values where the smallest value decides the highest boundary of sea-sky area and the largest value sets the lowest boundary. We define two belief value as the largest one is P_{large} , another probability is P_{small} . The boundary of sea-sky region is located in a definite interval. If P_{large} increases by degree, the area of sea as x_{low} on the sea-sky region would decrease gradually. On the same time, when P_{small} decreases, the value of x_{high} increases and area of sky region becomes more larger. In order to obtain adequate area of sea and sky, we set $P_{large} = 0.99$, $P_{small} = 0.01$. Under this condition, sea-sky region is extracted as Fig. 7 a) shows.

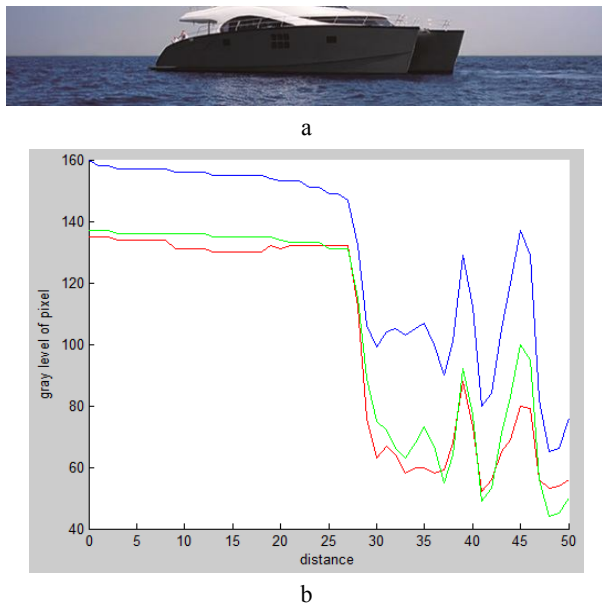


Fig. 7. Extracted sea-sky region with occluding boat

Above of sea-sky region has bluish color and the part of sea shows dark blue color. It is obvious that sea-sky region is partitioned into two classes according to their color distribution. We can use color feature to find a threshold distinguishing these two regions and extract sea-sky line as a boundary between them. We randomly select one of the columns (not includes boat) in Fig.7 a and its gray distribution is showed in Fig.7 b. Gray histogram is assumed to have a bimodal distribution with a sharp change near the boundary of two classes. We adopt OTSU algorithm searching for the threshold that maximize the inter-class variance and minimize the intra-class variance, which is described as:

$$\sigma_b^2(t) = w_1(t)w_2(t)(\mu_1(t) - \mu_2(t))^2,$$

where t is the threshold when inter-class variance σ_b^2 reaches the maximum value $w_1(t)$, $w_2(t)$ are probabilities of two classes by threshold while $w_1(t)$, $w_2(t)$ are class means:

$$w_1(t) = \sum_{i=0}^{t-1} P(i), w_2(t) = \sum_{i=t}^{g-1} P(i);$$

$$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} iP(i)}{w_1(t)}, \mu_2(t) = \frac{\sum_{i=t}^{g-1} iP(i)}{w_2(t)},$$

where g is gray level, $P(i)$ is the probability under gray-level i .

When sky is clear whose light is bluish, both sky region and sea region have their identical color features. But obstacles, as Fig. 7 a, appears on the sea-sky line disturbs gray distribution of sea-sky area, which produces several undesirable false positives. We equally divide sea-sky region into n parts ($n = 20$) along the horizontal direction and calculate threshold in each part. If the part occluded by obstacles (i.e boats, waves, islands), it will produce a outlier. The part without any obstacles, or these obstacles can not disturbs gray distribution evidently, it creates a threshold accurately. A sequence of thresholds have been obtained, by which we locate coordinates of segment in each part. Fig. 8 illustrates 20 candidate coordinates the are computed for the image of Fig. 7, a. We should eliminate those outliers and extract sea-sky line using reminder points.



Fig. 8. 20 candidate coordinate for segmentation

A straight line pattern is described as:

$$y_i = kx_i + b, i = 1, 2, \dots, n,$$

where (x_i, y_i) is edge points on the same straight line. k is the linear slope and b is the intercept. n represents the number of edge points. Every two points can construct a linear equation. Each point set $((x_i, y_i), (x_j, y_j)), i \neq j$ will obtain a pair of parameters (Θ, b) , $\Theta = \arctan k$. We use angle Θ to quantify the gradient of straight line instead of the slope k because of $\Theta \in (-90^\circ, 90^\circ)$ which has a definite boundary while $k \in (-\infty, +\infty)$. In Fig. 8 every two candidate coordinates is connected in order so as to create a set of coordinate pairs

$$\left\{ \left((x_i, y_i), (x_j, y_j) \right) \right\}, i < j, i \in [1, n-1], j \in [2, n]$$

and their corresponding parameter pairs $\left\{ (\Theta_{i,j}, b_{i,j}) \right\}$. Once a pair of these parameters is got, $Count(\Theta_{i,j}, b_{i,j})$ as an accumulator, will be increased by one. Some connections is illustrated in Fig. 9.



Fig. 9. Some connections between coordinates.

The straight line in black color represents the connections between the first coordinate(No.1) and other coordinates. The yellow lines connect the coordinate, whose sequence number is 14, with its following coordinates

Total number of connections is:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Count(\Theta_{i,j}, b_{i,j}) = 1 + 2 + \dots + (n-1) = \frac{n(n-1)}{2}.$$

All of coordinates on the sea-sky line, like (1, 2, 3, 4, 5, 16, 17, 18, 19, 20), can construct the same straight line. But for coordinates in outlier, like point No. 14, connections in yellow color may belong to different linear equations.

Suppose that under extreme circumstances, all coordinates in outlier arrange in the same straight line of which the amount is m . If we could extract the sea-sky line accurately, it should satisfy

$$\frac{n(n-1)}{2} > m(m-1) \rightarrow m < \frac{n}{2}.$$

In fact, as Fig. 9 shows, these outliers are not in the same stright line in most cases. It means even the length of obstacles are more than half of the image width, we can also truely find the sea-sky line. After all parameter pairs (Θ, b) have been obtained, we define (Θ_{max}, b_{max}) as the parameter of sea-sky line if its value in accumulator is the largest one. The conclusion of procedured is: at first we partition coordinates by angle Θ and intercept b up to a certain tolerance; then count the number of elements in each group that is done by corresponding accumulators; finally, validate the group which has the largest number of elements.

Step 1. Parameter calculation

A linear function is fitted by at least two points. When we have two ponts $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$, the linear equation is written as:

$$y = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} x + \frac{x_j y_i - x_i y_j}{x_j - x_i},$$

where $i < j, i \in [1, n-1], j \in [2, n], x_j \neq x_i$.

And the angle Θ and the intercept b are:

$$\Theta = \arctan \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}; \quad b = \frac{x_j y_i - x_i y_j}{x_j - x_i}.$$

We desigh a set S to deposit parameter pair (Θ, b) .

Step 2. Voting

When we get a parameter pair (Θ, b) by step 2, we should judge whether (Θ, b) have existed in set S or not. If exist, the correspondig accumulator $counter(\Theta, b)$ increases by one. Otherwise, (Θ, b) will be added into set S . For that small waves and reefs

appearing on sea-sky line make the position of line distorted.

We set up two predefined tolerances, τ_Θ for angle and τ_b for intercept, so as to reduce distortion effects. For $\forall(\Theta_l, b_l) \in S$, if exits:

$$|\Theta - \Theta_l| < \tau_\Theta \text{ and } |b - b_l| < \tau_b.$$

We updates the parameter pair as:

$$\Theta_l = \frac{\Theta + \Theta_{counter(\Theta_l, b_l)}}{counter(\Theta_l, b_l) + 1};$$

$$b_l = \frac{b + b_{counter(\Theta_l, b_l)}}{counter(\Theta_l, b_l) + 1}.$$

Then the correspondig accumulator will increase as:

$$counter(\Theta_l, b_l) = counter(\Theta_l, b_l) + 1.$$

If not, we put (Θ, b) into set S as a new element.

The Step 2 continues until all parameter pairs are used.

Step 3. Validation

We search all over of the set S to find the maximum value in their corresponding accumulators. Suppose that the value of $Count(\Theta_{max}, b_{max})$ is the largest, $y = \tan \Theta_{max} x + b_{max}$ is regraded as the linear equation of sea-sky line. The result of extraction by algorithm is showed in Fig. 10.



Fig. 10. The result of sea-sky line extraction

Experiments

The performance of proposed horizon detection method is estimated by comparison to other 3 state-of-art methods based on 13 challenging testing videos under different circumstances. The 3 methods are: the method based on discriminates and eigenvalues of covariance matrices in RGB space ($H-DE$) [2]; the method adopting probability distribution functions of sea and sky region ($H-PDF$) [3] and the method by multi-scale cross modal linear feature ($MSCM$) [9]. The video sequences can be classified into two categories: the camera mounted on board and with camera mounted on shore horizon. For camera mounted on shore, the location of sea-sky line remains stably. However, for camera mounted on board, the location of sea-sky line changes along the vessel. Under this condition, the sea-sky line detection would be influenced significantly.

To evaluate the performance of proposed method, in this experiment parameter of angle deviation τ_Θ is set to 0.5 and the intercept deviation τ_b is equal to 3.

The details of video sequences used in experiments are described in Table 1 (N – name of test sequences; T – the number of ground truth/frames; TT – the total number of frames).

Table 1 – Video sequence in the experiments

N	T	N	T	N	T
1	299	6	255	11	299
2	279	7	299	12	539
3	299	8	299	13	502
4	299	9	299	TT	4255
5	288	10	299		

Several standards are proposed to evaluate the performance of horizon detection method comparing to manual denoted results. At first, the angle a between horizon and the horizontal edge of image which indicates the inclination of horizon. Y is the vertical distance from the center point of upper edge in the image to horizon and it is used to mark the location of horizon [9]. The errors of angle a and distance Y are produced by the subtraction of detected results and ground truth at every frame.

Based on 13 test maritime videos, the performances of 4 methods are evaluated as Table 2 and 3.

Table 2 – Average Center Location Error Y (in pixel)

Name of test sequences	Method			
	MSCM	H-PDF	H-DE	Proposed
1	340.8003	158.2167	34.5042	2.3870
2	247.5191	24.3547	22.9409	3.4670
3	306.0614	25.2960	20.0490	3.0749
4	105.1453	25.6921	52.2371	5.8420
5	283.2996	139.0549	16.7897	3.0327
6	243.2897	15.4826	29.8568	1.8821
7	101.1494	13.8743	20.8121	2.7234
8	67.9964	19.2581	48.9061	2.7236
9	279.6231	39.5646	26.1926	6.5724
10	213.1621	59.2639	35.9400	7.7864
11	3.3323	66.3006	33.3258	4.6951
12	13.2109	135.8365	18.4610	11.9131
13	12.3280	28.7704	45.5998	1.8326
Y	152.8733	52.8953	32.0193	4.7867

Table 3 – Average Center Location Error α (in degree)

Name of test sequences	Method			
	MSCM	H-PDF	H-DE	Proposed
1	2.0608	2.6242	3.6478	0.0928
2	1.9307	1.3691	3.8127	0.1440
3	1.799	1.4702	3.3448	0.1650
4	1.1927	1.4903	5.5584	0.2747
5	1.9161	2.9089	3.1428	0.1159
6	1.7038	2.8763	2.8679	0.1342
7	0.9078	2.4501	2.5698	0.1539
8	0.6653	2.4911	6.0460	0.2490
9	1.4311	3.1889	3.3896	0.2914
10	1.5454	3.1667	4.2753	0.3280
11	0.3267	0.3267	5.3197	0.1465
12	0.1429	3.3221	2.9976	0.2211
13	0.1848	0.1815	4.9878	0.0275
α	1.0971	2.1105	3.8837	0.1761

The best result is remarked in red color.

It can be concluded from Table 2 and Table 3 that the proposed method has a minimum detection error both in average center location and in average angle comparing to other methods. In 13 test videos, the average center location error and average angle error of this paper are 4.7867 pixels and 0.1761 degrees respectively, which are smaller than other methods. In Sequence 8, 11, 12, thick clouds constructs similar color feature to sea region that attenuates the horizon. The proposed method and *MSCM* present the best performance in Sequence 8, 11, 12. But for other methods, they totally depart from the true horizon. Meanwhile camera mounted on board from Sequence 1 to Sequence 10 fluctuates irregularly. The gray distribution of image is disorganized. Even if under this condition, the proposed method gives the best results and can capture entire horizon accurately. In addition, the proposed method has a higher process rate in video sequences which are shown in Table 4. The experiment is executed on Matlab 2016b, CPU Intel i5-3210M, Memory 2GB.

Table 4 – Process rates of 4 methods

The size of frames	Process rate (seconds per frame)			
	Proposed	MSCM [9]	H-PDF [3]	H-DE [2]
1920×1080	1.021	6.223	3.556	7.404

From Table 4, the proposed horizon detection method is more efficient with assurance of lower average center location error and angle error.

Some detection results by proposed method is illustrated in Fig. 11.



Fig. 11. Some sea-sky line detection result (in green) by proposed method

From Fig. 11, it can be found that the proposed method have a good performance in test sequences even if a part of sea-sky line is occluded by vessels.

Conclusion

In this paper, a novel horizon detection method for maritime environment is proposed. The method is based on color feature as well as textural information. It consists of sea sky region extraction and horizon detection, which is more precise and fast no matter in

the sceneries created by camera mounted on board or on shore. New linear fitting metric is used in sea-sky line extraction. The proposed linear fitting method can rectify the outlier values. The experimental results on a

sequence of test videos demonstrate that the proposed sea-sky line detection method has a higher accuracy and it is more robust and efficient than other existed methods.

REFERENCES

1. You, J.Y. & Chien, S.I. (2008), "Saturation enhancement of blue sky for increasing preference of scenery images", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 54, No. 2, pp. 762-768, DOI: <https://doi.org/10.1109/TCE.2008.4560158>.
2. Ettinger, S.M., Nechyba, M.C., Ifju, P.G. and Waszak, M. (2004), "Vision-Guided Flight Stability and Control for Micro Air Vehicles", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, DOI: <https://doi.org/10.1109/IRDS.2002.1041582>.
3. Lipschutz, I., Gershikov, E. and Milgrom, B. (2013), "New Methods for Horizon Line Detection in Infrared and Visible Sea Images", *International Journal Of Computational Engineering Research*, Vol. 3, Issue. 3, pp. 226-233.
4. Shen, Y.F., Krusienski, D., Li, J. and Rahman, Z. (2013), "A Hierarchical Horizon Detection Algorithm", *IEEE GEOSCI REMOTE S*, 10(1), pp. 111-114.
5. Cornall, T.D., Egan, G.K. (2006), "Aircraft Attitude Estimation from Horizon Video", *Electron LETT*, 42 (12), pp. 744-745.
6. Zhang, H., Yin, P., Zhang, X.O. and Shen, X.R. (2011), "A Robust Adaptive Horizon Recognizing Algorithm Based on Projection", *TIMEAS CONTROL*, 33(6), pp. 734-751.
7. Luom J. and Etzm S. (2002), "A Physics-Motivated Approach to Detecting Sky", *Photographs. International Conference on Pattern Recognition*, pp. 155-158.
8. Singhal, A. and Luo, J.B. (2003), "Hybrid Approach to Classifying Sky Regions in Natural Images", *Image and Video Communication and Processing*, pp. 562-572.
9. Prasad, D.K., Rajan, D., Prasad, C.K., Rachmawati, L., Rajabally, E. and Quekm C, (2016), "MSCM-LiFe: Multi-scale Cross Modal Linear Feature for Horizon Detection", *Maritime Images. TENCON*, pp. 1366-1370.
10. Otsu, N. (1979), "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), pp. 62-66, DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>.

Received (Надійшла) 11.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2018

Алгоритм розпізнавання морського горизонту на фото і відеозображеннях

О. В. Шматко, В. О. Алексієв, Лианг Донг

Предметом дослідження є процес виявлення лінії морського горизонту, заснований на кольоровій характеристиці. **Мета** цієї роботи полягає в розробці методу заснованого на функції обробки кольорової інформації, а також текстурної інформації. Він полягає в поділі області моря і неба і виявлення горизонту. Метод є більш точним і швидким, незалежно від того, які знімки зроблені камерою, встановленою на борту або на березі. **Завдання**, які необхідно вирішити - запропонувати нову лінійну метрику фітінгу при визначенні лінії морського горизонту. Були отримані наступні **результати**: вивчено пропонувані метод лінійної підгонки. Виконано оцінку запропонованого методу виявлення горизонту в порівнянні з іншими трьома сучасними методами, заснованими на 13 складних тестових відеороликах в різних обставинах. З метода: метод, заснований на дискримінантах і власних значеннях коваріаційних матриць в просторі RGB (H-DE); метод, який використовує функції розподілу ймовірностей області моря і неба (H-PDF) і метод багатомасштабного крос-модального лінійного ознаки (MSCM). Дані, використані при дослідженнях можна розділити на дві категорії: камера, встановлена на борту, і камера, встановлена на березі. **Висновок**. Пропонувані метод лінійної підгонки може виправити значення викидів. Експериментальні результати за послідовністю тестових відео показують, що пропонувані метод виявлення лінії морського горизонту має більш високу точність і є більш надійним та ефективним, ніж інші існуючі методи.

Ключові слова: лінія морського горизонту; точне визначення лінії морського горизонту для зображень з низьким дозволом; новий метод виявлення морського горизонту.

Алгоритм распознавания морского горизонта на фото и видеозображениях

А. В. Шматко., В. О. Алексеев, Лианг Донг

Предметом исследования является процесс обнаружения линии морского горизонта, основанный на цветовой характеристике. **Цель** этой работы заключается в разработке метода основанного на функции обработки цветовой информации, а также текстурной информации. Он заключается в разделении области моря и неба и обнаружения горизонта. Метод является более точным и быстрым, независимо от того, какие снимки сделаны камерой, установленной на борту или на берегу. **Задачи**, которые необходимо решить - предложить новую линейную метрику фитинга при определении линии морского горизонта. Были получены следующие **результаты**: изучен предлагаемый метод линейной подгонки. Выполнена оценка предложенного метода обнаружения горизонта по сравнению с другими тремя современными методами, основанными на 13 сложных тестовых видеороликах в разных обстоятельствах. З метода: метод, основанный на дискриминантах и собственных значениях ковариационных матриц в пространстве RGB (H-DE); метод, использующий функции распределения вероятностей области моря и неба (H-PDF) и метод многомасштабного кросс-модального линейного признака (MSCM). Данные, использованные при исследованиях можно разделить на две категории: камера, установленная на борту, и камера, установленная на берегу. **Выводы**. Предлагаемый метод линейного подгонки может исправить значения выбросов. Экспериментальные результаты по последовательности тестовых видео показывают, что предлагаемый метод обнаружения линии морского горизонта имеет более высокую точность и является более надежным и эффективным, чем другие существующие методы.

Ключевые слова: линия морского горизонта; точное определение линии морского горизонта для изображений с низким разрешением; новый метод обнаружения морского горизонта.

А. О. Зуєв

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

МЕТОД ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ТЕРМОГРАМ, ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ МАЛОРОЗМІРНИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ

Метою статті є розробка і дослідження методу видалення шумів на термограмах низької просторової роздільної здатності, отриманих з комерційних малогабаритних тепловізійних камер, які за своїми масогабаритними характеристиками можна використовувати на міні-БПЛА для теплового моніторингу об'єктів енергетичної інфраструктури. Визначено що основним параметром, який несе інформацію про режим роботи об'єкта і наявності дефектів, при тепловому моніторингу є розподіл температури по поверхні об'єкта, який може реєструватися тепловізором. Проведено аналіз характеристик комерційних тепловізорів з неохолоджуваними матрицями. Вони мають невисоку вартість та невелику масу, таким чином, їх застосування дозволяє істотно знизити вартість системи моніторингу за рахунок як зниження вартості корисного навантаження так і вимог до вантажопідйомності БПЛА. Особливістю тепловізійної зйомки є порівняно мала роздільна здатність термограм та значний рівень шумів на них, що вимагає застосування методів обробки зображень, які б мінімізували рівень шумів. Розглянуто процес отримання термограм з використанням малогабаритного тепловізора в реальному масштабі часу. Запропоновано і реалізовано метод видалення основних видів спотворень на термограмах, заснований на адаптивному цифровому медіанному фільтрі. Проаналізовано процес появи теплового градієнта, що виникає під час роботи болометричної матриці, наведено метод його видалення. Показано, що запропоновані методи дозволяють практично повністю усунути артефакти наявні на термограмі.

Ключові слова: теплові зори; адаптивна медіанна фільтрація; об'єкти електроенергетичної інфраструктури; безпілотні літальні апарати; обробка зображень.

Вступ

В останні роки значно зріс інтерес до вимірювань температури за допомогою тепловізійних камер (тепловізорів). Вони використовуються в тих випадках коли необхідний контроль теплового стану об'єкта, або необхідно безконтактне вимірювання температури [1]. Широке застосування тепловізори отримали в енергетиці, будівництві та промисловості [2].

Тепловий моніторинг заснований на реєстрації і аналізі температури контрольованих об'єктів. Головною умовою його застосування є наявність в об'єкті моніторингу теплових потоків. Процес передачі теплової енергії, виділення або поглинання тепла в об'єкті призводить до того, що його температура змінюється щодо навколишнього середовища. Основним параметром, який несе інформацію про режим роботи об'єкта і наявності дефектів, при тепловому моніторингу є розподіл температури по поверхні об'єкта [3].

Огляд існуючих рішень моніторингу із застосуванням тепловізорів. Останнім часом для реєстрації стану та моніторингу об'єктів, розподілених на великій площі (картографія, сільське та лісове господарство, великі промислові об'єкти та мережі) поряд із традиційними методами застосовуються методи автоматизованого тепловізійного [4] сканування за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

В процесі моніторингу ЛЕП, застосування тепловізійного сканування допомагає вирішити задачу виділення ділянок ЛЕП і її конструкційних елементів, температура яких виходить за допустимі межі а також сумісно з зображеннями видимого діапазону, для розпізнавання рослинності. Спільно з БПЛА доцільно застосовувати тепловізори з порівняно широким кутом просторового дозволу, які дозволя-

ють зареєструвати перевищення температури вище заданого рівня, і зберігати отримані термограми для подальшої обробки.

Зазвичай тепловізори встановлюються на літаючі платформи спільно з камерами видимого діапазону та дозволяють виявити потенційні проблеми на ізоляторах або провідних лініях [5]. Однак дослідники [6] відзначають складність точного вимірювання температури невеликих об'єктів (якими є елементи ЛЕП) навіть з невеликої відстані. На це впливають погодні умови та завади на термограмах які обумовлені властивостями матеріалів об'єктів.

В роботі [7] показана теоретична можливість застосування тепловізорів з неохолоджуваними матрицями для безконтактного вимірювання температури провідів ЛЕП. В [8] наведено метод визначення стану провідників по термограмі з урахуванням нагріву струмом, вітрових умов і температури навколишнього середовища.

З аналізу літератури, можна відзначити, що методи використання тепловізорів для моніторингу ЛЕП опрацьовані недостатньо. Існуючі методи, при використанні тепловізорів з літаючих платформ, дозволяють в більшості випадків виявити температурні аномалії, а не провести вимірювання температури.

Метою статті є розробка і дослідження методу видалення шумів на термограмах низької просторової роздільної здатності, отриманих з комерційних малогабаритних тепловізійних камер, які можна використовувати на БПЛА в процесі моніторингу об'єктів енергетичної інфраструктури.

Аналіз комерційних тепловізорів, які можуть бути застосовані на БПЛА

Основними виробниками компактних недорогих тепловізійних камер є фірми Thermal Expert, Flir,

SeekThermal. Останнім часом спостерігається стійка тенденція до зростання роздільної здатності тепловізійних матриць, з одночасним зменшенням габари-

тів і ціни пристроїв. Порівняльна характеристика типових компактних тепловізійних камер нижнього цінового діапазону показана в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика компактних тепловізійних камер

Камера	Кут огляду	Роздільна здатність	Маса, гр	Діапазон вимірювання, °С
Flir VUE	69-32	640x512 (336x256)	92-113	-20, 120 (0,1)
Thermal Expert Q1	28-56	384x288	27	-10, 150 (0,08)
Flir One First Gen	46	80x60	57	-20, 120 (0,1)
Flir One	46	160x120	57	-20, 120 (0,1)
Seek Thermal Compact	36	210x156	17	-40, 350 (0,5)
Seek Thermal XR	20	210x156	17	-40, 350 (0,5)
Seek Thermal Pro	32	320x240	141	-40, 350 (0,07)

При монтуванні тепловізорів на БПЛА важливу роль відіграє ряд чинників, які не чинять істотного впливу при створенні наземних систем автоматизованого збору і обробки сигналів. Це в першу чергу масогабаритні характеристики, та споживана потужність, а також організація каналів зв'язку сенсору тепловізора і бортового пристрою збору і обробки сигналів.

Як видно з табл. 1, типові комерційні тепловізори мають роздільну здатність від 80 до 210 елементів (по більшій стороні) і масу в кілька десятків грам. Серед особливостей деяких пристроїв слід відзначити можливість суміщення тепловізійних та зображень видимого спектру, що дозволяє більш точно визначати положення областей нагріву в просторі.

На рис. 1 наведено схему болометричного тепловізора SeekThermal, як найбільш перспективної моделі для використання в БПЛА, даний пристрій має найменшу масу (менше ніж 20 гр.) при досить великих розмірах матриці і мінімальній ціні. Зображення потрапляє в прилад через об'єкти з халькогеніду з кутом огляду 36 (20) градусів. Об'єкти має кільце фокусування. Чутливим елементом є сенсор, що складається з матриці мікроболометрів на оксиді ванадію, що працює в діапазоні електромагнітних хвиль 7,2 ... 13 мікрон.

Основною технічною проблемою при використанні даного тепловізора в бортовій системі БПЛА є обмеженість інтерфейсів підключення (працює тільки з мобільними телефонами та їх ОС) і закритість API. Для підключення до ПК або бортового комп'ютера БПЛА доцільно схемотехнічно змінити інтерфейс підключення камери, для чого необхідно поєднати сигнальну лінію Sense на тепловізорі з лінією GND, і змінити роз'єм на USB-Type-A (або Micro-B).

Алгоритм взаємодії з пристроєм складається з таких кроків:

1. Початкова настройка та ініціалізація. Встановлюється режим роботи, параметри обробки зображення і стан термошторки (ТШ). Після чого включається режим передачі кадрів з калібрувальною та технологічною інформацією.

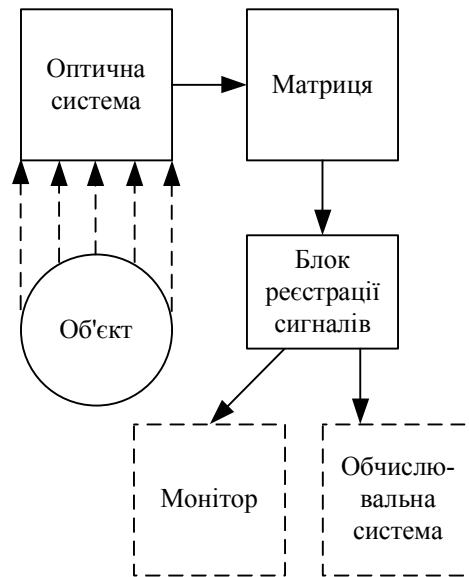
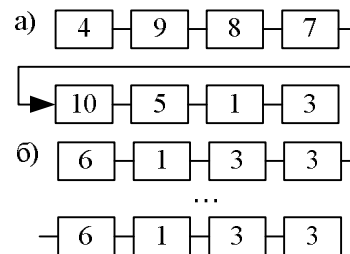


Рис. 1. Схема тепловізора SeekThermal.

2. Калібрувальна інформація складається з декількох кадрів, які задають: температурний градієнт, матрицю збійних елементів і коефіцієнти посилення мікроболометрів, а також ряд калібрувальних коефіцієнтів (рис. 2, а).



- 1 - калібрувальний кадр (шторка закрыта);
- 3 - термограма;
- 4 - технологічна маска дефектних елементів;
- 6 - початок калібрації (ТШ закривається);
- 8 - кадр з закритою ТШ;
- 9 - температурний градієнт;
- 10 - коефіцієнти посилення елементів.

Рис. 2. Послідовність кадрів що поступають з тепловізора: а – при ініціалізації; б – в робочому режимі

3. Робочий режим, в якому передається пара калібрувальних кадрів (при закритій ТШ) і серія термограм. Всі кадри мають однакову роздільну здатність. Калібрувальні кадри дозволяють компенсувати нагрів болометрів, при розрахунку температури (рис. 2, б).

4. Відключення тепловізора, після закінчення роботи.

Незважаючи на наявність калібрувальних даних, отримані термограми відрізняються великим рівнем шумів, як в просторової, так і в часовій області (рис. 3).

Вони вимагають подальшої обробки з використанням методів цифрової обробки зображень.

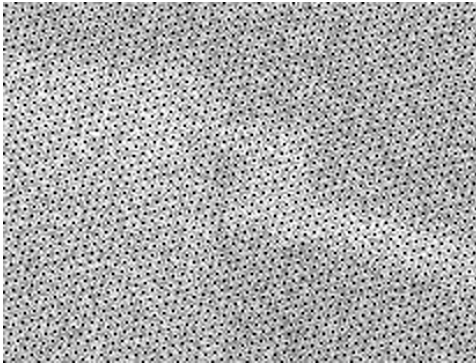


Рис. 3. Приклад термограми, що надходить безпосередньо з тепловізора (кадр №3).

Метод усунення завад з термограми

Кожна термограма T являє собою матрицю розміром 208 на 156 елементів, кожне значення елемента кодується 16 бітами. Два останніх стовпчика не відображаються, передостанній містить ваговий коефіцієнт лінії, а останній завжди значення 0. При цьому, діапазон робочих значень знаходиться від ~2000 до ~16000. Як видно з рис. 3, термограма не може бути використана безпосередньо, без фільтрації і подальшої обробки.

Завади на термограмі можна умовно розділити за такими групами:

1. Технологічні - кожен 15 елемент, починаючи з 10, містить 0 значення.

2. Апаратні - збійні болометри, хаотично розподілені по матриці приладу. Аналіз також показує, що частина болометрів входить в насичення за кілька десятків мілісекунд після відкриття ТШ.

3. Теплові - тепловий градієнт по краях матриці, що збільшується в просторі та по амплітуді з часом. Виникає через нерівномірне прогрівання частин матриці і ТШ.

4. Флуктуаційні - довільна зміна рівня сигналу що приходить з болометра в часі. Амплітуда таких завад зменшується з часом.

Для видалення технологічних шумів доцільно кожен технологічний елемент $T(x, y)$, (де x, y - просторові координати), на всіх термограмах включаючи калібрувальні, обробляти наступним чином: замінювати його значення на $T'(x, y)$, що отримано за допомогою модифікованого медіанного фільтру з

апертурою 3×3 , в якому центральний елемент не впливає на результати фільтрації:

$$T'(x, y) = \text{median} \{ T(x-1, y-1), T(x, y-1), T(x+1, y-1), T(x-1, y), T(x+1, y), T(x-1, y+1), T(x, y+1), T(x+1, y+1) \}. \quad (1)$$

Ознака технологічного елемента $f_b(x, y)$ може бути отримана за такою формулою:

$$f_b(x, y) = (x + y \cdot w - o) \bmod 15, \quad (2)$$

де $w = 206$ - ширина термограми; $o = 10$ - зсув першого технологічного елемента матриці.

Якщо ознака дорівнює 0, то елемент з координатами $x, y \in$ технологічним і повинен бути вилучений.

Фільтр (1) можливо модифікувати таким чином, щоб у фільтрації брали участь тільки елементи, для яких $f_b(x, y) \neq 0$. Це дозволить видаляти збійні елементи по довільній масці ознак $m \{ f_b(x, y) \neq 0 \}$, наприклад отриманій з тепловізора (рис.2) кадр з ідентифікатором №4. З урахуванням цього вираз (1) може бути представлено як

$$T'(x, y) = \text{median}_i \{ T [c(x, y)_i \in m] \}. \quad (3)$$

Для того щоб прибрати оптичні спотворення які впливають на показання приладу, доцільно застосувати плоску корекцію термограми [9]. Для кожного елемента термограми можна порівняти коефіцієнт посилення (кадр з ідентифікатором №10) $G(x, y)$ та інтенсивність, зареєстровану за відсутності випромінювання на сенсорі $D(x, y)$ (кадри з ідентифікаторами №6 та №1, відповідно).

Скориговане значення можна обчислити за формулою

$$T'_c(x, y) = \alpha \frac{T'(x, y) - D(x, y)}{F(x, y) - D(x, y)}, \quad (4)$$

де $\alpha = G(x, y) \cdot [F(x, y) - D(x, y)]$; $F(x, y)$ - плоске, монотонне зображення.

Підставив α до (4) отримаємо

$$T'_c(x, y) = G(x, y) \cdot [T'(x, y) - D(x, y)]. \quad (5)$$

Така корекція компенсує різницю засвічення та затінення в матриці тепловізора.

Апаратні шуми, виявляються на двох видах елементів болометричної матриці: повністю непрацюючі болометри, і болометри, працездатність яких змінюється в часі після відкриття ТШ. Як показано вище, для першого типу елементів доцільно застосувати такий же фільтр, як і для технологічних елементів.

Елементи, які деградують з часом, доцільно видаляти за допомогою адаптивного медіанного

фільтра. Для цього будується гістограма H розподілу рівнів по термограмі. На гістограмі присутні піки, відповідні за основні поверхні мінімальної температури, протяжні об'єкти середнього та максимального нагріву. За допомогою гістограми відсікається 1% мінімальних та максимальних значень. Це дозволяє видалити більшу частину аномальних викидів обумовлених нестабільністю елементів, які не були зареєстровані в масці ознак m .

Нормалізація гістограми проводиться таким чином, щоб порогове значення, при якому використовується фільтрація, дорівнювало 1. За нормалізованої гістограми H' , визначається ймовірність появи елементу з певним значенням, яка використовується як параметр фільтра. Виходячи з ймовірності появи $p(H'_i)$ елементу $i = T'(x, y)$, вибирається розмір апертури медіанного фільтра, і визначається необхідність його застосування. Фільтрація проводиться таким чином:

$$T''(x, y) = \begin{cases} T'_c(x, y), & \text{якщо } p(H'_i) \geq 1 \\ \text{median}(x, y, b), & \text{якщо } p(H'_i) < 1 \end{cases} \quad (6)$$

де $b = f(p(H'_i)) \in \{3, 5, 7, 9\}$ - апертура вікна фільтра.

Запропонований метод дозволяє повністю видалити технологічні та збійні елементи, при цьому вносячи мінімальні спотворення в термограму. Пе-

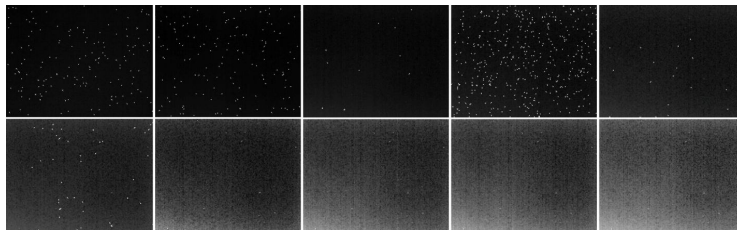


Рис. 5. Зміна теплового градієнта болометричної матриці в часі (зліва-направо, зверху-вниз).

Для видалення шумів такого типу пропонується використовувати цифровий фільтр високих частот. Але фільтр такого типу значно спотворює рівні елементів термограми, тому його застосування доцільно лише в тому випадку, якщо термограма аналізується людиною, а не піддається автоматичній обробці.

Висновки

Порівняння термограм адаптивного медіанного фільтра із медіанним фільтром з фіксованою апер-

ретворена таким чином термограма (рис. 3) показана на рис. 4.

Тепловий градієнт по краях матриці представляє низькочастотний шум змінюється (збільшується з часом). На рис. 5 показаний приклад зареєстрованого низькочастотного шуму, обумовленого нерівномірним нагріванням матриці і характер його зміни в часі. Виміри проводилися при температурі навколишнього середовища 20°C. Прилад був орієнтований на термічно однорідну поверхню.

Кожне зображення фіксувалося з інтервалом в 2 хвилини. Після 10 хвилин спостерігається стрибкоподібний процес зростання рівню градієнту.

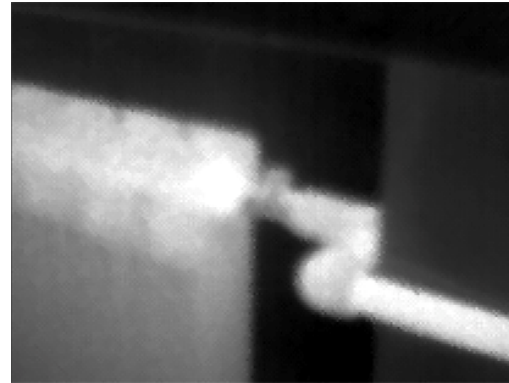


Рис. 4. Термограма, оброблена згідно із запропонованим методом.

турою 3×3 показує, що при використанні фіксованої апертури, термограма стає більш розмитою, губляться дрібні деталі.

При цьому, адаптивна медіанна фільтрація в середньому працює на 5-15% швидше, за рахунок того що частина елементів не обробляється.

Запропоновані рішення знайшли застосування в автоматизованій системі моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури за допомогою БПЛА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Криксунов Т. З. Справочник по основам ИК техники / Т. З. Криксунов. – М.: Сов. радио, 1978. 400 с.
2. Бугаенко И. О. Цифровая инфракрасная аэросъемка инженерных сооружений и земной поверхности / И. О. Бугаенко, Е. В. Каршаков, В. В. Макаров // Геопрофи. – 2006. – № 6. – С. 47-49.
3. Основы тепловидения / В. В. Коротяев, Г. С. Мельников, С. В. Михеев, В. М. Самков, Ю. И. Солдатов — СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 122 с.
4. Афонин А. В. Инфракрасная термография в энергетике / А. В. Афонин и др. Под ред. Р. К. Ньюпорта, А. И. Таджибаева. – Т. 1. Основы инфракрасной термографии. — СПб.: СПЭ- ИПК, 2000. – 240 с.
5. Zheng, L., Yi, R. Fault diagnosis system for the inspection robot in power transmission lines maintenance. *Proc. SPIE 7513. International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Imaging and Process Technology*. 2009.
6. Stockton G.R., Tache A. Advances in applications for aerial infrared thermography. *Proc. SPIE 6205 (Thermosense XXVIII)*, 200662050C. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.669513>.
7. Qin L., Chen S., Gao Q., Yi X. Inspection for electric power systems using uncooled infrared camera. *Proc. 25th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Conference Digest*, 2000. P. 441-442.

8. Frate J., Gagnon D., Vilandre R., Dansereau R. Evaluation of overhead line and joint performance with high-definition thermography. *Proc. IEEE ESMO - 9th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance*. Montréal, Qué, Canada, 8-12 October 2000. P. 145-151.
9. Olsen D., Dou C., Zhang X., Hu L., Kim H., Hildum E. Radiometric Calibration for AgCa. *Remote Sens.* 2010. Vol. 2. P. 464-477.

REFERENCES

1. Kriksunov, T.Z. (1978), *Reference book on the fundamentals of IR technology*, Soviet Radio, Moscow, 400 p.
2. Bugaenko, I.O., Karshakov, E.V. and Makarov V.V. (2006), "Digital Infrared Aerial Surveys of Engineering Structures and the Earth's Surface", *Geoprofi*, No. 6, pp. 47-49.
3. Korotaev, V.V., Melnikov, G.S., Mikheev, S.V., Samkov, V.M. and Soldatov Yu.I. (2012), *Fundamentals of thermal imaging*, NRU ITMO, St. Petersburg, 122 p.
4. Afonin, A.B. (2000), *Infrared Thermography in the Energy Sector, Volume 1. Basics of infrared thermography*, SPE-IPC, St. Petersburg., 240 p.
5. Zheng, L. and Yi, R. (2009), "Fault diagnosis system for the inspection robot in power transmission lines maintenance", *Proc. SPIE 7513. International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Imaging and Process Technology*.
6. Stockton, G.R. and Tache, A. (2006), "Advances in applications for aerial infrared thermography", *Proc. SPIE 6205 (ThermoseNSE XXVIII)*, 62050C, DOI: <https://doi.org/10.1117/12.669513>.
7. Qin, L., Chen, S., Gao, Q. and Yi, X. (2000), "Inspection for electric power systems using uncooled infrared camera", *Proc. 25th International Conference on Infrared and Millimeter Waves*, Conference Digest, pp. 441-442.
8. Frate, J., Gagnon, D., Vilandre, R. and Dansereau, R. (2000), "Evaluation of overhead line and joint performance with high-definition thermography", *Proc. IEEE ESMO - 9th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance*, Montréal, Qué, Canada, 8-12 October 2000, pp. 145-151.
9. Olsen, D., Dou, C., Zhang, X., Hu, L., Kim, H. and Hildum, E. (2010), "Radiometric Calibration for AgCa", *Remote Sens*, Vol. 2, pp. 464-477.

Received (Надійшла) 26.09.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2018

Метод первичной обработки термограмм полученных с помощью малоразмерных тепловизоров

А. А. Зуев

Целью статьи является разработка и исследование метода удаления шумов на термограммах низкого пространственного разрешения, полученных коммерческими малогабаритными тепловизионными камерами, которые за своими массогабаритными характеристиками можно использовать на мини-БПЛА для теплового мониторинга объектов энергетической инфраструктуры. Определено что основным параметром, который несет информацию о режиме работы объекта и наличии дефектов, при тепловом мониторинге является распределение температуры по поверхности объекта, которое может регистрироваться тепловизором. Проведен анализ характеристик коммерческих тепловизоров с неохлаждаемыми матрицами. Они имеют невысокую стоимость и небольшую массу, таким образом, их применение позволяет существенно снизить стоимость системы мониторинга за счет снижения, как стоимости полезной нагрузки, так и требований к грузоподъемности БПЛА. Особенностью тепловизионной съемки является сравнительно малое разрешение термограмм и значительный уровень шумов на них, что требует применения методов обработки изображений, которые бы минимизировали уровень шумов. Рассмотрен процесс получения термограмм с использованием малогабаритного тепловизора в реальном масштабе времени. Предложен и реализован метод удаления основных видов искажений на термограммах, основанный на адаптивном цифровом медианном фильтре. Проанализирован процесс возникновения теплового градиента, который возникает во время работы болометрической матрицы, приведен метод его удаления. Показано, что предложенные методы позволяют практически полностью устранить артефакты имеющиеся на термограмме.

Ключевые слова: тепловизоры; адаптивная медианная фильтрация; объекты электроэнергетической инфраструктуры; беспилотные летательные аппараты; обработка изображений.

The method of primary processing of thermograms obtained using small-size thermal imagers

A. Zuev

The purpose of the article is to develop and study the method of noise removal on low spatial resolution thermograms obtained by commercial small-sized thermal imaging cameras, which due to their weight and sizes can be used on mini-UAVs for thermal monitoring of power facilities. The main parameter that carries information about the operation mode of the object and the presence of defects during thermal monitoring is the temperature distribution over the surface of the object, which can be recorded by a thermal camera. The characteristics of commercial thermal imagers with uncooled arrays were analyzed. Due to low cost and mass, their usage can significantly reduce the cost of the monitoring system by reducing both the cost of the payload and the requirements for UAV payload capabilities. An issue of thermal imaging is a relatively low resolution of thermograms and a significant level of noise on them, which requires the image processing methods that would minimize the noise level. The process of obtaining thermograms using a compact thermal imager in real-time was considered. A method of removing the main types of thermogram distortions, based on an adaptive digital median filter, was proposed and implemented. The process of occurrence of a thermal gradient that occurs during the operation of the bolometric matrix was analyzed, and a method for was removal is given. It is shown that the proposed methods allow almost completely eliminated the thermogram artifacts.

Keywords: thermal imagers; adaptive median filters; objects of electric energy infrastructure; unmanned aerial vehicles; image processing.

НАШІ АВТОРИ (AUTHORS)

- АЛЕКСІЄВ**
Володимир Олегович
(*Volodymyr Aleksiyev*) Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій; e-mail: aleksiyev@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-6767-7524>
- БІЛОВА**
Марія Олексіївна
(*Mariya Bilova*) Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, e-mail: missalchem@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-7002-4698>
- БОЛОГОВА**
Наталія Миколаївна
(*Natalia Bologova*) Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, аспірант, асистент кафедри електронно-обчислювальних машин, e-mail: natalka.bologova@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-8927-0055>
- ГАРБУЗ**
Сергій Вікторович
(*Serhiy Garbuz*) Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна, кандидат технічних наук, викладач кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів і технологій, e-mail: sgarbuz65@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-6345-6214>
- ГОРДІЙЧУК**
Валерій Валентинович
(*Valeriy Hordüchuk*) Інститут Військово-морських сил національного університету “ОМА”, Одеса, Україна, начальник науково-організаційного відділення, e-mail: gordiychukvalval@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0003-3665-4201>
- ДУБНИЦЬКИЙ**
Валерій Юрійович
(*Valeriy Dubnitskiy*) Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, e-mail: dubnitskiy@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0003-1924-4104>
- ЖИВОТОВСЬКИЙ**
Руслан Миколайович
(*Ruslan Zhyvotovskiy*) Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу – заступник начальника НДУ; e-mail: Ruslan_zhyv@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-2717-0603>
- ЖМАЄВ**
Анатолій Юрійович
(*Anatolii Zhmaiev*) Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, магістрант кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: an.zhmaeff@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-4776-2526>
- ЗУБРИЦЬКА**
Галина Григорівна
(*Halyna Zubrytska*) Ягеллонський університет, (Jagiellonian University), Краків, Польща, бакалавр, студентка магістратури, e-mail: halyna.zubrytska@student.uj.edu.pl; <http://orcid.org/0000-0002-9668-5491>
- ЗУЄВ**
Андрій Олександрович
(*Andrey Zuev*) Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах, e-mail: dakarton@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-8206-4304>
- КАЩИШИН**
Олександр Володимирович
(*Alexander Kashchishyn*) Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, ад'юнкт, e-mail: kaschishin@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0003-4447-9415>
- КОБИЛІН**
Анатолій Михайлович
(*Anatoliy Kobylin*) Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, e-mail: anatoli_kam@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-8083-0762>
- КОЗЛОВСЬКА**
Світлана Григорівна
(*Svetlana Kozłovska*) Східноєвропейський університет економіки і менеджменту, Черкаси, Україна, старший викладач, e-mail: suem@cim.uch.net; <http://orcid.org/0000-0002-1754-1220>
- КОСМАЧОВ**
Олексій Сергійович
(*Oleksii Kosmachov*) Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, старший викладач кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, e-mail: kosmachev@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0003-4314-041X>
- КУРИЛО**
Анатолій Васильович
(*Anatoly Kurilo*) Інститут телекомунікацій і глобального Інформаційного простору НАН України, Київ, Україна, аспірант, e-mail: comandor1505@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-6694-5117>
- ЛАДА**
Наталія Володимирівна
(*Natalia Lada*) Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, кандидат технічних наук, асистент кафедри, e-mail: ladanatali256@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-7682-2970>

- ЛЕВИКИН** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна,
Віктор Макарович доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних управляючих систем,
(Viktor Levykin) e-mail: levykinvictor@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-6339-7322>
- ЛІАНГ** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Донг Харків, Україна, магістрант,
(Liang Dong) e-mail: liangton@foxmail.com
- МАМЕДОВА** Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан,
Тамілла Абусаїд асистент кафедри комп'ютерних технологій і програмування;
(Tamilla Mammadova) e-mail: mammadova1965@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5176-1307>
- МАРТОВИЦЬКИЙ** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна,
Віталій Олександрович аспірант, старший викладач кафедри електронно-обчислювальних машин,
(Vitalii Martovytskyi) e-mail: martovytskyi@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2349-0578>
- МЕЛЕШКО** Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна,
Єлизавета Владиславівна кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри кібербезпеки та програмного
(Yelyzaveta Meleshko) забезпечення, e-mail: elismeshko@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-8791-0063>
- МОЛЧАНОВ** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків,
Георгій Ігоревич Україна, старший викладач кафедри обчислювальної техніки та програмування,
(Heorhii Molchanov) e-mail: xone@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0001-9299-461X>
- МОМІТ** Військова частина А2393, Одеса, Україна,
Олександр Сергійович начальник відділу;
(Olexandr Momit) e-mail: momit_sasha@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-8901-7006>
- МОРОЗОВА** Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна,
Ольга Ігорівна кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної механіки та роботомеханічних
(Olga Morozova) систем, e-mail: oligmorozova@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-7706-3155>
- НАЛАПКО** Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Олексій Леонідович Збройних Сил України, Київ, Україна; ад'юнкт;
(Oleksii Nalarko) e-mail: aln.uax@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-3515-2026>
- НЕСМІЯН** Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Олексій Юрійович Харків, Україна, викладач кафедри,
(Oleksii Nesmiiian) e-mail: nesmiyanalexey@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-3312-9439>
- ПУЦ** Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна,
Костянтин Олександрович бакалавр кафедри комп'ютерних систем;
(Kostiantyn Puts) e-mail: kos05.11.1994@gmail.com
- РАХІМІ** Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ»,
Яшар Харків, Україна, аспірант (Тегеран, Іран),
(Yashar Rahimi) e-mail: Rahimi.yashar@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5468-9726>
- РЗАЄВ** Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан,
Хазан Нураддін Озлі кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій і програмування;
(Khazail Rzayev) e-mail: xazail49@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9272-4302>
- РОЯНОВ** Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна, кандидат технічних
Олексій Миколайович наук, доцент, старший викладач кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів і технологій,
(Alexey Roianov) e-mail: roianoff5033@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-7631-1030>
- РУБАН** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна,
Ігор Вікторович доктор технічних наук, професор, проректор з науково-методичної роботи,
(Igor Ruban) e-mail: lhur.Ruban@nure.ua; <http://orcid.org/0000-0002-4738-3286>
- РУДНИЦЬКИЙ** Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна,
Володимир Миколайович доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри,
(Volodymyr Rudnytskyi) e-mail: rvt_2008@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0003-3473-7433>
- СЄВЕРІНОВ** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна,
Олександр Васильович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій,
(Oleksandr Sievierinov) e-mail: oleksand.sievierinov@nure.ua; <http://orcid.org/0000-0002-6327-6405>

- СИТНИКОВ** Валерій Степанович (Valeriy Sytnikov) Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем; e-mail: sitnvs@gmail.com
- СМЕТАНІН** Кирил Володимирович (Kirill Smetanin) Інститут телекомунікацій і глобального Інформаційного простору НАН України, Київ, Україна, аспірант, e-mail: kiry221982@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-6062-550X>
- СОКОЛ** Володимир Євгенович (Volodymyr Sokol) Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії та інф. технологій управління, e-mail: vlad.sokol@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-4689-3356>
- СТОРЧАК** Віталій Сергійович (Vitalii Storchak) Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна, аспірант, e-mail: storchakvitalii@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-0381-278X>
- ТЕЦЬКИЙ** Артем Григорович (Artem Tetskiy) Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна, асистент кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки, e-mail: a.tetskiy@csn.khai.edu; <http://orcid.org/0000-0003-1745-2452>
- ТИМОЧКО** Олександр Олександрович (Oleksander Timochko) Скорінгова онлайн-фірма «Kreditech», Гамбург, Німеччина, інженер з тестування програмних продуктів, e-mail: alexander.timochko@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0003-0424-0426>
- ТКАЧУК** Микола Вячеславович (Mykola Tkachuk) Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри моделювання систем і технологій, e-mail: tka.mobile@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0003-0852-1081>
- ТРИСНЮК** Василь Миколайович (Vasylyl Trysnuk) Інститут телекомунікацій і глобального Інформаційного простору НАН України, Київ, Україна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, e-mail: trysnyuk@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0001-9920-4879>
- УХІНА** Ганна Володимирівна (Hanna Ukhina) Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна, аспірант кафедри комп'ютерних систем; e-mail: anyuta.uhina@gmail.com
- ХУДОВ** Владислав Геннадійович (Vladyslav Khudov) Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, аспірант кафедри електронних обчислювальних машин, e-mail: vladkhudov@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-9863-4743>
- ЦИГАНЕНКО** Олексій Сергійович (Oleksii Tsyhanenko) Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, Харків, Україна, аспірант кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій; e-mail: loleksii.tsyhanenko@hneu.net; <http://orcid.org/0000-0002-5784-8438>
- ЧАЛА** Оксана Вікторівна (Oksana Chala) Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, e-mail: oksana.chala@nure.ua; <http://orcid.org/0000-0001-8265-2480>
- ШИШАЦЬКИЙ** Андрій Володимирович (Andrii Shyshatskiy) Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, науковий співробітник, e-mail: ierikon12@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-6731-6390>
- ШМАТКО** Олександр Віталійович (Oleksandr Shmatko) Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший лектор; e-mail: asu.spios@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-2426-900X>
- ШОСТАК** Ігор Володимирович (Igor Shostak) Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, професор інженерії програмного забезпечення, e-mail: iv.shostak@gmail.com
- ШУМЕЙКО** Віктор Олександрович (Viktor Shumeiko) Інститут телекомунікацій і глобального Інформаційного простору НАН України, Київ, Україна, кандидат технічних наук, науковий співробітник, e-mail: shym1983@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-0285-4566>

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Алексієв В. О. (Volodymyr Alekseyev)	128	Несміян О. Ю. (Oleksii Nesmiian)	21
Білова М. О. (Mariya Bilova)	87	Пуц К. О. (Kostiantyn Puts)	49
Бологова Н. М. (Natalia Bolohova)	5	Рахімі Я. (Yashar Rahimi)	45
Гарбуз С. В. (Serhii Garbuz)	119	Рзаєв Х. Н. (Khazail Rzayev)	37
Гордійчук В. В. (Valerii Hordiichuk)	108	Роянов О. М. (Alexey Roianov)	119
Дубницький В. Ю. (Valeriy Dubnitskiy)	11	Рубан І. В. (Igor Ruban)	5
Животовський Р. М. (Ruslan Zhyvotovskiy) ..	70	Рудницький В. М. (Volodymyr Rudnytskyi)	26
Жмаєв А. Ю. (Anatolii Zhmaiev)	74	Северінов О. В. (Oleksandr Sievierinov)	5
Зубрицька Г. Г. (Halyna Zubrytska)	11	Ситніков В. С. (Valeriy Sytnikov)	49
Зуєв А. О. (Andrey Zuev)	136	Сметанін К. В. (Kirill Smetanin)	124
Кашишин О. В. (Alexander Kashchyshyn) ...	124	Сокол В. Є. (Volodymyr Sokol)	87
Кобилін А. М. (Anatolii Kobylin)	11	Сторчак В. С. (Vitalii Storchak)	31
Козловська С. Г. (Svetlana Kozlovska)	26	Тецький А. Г. (Artem Tetskyi)	114
Космачов О. С. (Oleksii Kosmachov)	87	Тімочко О. О. (Oleksander Timochko)	96
Курило А. В. (Anatoly Kurilo)	124	Ткачук М. В. (Mykola Tkachuk)	87
Лада Н. В. (Natalia Lada)	26	Триснюк В. М. (Vasyl Trysnyuk)	124
Левикін В. М. (Viktor Levykin)	101	Ухіна Г. В. (Hanna Ukhina)	49
Ліанг Донг (Liang Dong)	128	Худов В. Г. (Vladyslav Khudov)	64
Мамедова Т. А. (Tamilla Mammadova)	37	Циганенко О. С. (Oleksii Tsyhanenko)	37
Мартовицький В. А. (Vitalii Martovytskyi)	5	Чала О. В. (Oksana Chala)	101
Мелешко Є. В. (Yelyzaveta Meleshko)	55	Шишацький А. В. (Andrii Shyshatskyi)	78
Молчанов Г. І. (Heorhii Molchanov)	74	Шматко О. В. (Oleksandr Shmatko)	128
Моміт О. С. (Olexandr Momit)	70	Шостак І. В. (Igor Shostak)	45
Морозова О. І. (Olga Morozova)	60	Шумейко В. О. (Viktor Shumeyko)	124
Налапко О. П. (Oleksii Nalapko)	78		

Наукове видання

**Сучасні
інформаційні системи**

**Advanced
Information Systems**

Науковий журнал

Том 2, № 4

Відповідальний за випуск *С. Г. Семенов*

Технічний редактор *Д. С. Гребенюк*

Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 18,0. Тираж 120 прим. Зам. 1222-18

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

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua