ISSN 2522-9052

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”

Сучасні інформаційні системи

Advanced Information Systems

Том 2, № 2

Volume 2, No. 2

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

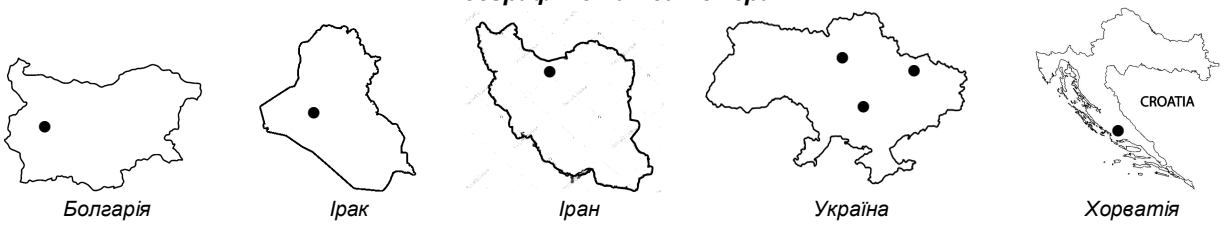
Information site:
http://ais.khpi.edu.ua

Затверджений до друку Вченою Радою Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (протокол від 6 липня 2018 року № 6).

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

Харків • 2018

Географія статей номера



Болгарія *Bulgaria* | *Ірак* *Iraq* | *Іран* *Iran* | *Україна* *Ukraine* | *Хорватія* *Croatia*

ЗМІСТ

TABLE OF CONTENTS

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION

ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

APPLIED PROBLEMS OF INFORMATION SYSTEMS OPERATION

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 004.9 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.01**

О. Г. Толстолузька, Б. В. Паршенцев

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

РІШЕННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ В E-LEARNING НА ОСНОВІ МЕТОДУ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ПОБУДОВИ ДЕРЕВ РІШЕНЬ

Актуальність. Останнім часом в розвинутих країнах питанням машинного навчання приділяється все більше уваги. З одного боку це пов'язано зі стрімким ростом вимог до майбутніх фахівців, а з іншого - з дуже швидким розвитком інформаційних технологій та Інтернет комунікацій. Однією з головних задач e-learning є задача класифікації. Математичний апарат дерев рішень гарно пристосований для рішення задачі класифікації. Однак, з ростом кількості вхідних даних стає актуальним питання зменшення часу побудови дерев рішень. Використання паралельних обчислювальних систем та паралельних технологій програмування дозволяє отримати позитивні результати, але вимагає розробки нових методів побудови дерев рішень. **Результати.** В статті розкриваються основні етапи методу паралельної побудови дерев для вирішення задачі класифікації в e-learning. На відміну від існуючих, метод дозволяє враховувати особливості архітектури і організації паралельних процесів в обчислювальних системах із загальною і розподіленою пам'яттю. В методі врахована можливість оцінки показників ефективності побудови дерев рішень та паралельних алгоритмів. Отримання показників ефективності на кожній ітерації методу допомагає обрати раціональну кількість паралельних процесорів в обчислювальній системі. Це дозволяє домогтися подальшого скорочення часу побудови дерев рішень. Проведене моделювання з використанням технології паралельного програмування MPI, мови програмування Python для архітектури обчислювальної системи DM-MIMD підтверджує достовірність отриманих результатів. Наводиться приклад організації вхідних даних. Представлено Python програму для побудови дерева рішень. **Висновок.** Розроблена візуалізація отриманих оцінок показників ефективності дозволяє користувачу обрати необхідну конфігурацію обчислювальної системи.

Ключові слова: паралельний алгоритм; дерево рішень; оцінка ефективності паралельного алгоритму; e-learning.

Вступ

Постановка проблеми. В даний час відбуваються величезні і невідворотні зміни в щоденному людському житті: вимоги до освіти зростають з кожним роком, технології щільно входять в усі сфери людської діяльності. Дані зміни зумовили необхідність створення комфортних умов для повноцінної, постійної, стрімкої, високоякісної і сучасної підготовки кожного працівника, але на жаль звичайні світові стандарти в системі навчання в повній мірі не відповідають даним потребам. У зв'язку з цим були зроблені спроби реформування старої системи та створення нової. Але з розвитком інтернету прийшло розуміння, що e-learning це не просто віддалене отримання знань. Даний вид освіти передбачає використання освітнього матеріалу і безперервне спілкування учня і викладача через глобальну мережу [1, 2]. E-learning - це можливість гетерогенної освіти (яка об'єднує кілька способів взаємодії), очної та віртуальної, яка стала основною формою взаємодії викладача та учня. В даному випадку учень інтегрований в систему де основну роль освітньої системи на себе бере електронна компонента системи але також присутня пряма взаємодія людини з людиною. E-learning – «сучасний аспект у навчанні, застосовуваний для того, щоб забезпечити добре продумане діалогове середовище навчання будь якому учню, коли і де завгодно, використовуючи ресурси різних цифрових технологій поряд з іншими формами навчальних матеріалів, які підходять для відкритого середовища навчання. E-learning здійснює перехід від системи управління даними до системи управління знаннями». Основне завдання e-learning – розробка та підтримка індивідуальної освітньої програми для кожного студента та поліпшення поточного рівня знань і отримання нових знань. Також одна з основних задач e-learning – це постійний моніторинг факторів, які впливають на успішність навчання. Міжнародна аналітична компанія IDC провела дослідження в сфері сучасного електронного навчання. Результатами даного дослідження стали такі тенденції: необхідність комплексних рішень та розробка Єдиних стандартів на систему дистанційного навчання і електронний контент; через постійний розвиток глобальної павутини потрібно також постійно розвивати інтерфейси за допомогою яких людина спілкується з машиною. Поточний стан глобальної мережі описується як WEB 2.0. Основні зміни в WEB 2.0 – це те, що контент створюється самими користувачами [3]. Дуже багато контенту перейшло в мобільне середовище. У зв'язку з цим досить великий відсоток освітнього контенту перейшло в мобільний вимір з заголовком m-learning. Розвиток Rapid e-learning (швидка розробка рішень e-learning); зростання популярності і кількості систем e-learning призвело до зменшення вартості на дані системи [4]. На відміну від початкової версії e-learning, яка передбачала використання в якості основного інструменту дистанційних курсів,

які надавалися учням з метою проведення навчання, e-learning 2.0 передбачає використання засобів Web 2.0: блоги, wiki, підкасти, соціальні мережі. На даному етапі одна з основних задач, яка вирішується в e-learning - це задача класифікації.

З даним класом задач непогано справляються дерева рішень. Для прискорення побудови дерева рішень можна використовувати технології паралельного програмування.

У статті представлені основні етапи метода паралельної побудови дерева рішень для вирішення задачі класифікації.

Метою статті є опис основних етапів метода паралельної побудови дерева рішень для задач e-learning в інтересах зменшення часу вирішення задачі класифікації та підвищення показників ефективності.

Дослідження і результати

Введемо деякі визначення і поняття.

Дерева рішень – це спосіб представлення правил в ієрархічній, послідовній структурі, де кожному об'єкту відповідає єдиний вузол, що дає рішення [5].

Алгоритм CART – алгоритм, призначений для побудови бінарного дерева рішень. Бінарні дерева також називають двійковими, це означає, що кожен вузол дерева при розбитті має тільки двох нащадків. Для алгоритму CART «поведінка» об'єктів виділеної групи означає частку модального значення вихідної ознаки. Виділені групи - ті, для яких ця частка досить висока. На кожному кроці побудови дерева правило, яке формується в вузлі, поділяє задану множену прикладів на дві частини - частина, в якій виконується правило (нащадок - right) і частина, в якій правило не виконується (нащадок - left) [6].

Індекс Джині – статистичний показник, за допомогою якого можна описувати характер зміни однієї величини відносно зміни іншої. Основним застосуванням індексу Джині є оцінка нерівномірності розподілу досліджуваної ознаки [7].

В якості початкових даних методу використовуються такі:

- база даних (обсяг даних ~ 500ГБ) (рис. 1);
- класи паралельних архітектур (VLIW - GPU , AMD/ATI Radeon(HD5770), RISC - ARM ThunderX, CISC - IBM System z10);
- характеристики архітектури: кількість NM процесорів
- час вирішення $T_{реш}$ задачі;
- технологія паралельного програмування (CUDA - архітектура паралельних обчислень від NVIDIA, OpenMP API-інтерфейс, який є галузевим стандартом для створення паралельних програм для комп'ютерів зі спільним використанням пам'яті; MPI - інтерфейс передачі повідомлень для систем з розподіленою пам’яттю) [4].

Вихідні дані повинні бути розподілені по класам і результати повинні бути візуалізовані. Також повинні бути отримані оцінки показників ефективності: прискорення, час побудови дерева рішень, складність програми.

Основні етапи метода паралельної побудови дерева рішень представлені на рис. 2.

```
StandaloneInstitution =; {id, address_line1, address_line2,
city, state_code, district_code,
website, area, constructed_area,
year_of_establishment, year_of_recognition,
nodalofficer_id, location,
awards_degree_through_university, university_id,
girl_exclusive,
staff_quarter_available, staff_quarter_id, stu-
dent_hostel_available,
no_of_student_hostel,management_id, name, survey_year,
financial_income_id,financial_expenditure_id, infrastruc-
ture_id, remarks}

StandaloneInstitutionAccredida-
tion={standalone_institution_id, survey_year,
accreditation_id}

StandaloneInstitutionDepartment = {stand-
alone_institution_id, department_id,
survey_year}

StandaloneInstitutionFaculty={standalone_institution_id
,faculty_id, survey_year }

StandaloneInstitutionNonTeachingStaff = {stand-
alone_institution_id, survey_year,
non_teaching_staff_count_id}

StandaloneInstitutionStudentHotel = { stand-
alone_institution_id, student_hostel_id,
survey_year}

StandaloneInstitutionTeachingStaff = {stand-
alone_institution_id, survey_year,
teaching_staff_id}

StandaloneInstitutionTeachingStaffSanctioned-
Strength={standalone_institution_id,

survey_year, teaching_staff_sanctioned_strength_id }
```

Рис. 1. Приклад організації вхідних даних (опис деяких таблиць і ключові поля)

Розглянемо призначення і формалізований опис основних етапів методу.

Eman 1 (блок 2 рис. 2). На цьому етапі здійснюється вибір архітектури паралельної обчислювальної системи.

Eman 2 (блоки 3 – 6 рис. 2) забезпечує вибір різновиду декомпозиції в залежності від обраної архітектури: функціональна або декомпозиція по даним.

Eman 3 (блок 7 рис. 2) забезпечує вибір технології програмування для паралельної побудови дерева рішень.

Eman 4 (блок 8 рис. 2) – розподіл отриманих даних по процесах W (процеси можуть бути виконані на окремих процесорах, або декілька процесів на одному процесорі).

Eman 5 (блок 9 рис. 2) здійснює побудову дерева рішень на кожному вузлі (рис. 3, 4).

Eman 6 (блоки 10, 11, 12 рис. 2). Пересилання всіх дерев на один процес. Оцінювання показників ефективності: час побудови дерев рішень і якщо $T_п \geq T_{реш}$ то переходимо на наступний етап.

Eman 7 (блоки 13, 14 рис. 2). Порівняння кількості процесів яке було задано і яке було використано, і, якщо $NM \leq NM_з$ то збільшення кількість процесів та перехід на четвертий етап.

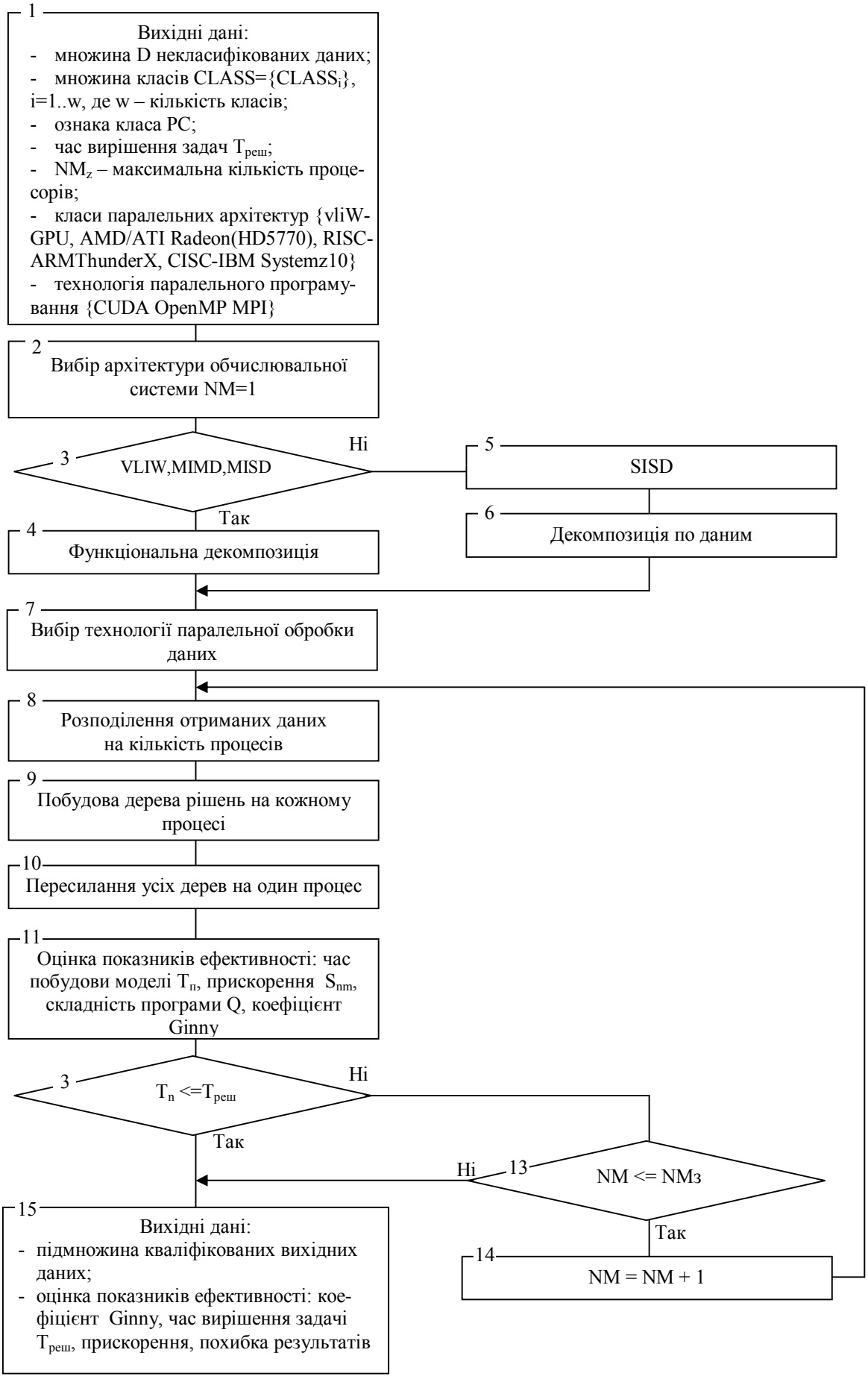


Рис. 2. Основні етапи методу паралельної побудови дерев рішень

```
def split(node, max_depth, min_size, depth):
    left, right = node['groups']
    del(node['groups'])
    if not left or not right:
        node['left'] = node['right'] = to_terminal(left + right)
        return
    if depth >= max_depth:
        node['left'], node['right'] = to_terminal(left),
to_terminal(right)
        return
    if len(left) <= min_size:
        node['left'] = to_terminal(left)
    else:
        node['left'] = get_split(left)
        split(node['left'], max_depth, min_size, depth+1)
    if len(right) <= min_size:
        node['right'] = to_terminal(right)
    else:
        node['right'] = get_split(right)
        split(node['right'], max_depth, min_size, depth+1)
def build_tree(train, max_depth, min_size):
    root = get_split(train)
        split(root, max_depth, min_size, 1)
        return root
```

Рис. 3. Python програма для побудови дерева

Рис. 4. Блок схема паралельної побудови дерева

На рис. 4 представлена блок схема розподілу рівних частин даних в пам'яті для побудови дерев рішень за допомогою алгоритму CART.

Результати використання паралельної обробки інформації при побудові дерева рішень можна прокоментувати таким чином:

- найкращий приріст в прискоренні досягається шляхом використання 8 процесів (рис. 5);
- рішення задачі класифікації з використанням паралельного підходу прискорює отримання результатів приблизно в 20 раз, проте ускладнює розробку з точки зору складності програмної реалізації;
- при паралельній побудові дерев рішень потрібно брати суму всіх коефіцієнтів Ginny;
- рівень достовірності результатів класифікації при паралельному виконанні складає 83.76%, а при використанні одного потоку рівень достовірності результатів класифікації дорівнює 76.5%.

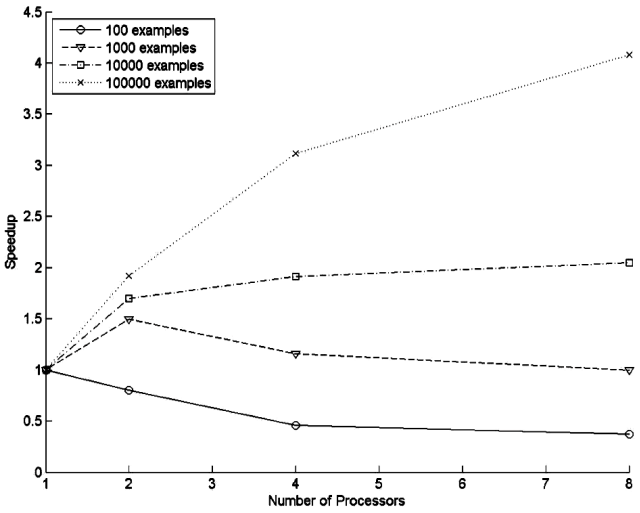


Рис. 5. Залежність прискорення від кількості процесорів

Висновки

Розглянуто основні етапи методу паралельної побудови дерева рішень для задач e-learning в інтересах створення інформаційної технології для вирішення задач класифікації.

Використання паралельності в побудові дерева рішень для задачі класифікації дає прискорення в порівнянні з однопоточною реалізацією. При моделюванні застосовувалася технологія MPI, мова програмування Python, DM-MIMD архітектура.

Розроблена візуалізація отриманих оцінок показників ефективності дозволяє користувачу обрати необхідну конфігурацію обчислювальної системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сергеев А. Г. Введение в электронное обучение : монография / А. Г. Сергеев, И. Е. Жигалов, В. В. Баландина. – Владимир, ВлГУ, 2012. – 182 с.
2. Шматков С. І. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, В. В. Донець // Системи управління, навігації та зв'язку : науковий журнал. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 2(48). – С. 97-100.
3. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E.Ruchkov // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2016. –P. 1-6, available at: https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
4. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.

5. Breiman L. Classification and Regression Trees / L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, C.T. Stone. – Wadsworth, Belmont, California, 1984.
6. Wei-YinLoh. BOAT – optimistic decision tree construction / Johannes Gehrke, Venkatesh Ganti, Raghu Ramakrishnan // ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, June 1999, p. 169-180.
7. Поляков Г.А. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивних времяпараметризованных вычислительных системах / Г.А. Поляков, С.И. Шматков, Е.Г. Толстолужская, Д.А. Толстолужский. – Х. : ХНУ, 2012. – С. 434-575.

REFERENCES

1. Sergeev, A., Zhigalov, I., and Balandina, V. (2012), *Introduction to e-learning*, VlSU, Vladimir, 182 p.
2. Shmatkov, S.I., Kuchuk, N.G. and Donets, V.V. (2018), "The model of information structure of the hyperconvergent system of support of electronic computing resources of university e-learning", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 2 (48), pp. 97-100.
3. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, pp. 1-6, available at: https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
4. Voevodin, V.V. (2002), Parallel computing, BHV-Petersburg, St. Petersburg, 608 p.
5. Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.T. (1984), *Classification and Regression Trees*, Wadsworth, Belmont, California.
6. Gehrke, Johannes, Ganti, Venkatesh, Ramakrishnan, Raghu and Loh, Wei-Yin (1999), BOAT – optimistic decision tree construction, ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, June 1999, pp. 169-180.
7. Polyakov, G.A., Shmatkov, S.I., Tolstoluzhskaya, E.G. and Tolstoluzhsky D.A. (2012), Synthesis and Analysis of Parallel Processes in Adaptive Time-Parameterized Computer Systems, KhNU, Kharkiv, pp. 434-575.

Received (Надійшла) 22.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

Решение задачи классификации в e-learning на основе метода параллельного построения деревьев решений

Е. Г. Толстолужская, Б. В. Паршенцев

Актуальность. В последнее время в развитых странах вопросам машинного обучения отводится все больше внимания. С одной стороны это связано со стремительным ростом требований к будущим специалистам, а с другой – с очень быстрым развитием информационных технологий и Интернет коммуникаций. Одной из главных задач e-learning есть задача классификации. Математический аппарат деревьев решений часто применяется для решения задачи классификации. Однако, с ростом количества входных данных становится актуальным вопрос уменьшения времени построения деревьев решений. Использование параллельных вычислительных систем и параллельных технологий программирования позволяет получить положительные результаты, но требует разработки новых методов построения деревьев решений. **Результаты.** В статье раскрываются основные этапы метода параллельного построения деревьев для решения задачи классификации в e-learning. В отличие от существующих, метод позволяет учитывать особенности архитектуры и организации параллельных процессов в вычислительных системах с общей и распределенной памятью. В методе учтена возможность оценки показателей эффективности построения деревьев решений и параллельных алгоритмов. Получение показателей эффективности на каждой итерации метода помогает избрать рациональное количество параллельных процессоров в вычислительной системе. Это позволяет добиться дальнейшего сокращения времени построения деревьев решений. Проведенное моделирование с использованием технологии параллельного программирования MPI, языка программирования Python для архитектуры вычислительной системы DM-MIMD подтверждает достоверность полученных результатов. Приводится пример организации входных данных. Представлена Python программа для построения дерева решений. **Вывод.** Разработанная визуализация полученных оценок показателей эффективности помогает пользователю избрать необходимую конфигурацию вычислительной системы.

Ключевые слова: параллельный алгоритм; дерево решений; оценка эффективности параллельного алгоритма; e-learning.

The solution of the classification problem in e-learning based on the method parallel construction of decision trees

O. Tolstoluzka, B. Parshencev

Topicality. Recently, more and more attention has been paid to the issues of machine learning in developed countries. On the one hand, this is due to the rapid growth of requirements for future specialists, and on the other - with the very rapid development of information technology and Internet communications. One of the main tasks of e-learning is the task of classification. The mathematical modeling system of decision trees is well adapted for the solution of the classification problem. However, as the number of input data increases, the issue of reducing the time of tree construction is becoming relevant. Using parallel computing systems and parallel programming technologies can produce positive results, but requires the development of new methods for constructing tree solutions. **Results.** The article reveals the main stages of the parallel tree construction method for solving the classification problem in e-learning. Unlike existing ones, the method allows to take into account the features of architecture and the organization of parallel processes in computing systems with shared and distributed memory. The method takes into account the possibility of evaluating performance indicators for constructing decision trees and parallel algorithms. Obtaining performance indicators for each iteration of the method helps to select the rational number of parallel processors in the computing system. This allows you to further reduce the time of building tree solutions. The simulation with the use of MPI parallel programming technology, the Python programming language for the architecture of the DM-MIMD system, confirms the reliability of the results. Here is an example of the organization of input data. Presented by Python is a program for building a decision tree. **Conclusion.** The developed visualization of the obtained estimates of performance indicators allows the user to select the necessary configuration of the computing system.

Keywords: parallel algorithm; decision tree; evaluation of the parallel algorithm efficiency; e-learning.

Information systems modeling

УДК 681.51:351.814.33 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.02**

Д. Є. Гришманов [1], Ю. В. Данюк [2], Ф. А. Барилюк [3], Р. В. Корольов [2]

[1] Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна
[2] Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна
[3] Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна

АНАЛІЗ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ, ЩО ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ОЦІНКИ І ВДОСКОНАЛЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ДИСПЕТЧЕРІВ

Предметом вивчення в статті є процеси діяльності авіаційних диспетчерів чергової зміни районного диспетчерського центру (РДЦ) системи обслуговування повітряного руху. **Метою** є проведення аналізу існуючого методичного апарату, що застосовується для оцінки діяльність авіаційних диспетчерів чергової зміни РДЦ та їх взаємодії між собою та засобами автоматизації. **Завдання:** проаналізувати суперечності в практиці вдосконалення діяльності чергових змін РДЦ; провести аналіз науково-методичного апарату, що застосовується для оцінки і вдосконалення діяльності авіаційних диспетчерів. Аналізованими **методами** є: графоаналітичний метод, метод структурно-алгоритмічного аналізу, метод мережевих моделей діяльності, метод еталонного диспетчера (метод копіювання). Отримані такі **результати.** Описаний комплекс інформаційних моделей, необхідних для опису роботи чергової зміни РДЦ та запропоновані можливі варіанти вдосконалення елементів моделей діяльності чергових змін РДЦ. **Висновки.** В результаті розгляду суперечностей в практиці вдосконалення діяльності чергових змін районних диспетчерських центрів були виявлені фактори, які впливають на необхідність вдосконалення процесів роботи чергової зміни РДЦ. Аналіз науково-методичного апарату, що застосовується для побудови моделей роботи чергової зміни РДЦ, дозволив виявити деякі недоліки методики, яка застосовується для вирішення цих завдань.

Ключові слова: авіаційний диспетчер; районний диспетчерський центр; моделювання діяльності авіаційного диспетчера.

Вступ

Науково-технічний прогрес і пов’язана з ним автоматизація процесів управління істотно змінюють характер і умови праці авіаційних диспетчерів і по новому ставлять проблему врахування людського фактору при організації взаємодії людини і техніки в системі обслуговування повітряного руху.

Впровадження нових способів діяльності з обслуговування повітряного руху, підвищення вимог до оперативності та якості вирішення завдань управління обумовлюють необхідність критичного аналізу відомих моделей (еталонів) діяльності і визначення напрямків їх вдосконалення на етапах розробки, дослідження і застосування для інформаційного забезпечення роботи і навчання авіаційних диспетчерів.

Аналіз літератури [1, 2, 5, 6] показав, що на сучасному етапі не в повній мірі враховано вплив людського фактору на організацію взаємодії між авіаційними диспетчерами в складі чергової зміни районного диспетчерського центру (РДЦ) та між диспетчерами та засобами автоматизації.

Даний факт тягне за собою необхідність вдосконалення існуючих методів оцінки діяльності авіаційних диспетчерів, шляхом більш повного врахування всіх факторів (включаючи людський), що впливають на функціонування чергової зміни РДЦ.

Метою статті є проведення аналізу існуючого методичного апарату, що застосовується для оцінки діяльність авіаційних диспетчерів чергової зміни РДЦ та їх взаємодії між собою та засобами автоматизації.

Основний матеріал

Аналіз суперечностей в практиці вдосконалення діяльності чергових змін районних диспетчерських центрів. Робота авіаційних диспетчерів чергових змін районних диспетчерських центрів (РДЦ) системи обслуговування повітряного руху спрямована на забезпечення безпечного, регулярного, упорядкованого і економічно менш витратного руху літаків, вертольотів та інших повітряних об’єктів (далі ПО). Дана робота організовується в суворій відповідності до встановлених правил та інструкцій, які регламентують детальним чином всі аспекти їх діяльності.

В існуючих комплексах засобів автоматизації (КЗА) диспетчерських центрів зміст посібників, інструкцій та інших нормативно-довідкових документів становить основу для побудови моделей діяльності авіаційних диспетчерів на автоматизованих робочих місцях (АРМ). При цьому принципі побудови і основи застосування КЗА визначають склад комплексу інформаційних моделей, необхідних для опису роботи чергових змін диспетчерського центру (рис. 1).

Аналіз стану і тенденцій розвитку авіаційної техніки показує, що вдосконалення її характеристик і збільшення щільності повітряного трафіку залишається визначальним фактором, що впливає на зростання складності процесів управління повітряним рухом. Крім того, розширення переліку вирішуваних завдань і ускладнення структури КЗА також істотно впливають на вирішення питань застосування засобів автоматизації. Дія зазначених чинників

призводить до значного зростання обсягів керівництв, якими повинні керуватися авіаційні диспетчери в ході роботи. Аналіз посібників, що описують застосування КЗА, дозволяє говорити про майже 2-разове збільшення обсягу протягом десяти років. Це в свою чергу ускладнює процеси навчання диспетчерів і збільшує терміни освоєння систем.

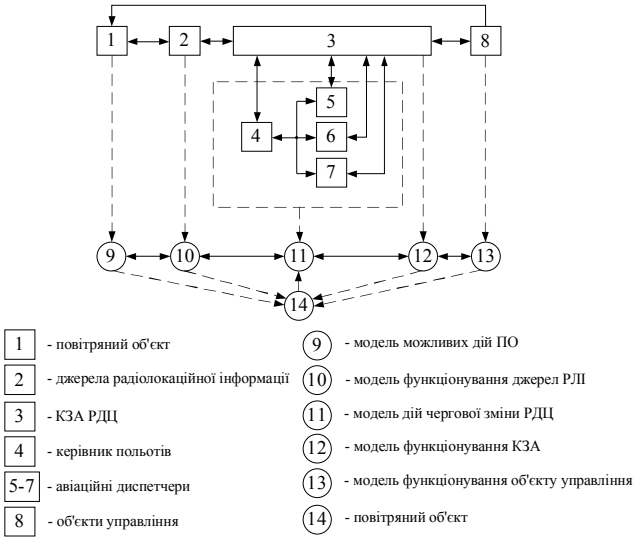


Рис. 1. Комплекс інформаційних моделей, необхідних для опису роботи чергової зміни РДЦ

Складність діяльності чергових змін РДЦ має суттєвий вплив на такі показники, як оперативність і якість вирішення завдань управління. Відомо, що оперативність автоматизованої системи управління (АСУ) повітряним рухом (ПР) оцінюється часовими витратами чергової зміни при вирішенні задач в процесі управління (робітним часом) і залежить від досягнутого ступеня автоматизації, рівня підготовки диспетчерів і злагодженості чергової зміни. Якість рішення задач управління в АСУ характеризує можливості системи з необхідною повнотою, достовірністю і точністю вирішення поставлених завдань.

Зменшення складових робітного часу без зниження якості вирішення завдань є одним з важливих напрямків вдосконалення роботи чергової зміни РДЦ. В ході вирішення даної проблеми з урахуванням тенденцій розвитку АСУ (рис. 2) виникають такі протиріччя [4]:

– між зростанням потенційних можливостей засобів автоматизації по вирішенню завдань управління різними способами і ступенем їх виявлення та використання для підвищення оперативності та якості вирішення завдань в АСУ;

– між зростанням можливостей сучасних обчислювальних засобів і ступенем їх використання для зберігання, пошуку і відтворення інформації про різні способи роботи чергової зміни РДЦ;

– між ускладненням процесів роботи на автоматизованих робочих місцях і необхідністю виконання необхідних дій в умовах жорсткого ліміту часу;

– між рівнем розробки теоретичних положень в наукових галузях управління, навчання і ергономіки і ступенем їх застосування для підготовки диспетчерів і вдосконалення способів застосування АСУ.

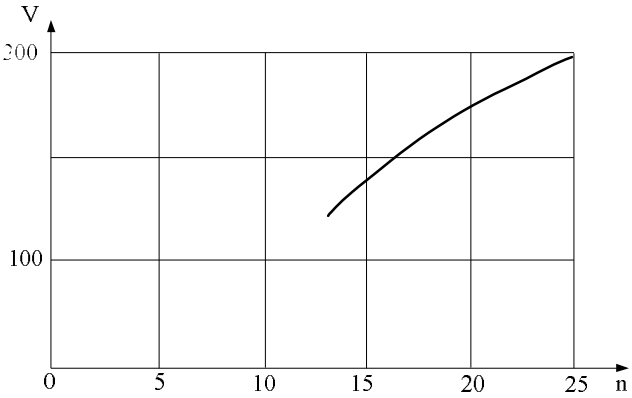


Рис. 2. Залежність об'єму описів способів діяльності (кількість керівництв – V) від кількості каналів управління (n)

Роль методів та засобів побудови керівництв при вирішенні зазначених протиріч може бути проілюстрована моделлю зміни операційної працездатності чергової зміни РДЦ на основі розміченого графа станів (рис. 3). При цьому, на відміну від зазвичай використовуваної умови сталості інтенсивності відновлення інформації, введена її залежність від способів побудови моделей діяльності.

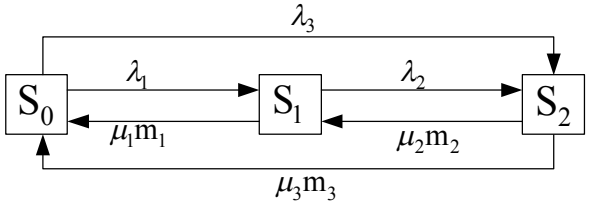


Рис. 3. Розмічений граф станів моделі операційної працездатності чергової зміни РДЦ

Система рівнянь Колмогорова для даного випадку має вигляд:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_0}{dt} = \mu_1 m_1 p_1 + \mu_3 m_3 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_3) p_0; \\ \dfrac{dp_1}{dt} = \lambda_1 p_0 + \mu_2 m_2 p_2 - (\mu_1 m_1 + \lambda_2) p_1; \\ \dfrac{dp_2}{dt} = \lambda_2 p_1 + \lambda_3 p_0 - (\mu_2 m_2 + \mu_3 m_3) p_2. \end{cases} , \quad (1)$$

де p_0, p_1, p_2 – відповідно ймовірності повного, часткового і нульового відновлення інформації про способи роботи;

μ_1, μ_2, μ_3 – інтенсивність відновлення знань для відповідних станів;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – інтенсивності втрати інформації для відповідних станів;

m_1, m_2, m_3 – коефіцієнти, що враховують застосовуваний метод побудови моделей діяльності.

Фінальні ймовірності станів моделі визначені з рівнянь:

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2)\, p_0 = \mu_1 m_1 p_1 + \mu_3 m_3 p_3; \\ (\mu_1 m_1 + \lambda_2)\, p_1 = \lambda_1 p_0 + \mu_2 m_2 p_2; \\ p_0 + p_1 + p_2 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для початкових умов $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ мес$^{-1}$, $\lambda_3 = 0{,}5$ мес$^{-1}$, $m = m_1 = m_2 = m_3 = 4$ мес$^{-1}$, з урахуванням співвідношень (1, 2) показано, що за рахунок вдосконалення методів побудови моделей діяльності чергової зміни РДЦ можливо підвищити ймовірність повного відновлення інформації про способи роботи від 0,7 до 0,9. (рис. 4).

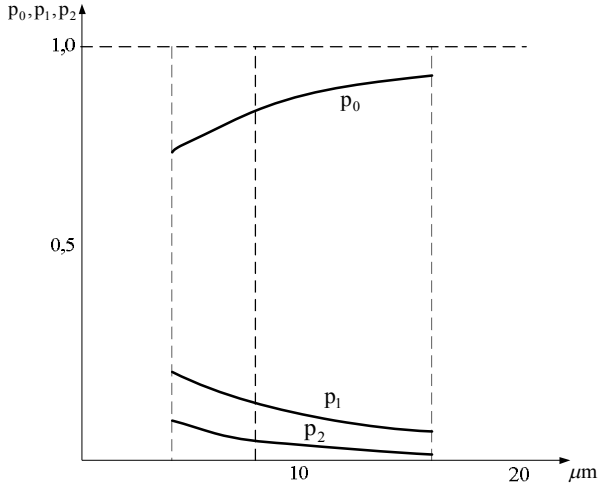


Рис. 4. Залежність імовірності повного (p_0), часткового (p_1) та нульового (p_2) відновлення інформації про способи роботи від інтенсивності відновлення знань

Таким чином, до основних факторів, що впливає на необхідність вдосконалення процесів діяльності чергових змін РДЦ, можна віднести:

– підвищення характеристик повітряних об'єктів і щільності трафіку повітряного руху;

– зростання можливостей АСУ по рішенню завдань управління;

– зростання обсягів керівництв та настанов, які необхідно використовувати в ході застосування АСУ;

– ускладнення питань підготовки авіаційних диспетчерів і злагодження чергових змін РДЦ.

Аналіз науково-методичного апарату, що застосовується для оцінки і вдосконалення діяльності авіаційних диспетчерів.

Методологічні аспекти оцінки впливу складності діяльності авіаційних диспетчерів на ефективність вирішення завдань в АСУ ПР детально розглядаються в рамках концепції трансформаційної теорії динаміки систем (ТТДС) [3].

У даній теорії досліджуються питання організації адаптивної взаємодії комплексів апріорних і реальних стратегій, представлених інформаційно-обчислювальною технікою і активними учасниками вирішення завдань (рис. 5). Під стратегіями розуміються узагальнені прийоми вирішення завдань різних типів. Застосування методології концепції ТТДС дозволяє доповнити звичайне вивчення монотонних процесів еволюції окремо взятих стратегій дослідженням перехідних процесів – трансформації стратегій, які описуються загальноприйнятими асимптотичними кривими лише в окремих випадках.

Рис. 5. Основні елементи концепції ТТДС

При цьому в якості психологічних факторів складності **(** F **)**, від яких залежить ефективність системи $Q = f(F)$, виділяються кількість підсистем об'єкта, кількість зв'язків елементів в ході функціонування системи, кількість елементів, необхідних при виробленні рішення і т.д.

Внаслідок того, що наведені фактори не можуть змінюватися миттєво, їх зміни пропонується пов'язати функціональною залежністю з календарним часом $F(t)$. В даному випадку спрощується інтерпретація експериментально зафіксованих характеристичних кривих $Q = f(F(t))$ типу "плато" і "провал" (рис. 6). Наприклад, для розглянутих систем характеристична крива типу "плато" (крива 1) буде відповідати виявленню можливостей системи, не до кінця передбачених розробниками. Наявність "провалу" (крива 2) пояснюється тим, що відгук на непередбачену проектувальниками зміну характеру повітряного руху (розробка контрзаходів, що дозволяють зберегти ефективність системи на прийнятному рівні) може з'явитися тільки з деякою затримкою.

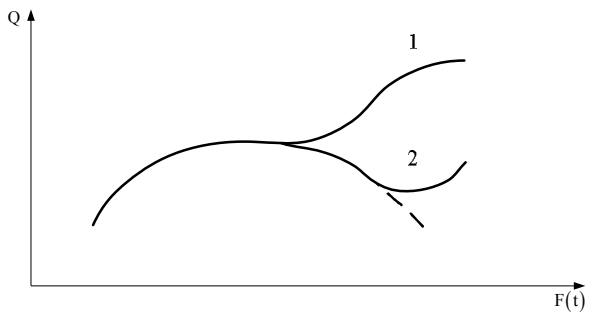


Рис. 6. Варіанти характеристичної кривої

Таким чином, розвиток технічних характеристик повітряних об'єктів призводить до того, що завжди апріорна система знань про процеси роботи чергової зміни РДЦ не володіє вичерпною повнотою і потребує постійного вдосконалення. Наявність таких моделей знань, що перебудовуються, характерна для семіотичних систем ситуаційного управління. При аналізі процесів прийняття рішень в ситуаційних системах розглядаються узагальнені (типові) ситуації, що представляють собою безліч ситуацій, для яких рішення з управління об'єктом однакові. Відома схема семіотичної системи включає:

об'єкт управління з середовищем (W),

вхідні (D) і вихідні (R) перетворювачі,

механізм породження рішень (C),

модель знань про об'єкт і середовище (M),

інтерпретатор, що забезпечує перебудову моделі знань (I).

З урахуванням особливостей розглянутих систем в дану схему пропонується включити авіаційних диспетчерів (H) і спеціалістів-розробників моделей діяльності (H') (рис. 7).

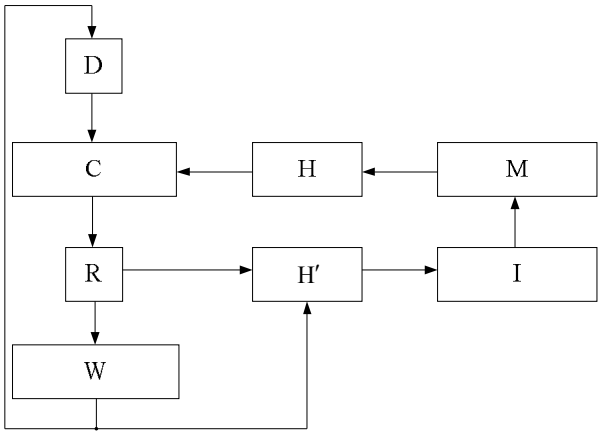


Рис. 7. Структурна схема ергатичної семіотичної системи ситуаційного управління

Показано, що в керованих складних системах, незважаючи на велику кількість можливих станів системи і середовища, число типових керуючих рішень, які визначаються безліччю відносин "система – середовище", в прогнозованих середовищах відносно невелике. Тому фрагменти роботи авіаційних диспетчерів в певних умовах можна розглядати як цілеспрямовані дії згідно із заданими наборам алгоритмів діяльності (АД), під якими розуміються керівництва, що визначають зміст і послідовність дій диспетчера в системі «людина – машина» [7].

Внаслідок того, що процес роботи чергової зміни РДЦ суттєво залежить від обстановки, що склалася і повинен привести до певних результатів, для моделювання діяльності авіаційних диспетчерів поряд з АТ необхідно додатково врахувати прогнозовані ситуації і очікувані результати. Наявність типових ситуацій на АРМ визначається, в першу чергу, реалізованими в даній системі та захищені від редагування алгоритмами обробки інформації, що надходить, а також технічними характеристиками повітряних об'єктів, накопиченим і поширеним досвідом їх експлуатації.

В даному випадку в загальній структурі комплексу моделей можна виділити множину прогнозованих ситуацій (S), множину алгоритмів діяльності (A) і множину очікуваних результатів (R). При цьому різні способи діяльності будуть визначитися елементами прямого добутку множин $S \times A \times R$. Позначивши факт введення нових елементів $s \in S$, $a \in A$, $r \in R$ індексом «1», а залишення елементів множин без змін індексом «0», і розглядаючи різні поєднання індексів, отримаємо можливі варіанти вдосконалення способу діяльності (таблиця 1). Якщо в якості результатів діяльності розглядати досягнуту оперативність і якість вирішення завдань в АСУ, то варіант «000» буде відповідати завданню освоєння відомих алгоритмів діяльності у відомих ситуаціях, варіант «001» – інтенсифікації діяльності без зміни S та A . Решта варіантів пов'язані з необхідністю розширення множини ситуації і розробкою нових алгоритмів діяльності (у міру вдосконалення технічних характеристик повітряних об'єктів, їх експлуатації і накопичення досвіду застосування АСУ).

Таблиця 1. **Можливі варіанти вдосконалення елементів моделей діяльності чергових змін РДЦ**

Складові моделі	Варіанти							
S	0	0	0	0	1	1	1	1
A	0	0	1	1	0	0	1	1
R	0	1	0	1	0	1	0	1

Дослідження питань створення моделей діяльності авіаційних диспетчерів, які перебудовуються, передбачає аналіз можливостей методів, використовуваних на наступних етапах розробки і застосування моделей:

– побудова моделей діяльності в типових ситуаціях;

– оцінка якості моделей і вдосконалення (коригування) моделей;

– організація зберігання, пошуку і відтворення інформації про моделі;

– застосування моделей на РДЦ.

Існуюча методика опису та аналізу роботи чергової зміни РДЦ ґрунтується головним чином на застосуванні для побудови моделей діяльності авіаційних диспетчерів в типових ситуаціях текстуальних (табличних) форм представлення інформації і графоаналітичного методу оцінки очікуваної ефективності дій.

Графоаналітичний метод пов'язаний з протяжкою трас повітряних об'єктів через район, що обслуговується, і дозволяє моделювати ситуації, очікувані за результатами прогнозу дій повітряних об'єктів. Метод дозволяє орієнтовно оцінити потенційні можливості з обслуговування повітряних суден в заданій обстановці. При цьому під оптималь-

ними діями чергової зміни розуміються такі дії, які пропонуються настановами та правилами по організації управління повітряним рухом, а часові характеристики процесу відповідають нормативам. Даний метод відрізняється наочністю і контрольованістю результатів.

Однак графоаналітичний метод в основному спрямований на аналіз можливостей об'єктів управління, і в силу спрощеного розгляду РДЦ не дозволяє досить повно відобразити такі істотні сторони модельованого процесу, як кількісні характеристики способів оцінки обстановки, прийняття рішень і їх реалізації, особливості розподілу функцій між авіаційними диспетчерами і між черговою зміною і КЗА.

Питання вдосконалення моделей діяльності в даній методиці практично не розглядаються, тому вимагають спеціального дослідження та розробки.

Так як керівництва і нормативи реалізуються в даний час у вигляді текстуальних документів, пошук і відтворення необхідної інформації про моделі діяльності проводиться без використання засобів автоматизації, а в ході навчання ці документи використовуються як звичайні навчальні посібники.

Таким чином, існуюча методика побудови моделей діяльності чергової зміни розглядає їх як раз і назавжди дані і зафіксовані в діючих інструкціях і нормативах. При цьому не враховується той факт, що нормативні документи розробляються, як правило, на початковому етапі освоєння системи і в них практично неможливо врахувати і описати всі сильні і слабкі сторони АСУ в різних ситуаціях, пов'язаних зі зміною зовнішніх і внутрішніх факторів (повітряних об'єктів, джерел інформації, об'єктів управління, способів застосування і т.д.).

В якості основних методів побудови моделей роботи чергової зміни РДЦ, які доповнюють графоаналітичний, можуть розглядатися:

– метод структурно-алгоритмічного аналізу;

– метод мережевих моделей діяльності;

– метод еталонного диспетчера (метод копіювання).

Метод структурно-алгоритмічного аналізу відноситься до аналітичних методів і передбачає:

– виділення основних режимів роботи системи; визначення завдань, що вирішуються операторами в кожному з режимів роботи;

– складання алгоритмів діяльності операторів у відповідних режимах роботи з викладанням послідовності дій в залежності від тих чи інших умов;

– визначення числових характеристик діяльності з використанням нормативних та довідкових матеріалів.

Перевагою методу є можливість визначення алгоритму діяльності на рівні дій, що дозволяє скласти аналітичну модель запропонованого процесу роботи в заданих ситуаціях і на його основі визначити нормативні результати. Крім того, можливість детального аналізу реалізованого процесу роботи і його зіставлення з раціональним дозволяє виявити особливості застосованого способу діяльності і оцінити творчі можливості чергової зміни РДЦ.

Складність застосування структурно-алгоритмічного методу для сучасних АСУ полягає в необхідності моделювання (при визначенні раціонального розподілу функцій між людиною і КСА) функціонування апаратно-програмного комплексу в різних ситуаціях.

Метод мережевих моделей діяльності також передбачає розбиття діяльності на ряд елементарних дій, які називаються роботами, а моменти їх завершення – подіями.

Кожна робота може бути охарактеризована математичним сподіванням $\overline{t}_p$ і σ_t^2 – дисперсією часу її виконання.

Метод має прийоми, що дозволяють визначати повний час вирішення завдань авіаційними диспетчерами, який відповідає довжині критичного шляху мережевої моделі. При цьому під шляхом розуміється безперервна послідовність робіт

$$\overline{t}_p(i) = \max_{L_1}\left(\sum_{(i,j\in L_1)} \overline{t}(i,j)\right) = \overline{t}\left(L_1^*(i)\right), \qquad (3)$$

де $t(i,j)$ – тривалість роботи, що з'єднує i-ту подію з j-ою;

L_1 – шлях від вихідної події до j-ої;

$L_1^*(i)$ – найбільший за тривалістю шлях з числа шляхів L_1.

До недоліків мережевих моделей діяльності слід віднести низьку наочність і труднощі використання в процесі навчання запропонованим діям.

Метод еталонного оператора (метод копіювання) є експериментальним методом моделювання роботи і вимагає наявності добре підготовленого авіаційного диспетчера, діяльність якого в заданих умовах приймається за норму. При цьому для забезпечення можливості фіксування і багаторазового відтворення еталонного процесу роботи може бути використана мультимедійна техніка. В даному випадку враховуються особливості функціонування апаратно-програмних комплексів і забезпечується наочність навчання. Однак застосування методу еталонного диспетчера вимагає істотних матеріальних і часових витрат.

Для всіх наведених методів характерно те, що основна увага приділяється моделюванню діяльності окремих диспетчерів, в той час як питання розробки методів і засобів, що застосовуються для вдосконалення взаємодії авіаційних диспетчерів в процесі застосування АСУ, залишаються недостатньо дослідженими.

Наявність позитивних сторін і недоліків у кожного з розглянутих методів дозволяє зробити висновок про те, що при вдосконаленні методики побудови моделей діяльності чергової зміни РДЦ, доцільно комплексне використання різних методів аналізу процесів роботи з урахуванням особливостей дій авіаційних диспетчерів. При вирішенні питань застосування моделей діяльності на РДЦ необхідно враховувати особливості діяльності різних диспет-

черів і рівень їх підготовки. Відповідно до діяльнісного підходу для чергової зміни РДЦ можна виділити п'ять рівнів підготовки.

Початковий (базовий) рівень пов'язаний із засвоєнням головним чином теоретичних знань про принципи побудови, склад і можливості апаратури АСУ, особливості її функціонування в різних режимах, основи експлуатації та застосування КЗА. Без наявності даного рівня підготовки практично неможливий перехід до подальших рівнів.

Перший рівень підготовки авіаційного диспетчера, так званий "учнівський", визначається вмінням діяти за інструкцією (з інструкцією в руках). Цей рівень достатній для діяльності, не обмеженої жорсткими лімітами часу (наприклад, проведення окремих видів профілактичних робіт і т.п.).

Другий, більш високий рівень підготовки називається "алгоритмічним". Він відрізняється тим, що диспетчер діє за інструкцією, за певним алгоритмом, зміст якого зберігається у нього в пам'яті. В даному випадку підвищується оперативність діяльності, що є суттєвим для диспетчерської роботи.

Третій рівень підготовки ("евристичний") пов'язаний з виявленням ситуації і з вибором необхідного в даній ситуації алгоритму діяльності з безлічі відомих алгоритмів. Цей рівень необхідний для керівників польотів, що діють в ході роботи в умовах потоку різних ситуацій.

Четвертий, найвищий рівень підготовки умовно називається "творчим". Він дозволяє вирішувати завдання дослідницької та винахідницької роботи, розробляти нові алгоритми дій як для відомих, так і для невідомих ситуацій.

Зіставлення наведених рівнів підготовки і можливих способів відтворення алгоритмів діяльності (за інструкцією, по пам'яті, з множини відомих алгоритмів, з множини можливих алгоритмів) показує, що зростання рівня підготовки пов'язано з ростом невизначеності дій. Найменша ступінь невизначеності діяльності буде при роботі за інструкцією, найбільша – при розробці нових невідомих алгоритмів діяльності.

Таким чином, для реалізації моделей діяльності із змінною структурою необхідна методика навчання авіаційних диспетчерів до "творчого" рівня підготовки.

Висновки

В ході розгляду суперечностей в практиці вдосконалення діяльності чергових змін районних диспетчерських центрів з'ясовано, що до основних факторів, які впливають на необхідність вдосконалення процесів роботи чергової зміни РДЦ можна віднести:

– вдосконалення технічних характеристик повітряних об'єктів і щільності трафіку повітряного руху;

– зростання можливостей АСУ по рішенню завдань управління різними способами;

– зростання обсягів посібників і керівництв, які необхідно використовувати в ході роботи з обслуговування повітряного руху авіаційному диспетчеру;

– ускладнення питань підготовки авіаційних диспетчерів і злагодження чергових змін РДЦ.

Аналіз науково-методичного апарату, що застосовується для побудови моделей роботи чергової зміни РДЦ, дозволив виявити наступні недоліки існуючої методики:

– підхід до визначення раціональних дій чергової зміни РДЦ в заданій обстановці тільки на основі варіантів, зафіксованих в. посібниках і нормативах, не стимулює фахівців до виявлення нових, більш досконалих способів діяльності;

– використання для моделювання роботи графоаналітичного методу в поєднанні з текстуальними описами не дозволяє виявити кількісні характеристики алгоритмів діяльності авіаційного диспетчера, що ускладнює співставлення різних способів дій і підготовку пропозицій щодо їх вдосконалення;

– залишаються недостатньо дослідженими питання організації раціональної взаємодії авіаційних диспетчерів між собою і між черговою зміною і КЗА в динаміці роботи;

– відомі методи застосування засобів реєстрації, зберігання та відтворення інформації про алгоритми в процесі навчання і злагодження чергових змін не забезпечують повною мірою підготовку авіаційних диспетчерів аж до творчого рівня.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришманов Е. А. Методы интенсификации процессов формирования навыков распознавания и устранения потенциально–конфликтных ситуаций персоналом ОВД / Е. А. Гришманов, Ю. В. Чинченко, И. Е. Буланов // Наукові праці академії, вип. III, част. II. – Кіровоград : ДЛАУ, 1998. – С. 16-21.
2. Залежність функціональних станів оператора від комплексу зовнішніх та внутрішніх факторів при роботі з АСУ / М. А. Павленко, О. А. Черток, Є. А. Толкаченко, В. П. Ясинецький // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 111-114.
3. Математические основы эргономических исследований: монография / П. Г. Бердник, Г. А. Кучук, Н. Г. Кучук, Д. Н. Обидин, М. А. Павленко, А. В. Петров, В. Н. Руденко, О. И. Тимочко. – Кропивницкий : КЛА НАУ, 2016. – 248 с.
4. Онипченко П. Н. Управление воздушным движением и перспективные направления его совершенствования / П. Н. Онипченко, М. А. Павленко, А. И. Тимочко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2. – С. 38-41.
5. Чинченко Ю. В. Подходы к автоматизации контроля уровня готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Искусственный интеллект. – Донецк: Наука і освіта, 2003. – № 4. – С. 378-383.
6. Чинченко Ю. В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Тез. докл. Межд. научно-практической конф. «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». – Кировоград: ГЛАУ, 2003. – С. 67-68.

7. Анализ методов моделирования деятельности оператора в системе "человек-машина" / О. В. Сергунова, М. А. Павленко, А. И. Тимочко, Е. В. Воробьев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – № 7. – С. 80-82.

REFERENCES

1. Grishmanov, E.A., Chinchenko, Yu.V. and Bulanov, I.E. (1998), “Methods of intensification of processes of formation of skills of recognition and elimination of potentially conflict situations by air traffic management personnel”, *Scientific works of the Academy*, Issue III, Part II, DLAU, Kirovograd, pp. 16-21.
2. Pavlenko, M.A., Chertok, O.A., Tolkachenko, E.A. and Yasinetskiy, V.P. (2017), “The dependence of the functional states of the operator of the complex internal and external factors at work with an automated control system”, *Collection of scientific works of the Kharkov National University of the Air Force*, 4, pp. 111-114.
3. Berdnik, P.G., Kuchuk, G.A., Kuchuk, N.G., Obidin, D.N., Pavlenko, M.A., Petrov, A.V., Rudenko, V.N. and Timochko, O.I. (2016), *Mathematical Foundations of ergonomic research*, National Aviation University Kirovograd Flight Academy, Kropyvnitskiy, 248 p.
4. Onipchenko P.N., Pavlenko, M.A. and Timochko A.I. (2015), “Air Traffic Management and the promising directions for its improvement”, *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, No. 2, pp. 38-41.
5. Chinchenko, Yu.V. (2003), “Approaches to automation of air traffic controllers readiness readiness for actions in crisis situations”, *Artificial Intelligence, Science and Education,* Donetsk, No. 4, pp. 378-383.
6. Chinchenko, Yu.V. (2003), “Automation of management of air traffic controllers readiness level for actions in crisis situations”, Abstracts of the International Scientific and Practical Conference "*Modern information technologies in the management and professional training of operators of complex systems*", GLAU, Kirovograd, pp. 67-68.
7. Sergunova, O.V., Pavlenko, M.A., Timochko A.I. and Vorobiev E.V. (2015), “Analysis of methods for modeling operator activity in the" human-machine "system”, *Information Processing Systems*, No. 7. pp. 80-82.

Received (Надійшла) 22.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

**Анализ научно-методического аппарата,
применяемого для оценки и совершенствования деятельности авиационных диспетчеров**

Д. Е. Гришманов, Ю. В. Данюк, Ф. А. Барилюк, Р. В. Корольов

Предметом изучения в статье являются процессы деятельности авиационных диспетчеров дежурной смены районного диспетчерского центра (РДЦ) системы обслуживания воздушного движения. **Целью** является проведение анализа существующего методического аппарата, применяемого для оценки деятельности авиационных диспетчеров дежурной смены РДЦ и их взаимодействия между собой и средствами автоматизации. **Задачи:** проанализировать противоречия в практике совершенствования деятельности дежурных смен РДЦ; провести анализ научно-методического аппарата, применяемого для оценки и совершенствования деятельности авиационных диспетчеров. Анализируемыми **методами** являются**:** графоаналитический метод, метод структурно-алгоритмического анализа, метод сетевых моделей деятельности, метод эталонного диспетчера (метод копирования). Получены следующие **результаты.** Описан комплекс информационных моделей, необходимых для описания работы дежурной смены РДЦ и предложены возможные варианты совершенствования элементов моделей деятельности дежурных смен РДЦ. **Выводы.** В результате рассмотрения противоречий в практике совершенствования деятельности дежурных смен районных диспетчерских центров были выявлены факторы, влияющие на необходимость совершенствования процессов работы дежурной смены РДЦ. Анализ научно-методического аппарата, применяемого для построения моделей работы дежурной смены РДЦ, позволил выявить некоторые недостатки методики, применяемой для решения данных задач.

Ключевые слова: авиационный диспетчер; районный диспетчерский центр; моделирование деятельности авиационного диспетчера.

**Analysis of scientific and methodical apparatus applicable
for evaluation and improvement of activity of aircraft controllers**

D. Grishmanov, Yu. Danyuk, F. Baryliuk, R. Korolev

The **subject matter** of the article is the processes of the activity of air controllers on duty shift of the area control center (ACC) of the air traffic services system. The **goal** is the analysis of the existing methodological apparatus used to evaluate the activity of the air traffic controllers of the duty shift of the ACC and their interaction with each other and automation means. The **tasks** are: to analyze the contradictions in the practice of improving the activity of the duty shifts of the ACC; to conduct an analysis of the scientific and methodological apparatus used to evaluate and improve the activities of air traffic controllers. Analyzed **methods** are: graphoanalytical method, method of structural algorithmic analysis, method of network activity models, reference dispatcher method (copy method). The following **results** were obtained: a complex of information models necessary for describing the work of the ACC shift on duty is described and possible options for improving the elements of the models of the activity of the duty shifts of the ACC. **Conclusions**. As a result of consideration of contradictions in the practice of improving the activity of the shifts of the district dispatch centers, factors influencing the need to improve the work processes of the duty shift of ACCs were identified. An analysis of the scientific and methodological apparatus used to construct models for the operation of the duty shift of the ACC allowed us to identify some shortcomings in the methodology used to solve these problems.

Keywords: aviation dispatcher; district dispatch center; modeling of the aviation dispatcher activities.

UDC 69.003:005.8 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.03**

A. Dorokhina [1], A. Starostina [2], R. Artiukh [1]

[1] State Enterprise "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Kharkiv, Ukraine
[2] O.M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv, Ukraine

THE CONCEPTUAL MODEL OF THE CONSTRUCTION PROJECT TAKING INTO ACCOUNT THE INTERESTS OF STAKEHOLDERS

The **subject matter** of the article components of the scope of investment and construction projects and the interests of its stakeholders. The **goal** of the article is to develop the concept of application of the value approach while forming construction projects. The article deals with the following **tasks:** the impact of the factors of the external and internal situation of the construction project on the process of its management is analyzed, unsolved methodological problems in the field of scope management reviewed, the conceptual model of the construction project is developed taking into account socio-cultural factors. The following **methods** are used: the methodology of project management, the theory of stakeholders, axiological and system approaches. The following **results** are obtained: the structure of elements of the scope of the conceptual model of the construction project is developed, taking into account the interests of the stakeholders; the influence of various factors on the scope of the construction project is considered; the environment of the construction project is systematized, numerous factors are classified as external and internal, stable and variable one; the impact of social and cultural factors on the construction project is analyzed; a set of stakeholders in investment and construction projects was defined, this set is divided into groups of direct and indirect impact on the project scope. From the point of view of the degree of the impact of stakeholders on the project and its objectives, indicators according to which stakeholders have their own interests are determined. The scheme is constructed that shows the correspondence of stakeholders to the areas of project interest. Stakeholder interests are suggested to be considered during the full life cycle of the investment and construction project. The scheme of the spheres of the interests of participants in the investment and construction project at separate stages of its life cycle is constructed. **Conclusions:** When forming the scope of investment and construction projects, the axiological approach should be applied, that is, to take into account the interests of stakeholders that affect the performance of the project during the whole period of the life cycle.

Keywords: social and cultural factors; construction project; project value; the interests of the project stakeholders; life cycle.

Introduction

Modern society increasingly requires that professionals in the development of construction projects be guided by their decisions, taking into account the social and cultural factors and the psychology of a consumer. This involves the fact that, first, the designer should know the possibilities of architectural and construction design in the context of modern scientific and technological achievements and the development of world culture and practice. Second, the designer should know not only the object of their activity but also the design process as a whole as well as the issues of further construction and operation of the created object. Also, the designer should understand that a project is a social demand that bases on human demands. The consumer of the project product is a specific subject a residential, production or leisure environment is created for. In addition, the change in the social situation in our country affected the scope of architectural and construction design

Social and cultural factors of the external environment should be taken into account to ensure the unique architectural integrity of new construction and the existing one. Therefore, social and cultural problems are the key factors of the external environment of project implementation. However, at the moment there are no means of assessing and analyzing the impact of these factors on the scope of new construction projects and there are no actual methods and mechanisms for managing them to achieve the most acceptable result from the implementation of the construction project.

The analysis of the problem and available methods

Construction in Ukraine is characterized by significant risks of investment due to the fact that legislation is imperfect, the participants of the process are engaged in investing to a limited extent, construction deadlines are failed to be met and so on. The modern sphere of construction, in particular, the industrial one, is regulated by a significant number of legislative acts which are rather scattered and contradictory. Most management theorists in the field of construction projects focused on the goal-setting, the improvement of production processes and the quality control of their implementation [1, 2] but the key problem of research has recently become the social and humanitarian component in the project management. Sociological achievements have shown an increased interest in the human factor [3].

To assess potential conflicts of interest, the assessment of stakeholder loyalty is conducted [4]. Stakeholder management is carried out on the basis of an iterative procedure [5]. The issues of managing the project implementation, its dynamics taking into account the project stakeholders, are displayed in the 4R & WS model [6].

Theoretical studies of stakeholders focus mainly on identifying stakeholders in accordance with their objectives and interests in the project or business and discussing methods for achieving such goals [7].

When forming construction projects, the system integration of existing standards and methods of project

management is carried out. To regulate a set of processes of the corresponding phase or sub-phase of the construction object within its life cycle, technological features of the project implementation, the specificity of the working environment, the degree of uncertainty, the level of criticality of changes and the features of interactions among other phases are taken into account [8].

Using project management tools, the theory of stakeholder, evolutionary value theory, new methods of managing investment and construction projects should be developed. The satisfaction with the results of construction projects by all its stakeholders should be increased. The principle of balance of interests of all stakeholders should be applied both within the framework of a separate construction project and within the framework of the whole city.

A significant problem is the limited number of areas suitable for industrial development. There is a lack of necessary energy, water and other resources and infrastructure. For example, the construction of infrastructure maintenance facilities requires vacant areas, which are few. Industrial enterprises can hinder the expansion of urban areas, in addition, require certain sanitary protection zones. Placing them outside the residential area is often a too expensive alternative.

Consequently, the management of investment and construction projects in the field of industrial construction in Ukraine faces today many difficulties.

The goal of the article is to develop the concept of applying the axiological approach while forming construction projects.

The article deals with the following tasks:

- a conceptual model of a construction project taking into account the interests of stakeholders is developed,
- the environment of a construction project, stakeholders and their interests are systematized,
- the role of stakeholders at certain stages of the project life cycle is determined.

Task solution

The project activity for creating real estate objects, which is called the investment and construction activities, includes the concept of capitalization of investments and meeting the needs of consumers in real estate objects implemented via capital construction as well as meeting the needs and expectations of all project participants. So, the article deals with investment and construction projects, which are an investment company limited by time and aimed at creating a new unique real estate object, which should be available and used to make a project valuable [9].

To build a conceptual model of a construction project, a value-oriented approach should be used, this approach involves identifying the interests of the project stakeholders. The value of the project results should be defined as the correspondence of these results to the interests of those for whom these results are intended - for project stakeholders. Therefore, the goal of the value-oriented project management is to ensure the maximum value of the project results for its stakeholders. The basic components of the conceptual model of a construction project are presented in Fig. 1.

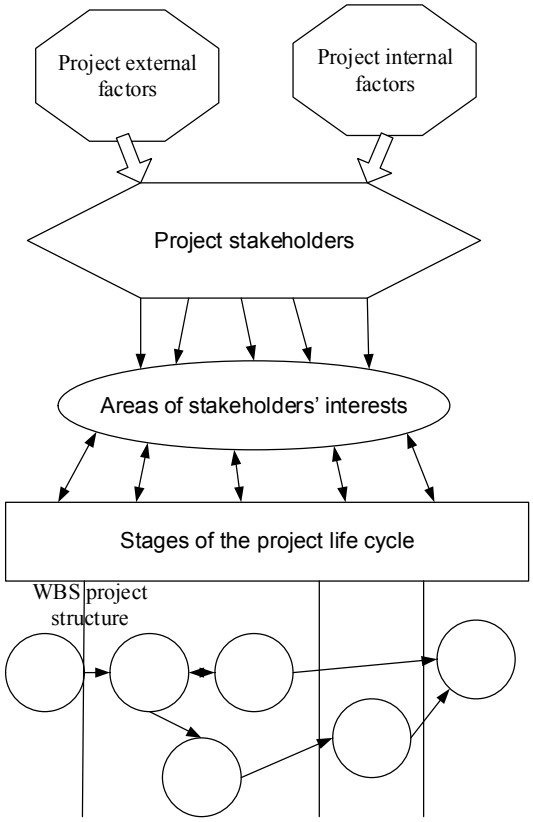


Fig. 1. The components of the conceptual model of a construction project

Let us consider the stated components. Numerous project factors can be grouped into external and internal ones. проекту поділяється на зовнішні та внутрішні. The impact of various factors on the project scope is presented in Fig. 2. Also, the stated factors should be distinguished as stable and variable ones.

The stable factors include:

1. Natural and climatic factors:
   - landscape geographical and geological conditions;
   - sanitary and ecological factors.
2. Social and cultural factors:
   - religion;
   - the population homogeneity;
   - the importance of cultural values, national traditions and heritage;
   - subculture.
3. Conditions of the construction site;
4. Town planning restrictions.

The variable factors comprise:

1. Technological:
   - the degree of novelty of technologies and materials;
   - constructive systems and methods.
2. Architectural and artistic:
   - experience of other projects;
   - the level of urbanization;
   - composition and artistic features of the surrounding building area;
   - homogeneity of development.

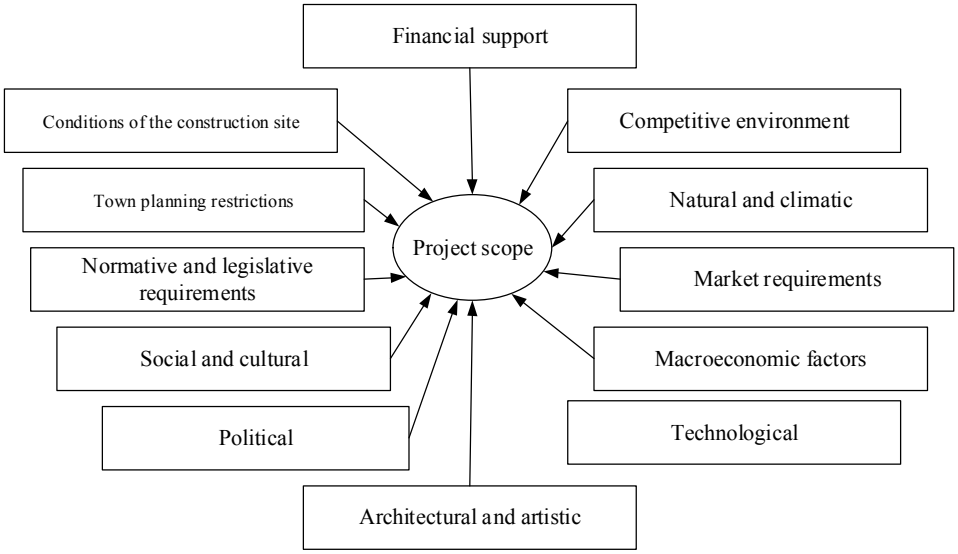


Fig. 2. The impact of external and internal factors on the project scope

3. Financial and economic:
   - financial support;
   - macroeconomic factors.
4. Political.

Market and competitive requirements.

It is especially important that some very significant factors can be finally determined only much later, after the goal-setting and business planning phase. These factors are:

- town planning restrictions;
- normative and legislative requirements;
- special conditions of the construction site.

In addition to these factors, the impact of social and cultural factors on the scope of a construction project should be taken into account (Table 1).

In the project management, the process of goal-setting is extremely important and represents the formation of the project objectives - determining, clarifying and agreeing to objectives of all project participants [10].

The goal-setting process results in the unified definition of goals that are understood by the project participants. It is the interests of stakeholders that are formed under the influence of the above factors.

Table 1. **The impact of social and cultural factors on the scope of a construction project**

Factors	Impact
Historical factor	Creates a favourable "zone" for reproducing and developing traditional culture.
Artistic factor	Inspires aesthetic perception. Restores local traditions in construction projects.
Spiritual and moral factor	Promotes the satisfaction of the spiritual and moral needs of various groups of the population (disabled, elderly, unemployed).
Political factor	Creates a favourable or unfavourable situation with respect to investors. Aimed at enhancing the social and political life and increasing the level of the competence of citizens in social and political issues. Involves the general public in the process of local self-government to develop various ideas and concepts.
Natural and climatic factor	Helps to avoid bad errors in aesthetic, functional and economic errors in the construction projects.
Ecological factor	Aimed at eliminating gaps between the man and nature.

Project stakeholders are understood as an individual or a group of individuals, organizations that are capable to affect the implementation of the project within its life cycle or the project can affect them [11]. While building, the interests of certain stakeholders should be taken into account and these interests cannot be expressed economically. The interest of stakeholders should be considered as economic, social, psychological, resource and any other benefits they expect from the project. The Standard for Project Management PRINCE 2 (PRojects IN Controlled Environments) focuses on satisfying a consumer and involving them in managing the project.

Stakeholders as the subjects of construction projects can be grouped as follows [12]:

1. Direct participation in the investment and construction activities (they are the factors of the internal environment):
   - investors, developers, banking institutions;
   - customers;
   - builders;
   - sellers, suppliers, contractors;
   - designers;
   - the project team.
2. Indirect participation in the investment and construction activities (they are the factors of the external environment):
   - participants of the market infrastructure that serve the main subjects of the investment construction activities (insurance, realtor, consulting, intermediary

companies), supervisory services and licensing authorities (territorial authorities, local government, fire administration, sanitary services, etc.)

- public organizations and public hearings (including self-government organizations, environmental organizations);
- mass media;
- consumers of construction products;
- owners of adjacent territories;
- competitors.

Considering the impact of stakeholders on the project and its objectives, the indicators by which stakeholders have their own interests should be determined.

Among the interests there may be:

- financial indicators (cost per square meter, the form of financing, the possibility of attracting loans, state funds, etc.)
- space planning;
- engineering (energy saving, air conditioning, protection against flooding, earthquakes, etc.)
- linked with the building location (transport, insolation, climatic, etc.)
- legal (insurance, ownership of land, etc.);
- organizational (construction time, queueing and start-up facilities, the choice of contractor, etc.) and so on.

The relationship between the individual stakeholders of the project and their interests is conditionally presented in Fig. 3.

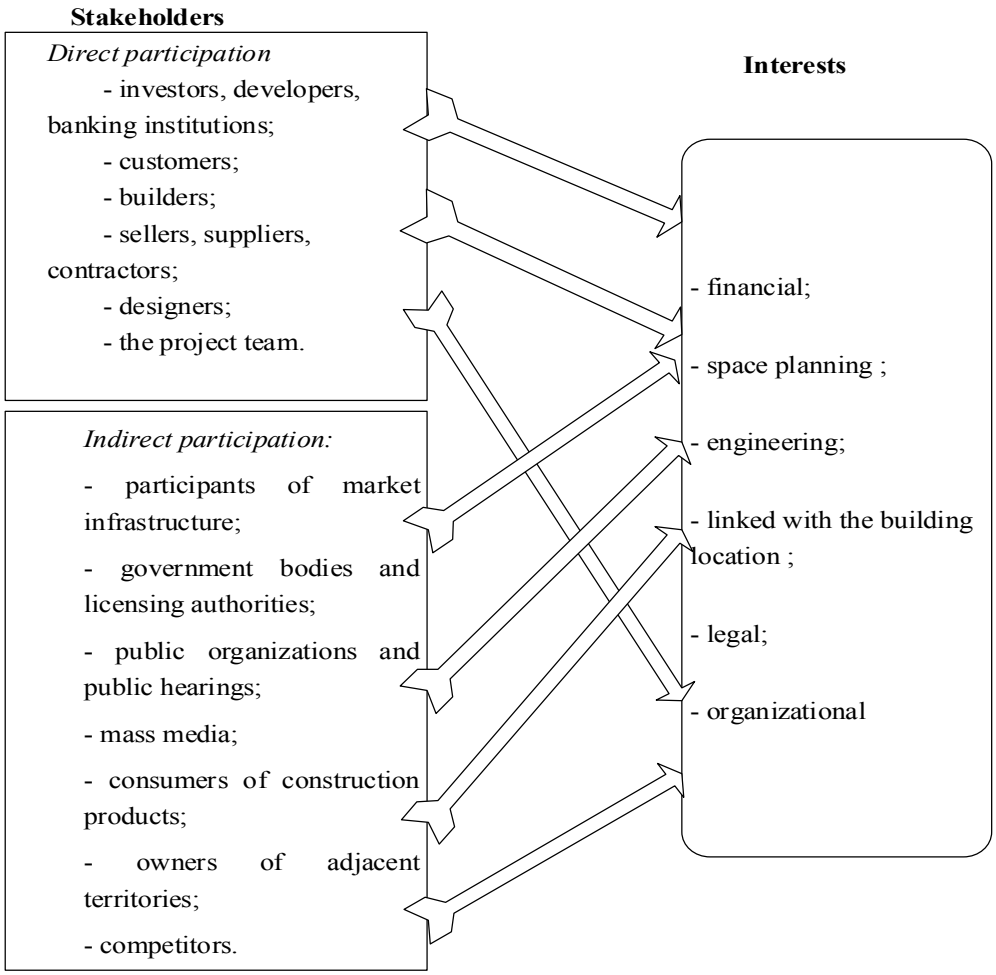


Fig. 3. The example of the interests of project stakeholders

The interests of stakeholders are suggested to be considered from the point of view of the business, social and public environment that is interested in housing construction and within the full life cycle of the investment and construction project.

But such functions as state control, the supply of resources, registration of property rights and so on will remain external elements of the system with regard to the project. All these elements are the project stakeholders.

The interests of the community in the area where the construction is planned are often left without attention. After all, new construction will create an additional burden on the transport, social and engineering infrastructure of the district. All this can worsen the living conditions for citizens. The reasons for the risks and failures of construction fall mainly on the initial pre-investment phase of the life cycle of projects. The construction of the vast majority of such "problematic" facilities is suspended or not conducted at all due to a lack of funds from the company-builder. The source of such funds could be a private investor - an individual who would invest in construction. The causes of risk are also the use of "shadow schemes" in the activities of

construction organizations, unskilled workers who are engaged in repair and construction, deceiving investors with advertising promises. That is, any investment is a risky activity.

One company is developing a construction project, the second company is building it, the third one is financing the project, the fourth is maintaining deliveries, the land plot belongs to the fifth party, other companies are providing services and resources, somebody else is using the constructed object and so on. That is, stakeholders must realize their interests at various stages of the project lifecycle. (Fig. 4).

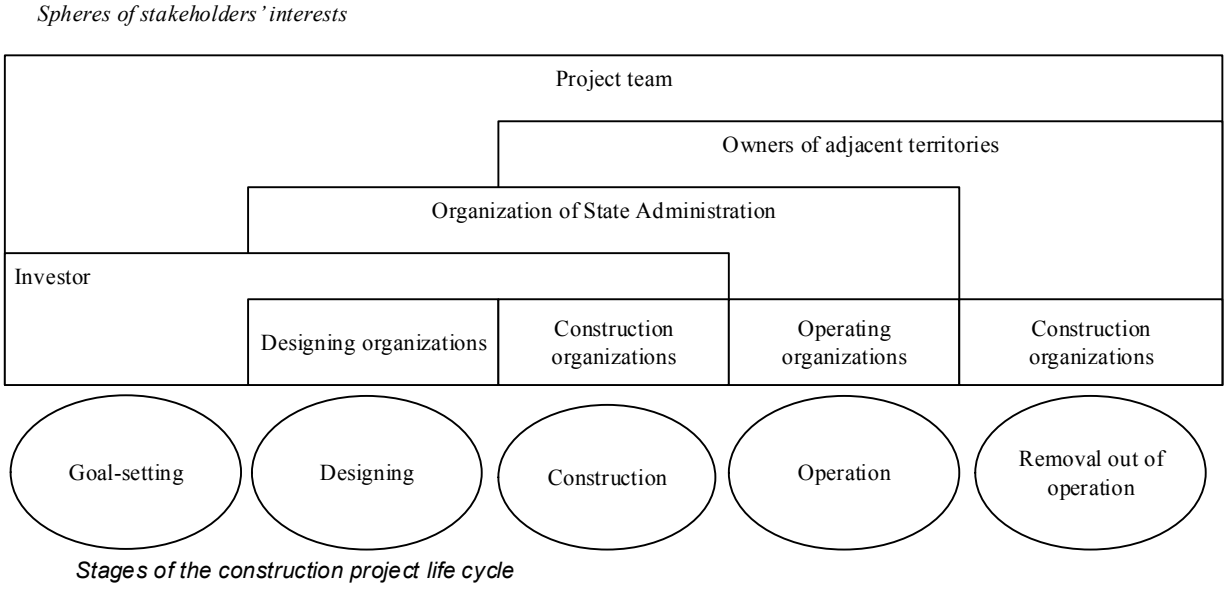


Fig. 4. Spheres of interests of the participants of the investment and construction project

The scheme shows that such project stakeholders as designers, builders or operating organizations interact with the project only in a certain period.

Thus, the interests of stakeholders at each phase of the project should be taken into account already when the project scope is formed. These interests should be reflected both in the generalized parameters of the project and when planning individual project activities.

Conclusions

The article describes the structure of the elements of the conceptual model of the construction project taking into account the stakeholders. The impact of various factors on the scope of the construction project was considered. The environment of the construction project was systematized and numerous factors were classified into external and internal, stable and variable ones. The impact of social and cultural factors on the scope of the construction project is analyzed.

A set of stakeholders of investment and construction projects is determined, this set is divided into the groups of direct and indirect impact on the project scope. From the point of view of the degree of impact of stakeholders on the project and its objectives, indicators by which stakeholders have their own interests are determined. The scheme that shown how stakeholders correspond to the areas of project interests was developed.

The interests of stakeholders are suggested to be considered within the full life cycle of the investment and construction project. The scheme of the spheres of interests of the participants of the investment and construction project at separate stages of its life cycle is constructed.

In the future, the suggested elements of the conceptual model will be formalized and the method for assessing stakeholder interests and their impact at the stages of the life cycle of the project will be developed.

REFERENCES

1. Balduk, G. P. (2017), "Actuality of determination of the potential of the success of management decisions in the management of investment and construction projects", *Managing the development of complex systems*, No. 30, pp. 30-38.
2. Voskobianik, O. P., Shemko, O.V. (2015), "The current state of the problem of technical risk management (risk management) in construction", *Collection of scientific works Branch engineering, construction*, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, No. 1 (43), pp. 35-44.
3. Rich, M. I. (2013), "Values of stakeholders in social and commercial projects", *Managing the development of complex systems,* No. 13, pp. 45-49.
4. Skachkov, O., Skachkova, I. (2018), "Theoretical and methodical toolkit for managing the stakeholders of a project", *Innovate technologies*, No. 1 (3), pp. 48-53, available at: http://dx.doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.048
5. Dotsenko, N. V., Gonchar, I.A., Skrynnik, A.I., Zhebel, Y.Y. (2015), "Instruments of stakeholders management within increase of project viability", No. 2(72), available at: https://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2015/REKS215/pdf (last accessed March 11, 2018).

6. Guseva, Yu.Yu., Martynenko, O. S., Chumachenko, I. V. (2017), "Matrix Model 4R & WS for the classification of the project stakeholders", *Bulletin of NTU KhPI. Series: Strategic management, portfolio, program and project management,* No. 2, pp. 17–22.
7. Friedman, A. (2006), "Stakeholders: Theory and Practice", *Oxford University Press*, pp. 335.
8. Bushuyev, S. D., Boyko, O.O. (2016), "System integration approaches in management of constrution projects", *Management of Development of Complex Systems,* No. 26, pp. 43- 48.
9. Pisarev, D. V. (2011), "Economic analysis of investment and construction project at the stages of its life cycle", *Economic Analysis: Theory and Practice*, No. 22(229), available at: http://1atoll.ru/?id=628 (last accessed March 11, 2018).
10. Yaschenko, Y. G. (2011), "Features of goal-setting of the project activity at different levels of maturity of business", *Management for the development of complex systems*, No. 8, pp. 75-84.
11. Hrabar, V., Salmakov, M. (2014) Analysis of project stakeholders - methodology, methodology, tools, *scientific journal ARS ADMINISTRANDI: The art of management*, No. 2, pp. 36-44, available at: http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zainteresovannyh-storon-proekta-metodologiya-metodika-instrumenty (last accessed March 11, 2018).
12. Selina, V. P. (2014), "The theory of real options and management of financial risks of developer projects", *dissertation for the degree of candidate of economic sciences, Specialty. 08.00.10./ 12*, pp.178.

Received (Надійшла) 12.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Концептуальна модель проекту будівництва з урахуванням інтересів стейкхолдерів

А. А. Дорохіна, А. Ю. Старостіна, Р. В. Артюх

Предметом дослідження в статті є складові змісту інвестиційно-будівельних проектів та інтереси його стейкхолдерів. **Мета роботи** - розробка концепції застосування ціннісного підходу при формуванні будівельних проектів. В статті вирішуються наступні **завдання:** аналіз впливу факторів зовнішнього та внутрішнього оточення будівельного проекту на процес його управління, огляд невирішених методологічних проблем у сфері управління змістом, розробка концептуальної моделі будівельного проекту з урахуванням соціокультурних факторів. Використовуються такі **методи:** методології управління проектами, теорія стейкхолдерів, теорія цінностей, системний підхід. Отримано наступні **результати:** розроблено структуру елементів змісту концептуальної моделі будівельного проекту з урахуванням інтересів стейкхолдерів. Розглянуто вплив різноманітних факторів на зміст проекту будівництва. Проведено систематизацію оточення будівельного проекту у вигляді класифікації множини факторів на зовнішні та внутрішні, на стабільні і змінювані. Проаналізовано вплив соціокультурних чинників на зміст будівельного проекту. Визначено множину стейкхолдерів інвестиційно-будівельних проектів, яку поділено на групи прямого та непрямого впливу на зміст проекту. З точки зору ступеню впливу стейкхолдерів на проект та його цілі, визначено показники, за якими стейкхолдери мають власні інтереси. Побудовано схему відповідності стейкхолдерів зонам інтересів проекту. Запропоновано розглядати інтереси стейкхолдерів на протязі повного життєвого циклу інвестиційно-будівельного проекту. Побудовано схему сфер інтересів учасників інвестиційно-будівельного проекту на окремих етапах його життєвого циклу. **Висновки:** При формуванні змісту інвестиційно-будівельних проектів слід застосовувати ціннісний підхід, тобто враховувати інтереси стейкхолдерів, які впливають на виконання робіт проекту протягом усього життєвого циклу.

Ключові слова: соціально-культурні фактори; проект будівництва; цінність проекту; інтереси стейкхолдерів проекту; життєвий цикл.

Концептуальная модель проекта строительства с учетом интересов стейкхолдеров

А. А. Дорохина, А. Ю. Старостина, Р. В. Артюх

Предметом исследования в статье являются составляющие содержания инвестиционно-строительных проектов и интересы его стейкхолдеров. **Цель работы** - разработка концепции применения ценностного подхода при формировании строительных проектов. В статье решаются следующие **задачи:** анализ влияния факторов внешней и внутренней среды строительного проекта на процесс его управления, обзор нерешенных методологических проблем в сфере управления содержанием, разработка концептуальной модели строительного проекта с учетом социокультурных факторов. Используются следующие **методы:** методологии управления проектами, теория стейкхолдеров, теория ценностей, системный подход. Получены следующие **результаты:** разработана структура элементов содержания концептуальной модели строительного проекта с учетом стейкхолдеров. Рассмотрено влияние различных факторов на содержание проекта строительства. Проведена систематизация окружения строительного проекта в виде классификации множества факторов на внешние и внутренние, на стабильные и изменяемые. Проанализировано влияние социокультурных факторов на содержание строительного проекта. Определены стейкхолдеры инвестиционно-строительных проектов, которые разделены на группы прямого и косвенного влияния на содержание проекта. С точки зрения степени воздействия стейкхолдеров на проект и его цели, определены показатели, по которым стейкхолдеры имеют собственные интересы. Построено схему соответствия стейкхолдеров зонам интересов проекта. Предложено рассматривать интересы стейкхолдеров в течение полного жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта. Построена схема сфер интересов участников инвестиционно-строительного проекта на отдельных этапах его жизненного цикла. **Выводы:** При формировании содержания инвестиционных строительных проектов следует применять ценностный подход, то есть учитывать интересы стейкхолдеров, которые влияют на выполнение работ проекта на протяжении всего жизненного цикла.

Ключевые слова: социально-культурные факторы; проект строительства; ценность проекта; интересы стейкхолдеров проекта; жизненный цикл.

УДК 04.052.42 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.04**

О. А. Козіна, Н. К. Стратієнко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ЗМІШАНА НЕСУПЕРЕЧНІСТЬ ДАНИХ У БАГАТОХМАРНИХ СИСТЕМАХ

У багатохмарних системах залишається проблемою підтримка адаптивного рівня узгодженості даних, якщо вони розташовані в дата-центрах різних власників, тому **предметом** вивчення в статті є модель змішаної несуперечливості даних для такого роду проектів. Відомі моделі несуперечності даних, засновані на припущенні, що не для всіх даних необхідний однаковий рівень строгості несуперечності, не мають парадигми, що дозволяє використовувати їх для багатохмарних систем. **Метою** роботи є розробка адаптивної моделі змішаної несуперечності. **Завдання**, яке вирішується в статті: формалізувати процедуру формування багатошарової вкладеної карти несуперечності даних, розташованих в хмарних системах різних власників. **Методами** вирішення задачі є: протомолекулярний підхід, графовий метод, математичне моделювання. Отримані **результати**: протомолекулярний підхід дозволив сформувати модель багатошарової карти несуперечності даних. Розроблено метрику для кожної неподільної одиниці моделі, що представляє собою кортеж з рангу несуперечності, інтервалу зміни рангу і ступеня впливу оновлення даних однієї одиниці даних на інші. При побудові моделі врахована можливість управління розробниками проекту необхідним ступенем строгості несуперечності даних залежно від семантики проекту. Передбачена можливість автоматичної динамічної адаптації ступеню строгості несуперечності даних в процесі функціонування проекту. **Висновки**: наукова новизна отриманих результатів полягає в розробленому протомолекулярному підході до формування багатошарової карти несуперечливості даних, розташованих в дата-центрах різних власників хмарних сервісів. Створення і підтримка запропонованої адаптивної моделі змішаної несуперечності даних вимагає додаткових дій від розробників проекту, але дозволяє знизити вартість підтримки хмарних сервісів.

Ключові слова: багатохмарність; змішана несуперечність; карта несуперечності проекту.

Вступ

Розвиток і впровадження хмарних технологій є основним прогнозованим трендом у сфері IT останніх років [1, 2]. Аналітики компанії International Data Corporation, що спеціалізується на дослідженнях ринку інформаційних технологій, пов'язують цю тенденцію з поширеністю багатохмарності і гібридних хмарних систем, які дозволять більш повно і ефективно задовольняти постійно зростаючі потреби в обслуговуванні великих даних і глобальних веб-сервісів [3].

Під багатохмарною системою в даній роботі мається на увазі хмарна система, що комбінує сервіси, які належать різним провайдерам, в той час як гібридна хмарна система може об'єднувати приватні та публічні хмари одного власника сервісів. У гібридній хмарі використання загальної оркестрації сервісів і додатків дозволяє переміщати навантаження між приватними та публічними хмарами одного провайдера [4].

Провідні хмарні провайдери, включаючи AWS, Azure, Google, IBM, Oracle, Mirantis, Red Hat і VMware, конкурують за клієнтів, які переносять свої робочі навантаження в гібридні хмарні середовища [5], проте все частіше озвучується необхідність опрацювання концепції багатохмарності та загальної екосистеми компаній, для якої потрібен не тільки більш загальний шар абстракції, що може поєднати різні середовища [6 – 8], а й спеціальні сервіси, здатні забезпечувати ефективне управління багатьма хмарами [5]. Деякі компанії вже заявили про створення різних інструментів, призначених для поліпшення інтеграції хмарних сервісів різних власників. Так, наприклад, команда розробки Kubernetes, що розвиває платформу для оркестровки контейнерів з наданням більш високого рівня абстракції, ніж традиційні платформи управління хмарами, додала в нову версію свого програмного забезпечення функції, які дозволяють стороннім провайдерам зберігання додавати свої плагіни в кластери робочої конфігурації [9].

Однак, балансування продуктивності і доступності, як і підтримка адаптивного рівня узгодженості в цих масштабованих об'єктно-орієнтованих, багатовузлових або кластерних багатохмарних системах залишається проблемою [10].

Саме тому розробка моделі змішаної несуперечності даних, що ефективна в середовищі різних власників хмарних сервісів є дуже актуальним завданням.

Аналіз літератури. Модель несуперечності даних є основою механізму оновлень в системах хмарних обчислень, тобто як, що і коли оновлювати фактично визначає ефективність дата-центрів. При будь-якому типі XaaS послуг власник хмари гарантує клієнтам обраний рівень надійності, тобто повинен виконувати резервне копіювання/реплікацію даних клієнта, отже, підтримка достатнього для клієнта рівня несуперечності даних на всіх репліках є гарантом надійності всієї хмарної системи.

Мультихмара дозволяє компонувати хмарні сервіси різних власників без їх об'єднання, тому ефективність роботи у цьому оточенні багато в чому залежить від правильного управління даними.

Використання багатохмарних систем породжує складності з узгодженістю даних та поширенням оновлень, ініційованих клієнтом, тобто підвищується ризик отримання користувачами застарілих або невірних даних, наприклад, якщо частина неструктурованого контенту зберігається на декількох вузлах.

Змагання за нових клієнтів хмарних сервісів, яким пропонується високий ступінь узгодженості даних, призвело до підвищення кількості операцій з надання високої доступності і, відповідно до високої собівартості хмарних послуг. Ідея про те, що не всі дані вимагають однакового рівня узгодженості є відправною точкою в багатьох відомих роботах по створенню змішаних моделей несуперечності даних [11, 12, 13].

Ці роботи присвячені створенню нових метрик або пошуку компромісу між добре відомими класичними моделями несуперечності при використанні даних [14].

У роботі [12] при побудові моделі безперервної несуперечності використовується тривимірний вектор («Помилка числа», «Помилка порядку», «Застій»). Параметр «Помилка числа» вказує на загальну вагу операцій запису, які можуть бути виконані в усіх репліках до оновлення даної репліки. Параметр «Помилка порядку» обмежує кількість операцій запису, які можуть залишитися неврегульованими на будь-який репліці, а параметр «Застій» обмежує час затримки у просуванні реплік. Така модель несуперечності даних може бути ефективною для оновлень, ініційованих сервером у одній хмарі. При цьому мається на увазі, що одна репліка містить дані, для узгодження яких підходить однаковий рівень несуперечності.

У широко відомій праці [15] модель несуперечності пов'язується зі вартість експлуатаційних витрат дата-центру з надання обраного рівня суворості несуперечливості даних в хмарі. Для цього дані поділяються на три категорії: A, B і C. Для даних з категорії A повинні забезпечуватися найсуворіші гарантії узгодженості, а значить їх обслуговування має найвищу вартість. Для даних з категорії C можна забезпечувати мінімальний рівень несуперечності з низькою вартістю операцій. Для даних з категорії B, рівень несуперечності яких може бути змінено в процесі розвитку проекту, запропоновані політики нормування несуперечності на основі імовірнісних гарантій (процентилей) з використанням часової статистики.

В роботі [16] для виділення однакових рівнів несуперечності в мережевих іграх класу стратегій реального часу розроблена модель VFC. Модель несуперечності VFC базується на векторі κ = (θ, σ, ν), який визначає максимальне значення обмежень: за часом (θ), тобто інтервал в секундах, протягом якого об'єкт може коректно використовуватися без застосування поновлення; по послідовності (σ), тобто кількістю оновлень, які об'єкт може пропустити; по значенню (ν), тобто. процентна відмінність між поточним і оновленим змістом даних. При цьому рекомендується використовувати семантичний поділ ігрових світів на області меншого розміру, які зазвичай реалізовано за допомогою порталів або тунелів, для угруповання об'єктів за рівнями несуперечності.

Для самих об'єктів типу портал/тунель пропонується використовувати однаковий, але більш слабкий рівень несуперечності, а для, наприклад, поточного розташування героя – більш суворий рівень. Це, так званий, горизонтальний підхід до виділення областей несуперечності.

Вочевидь, що існує багато інших типів даних, що розташовано мультіхмарах, для котрих не можливо визначити допустимий час існування даних без оновлення або вказати кількість оновлень, які можна пропустити без шкоди для роботи віддалених клієнтів по всьому світу.

В роботі [17] пропонується модель несуперечності як сервіс – consistency as a service (CaaS) model.

Для багатохмарних систем модель CaaS, що сформульована в [17] з використанням відміток глобальних годин, не може бути реалізована, проте сама ідея виділення параметру несуперечності даних як основи архітектури багатохмарних систем виглядає дуже перспективною.

Карта несуперечності

Розроблена модель змішаної несуперечності даних для багатохмарних систем базується на мапі рівнів несуперечності, що адаптивно змінюється в процесі розвитку проекту. Особливістю карти несуперечності даних проекту, що пропонується, є врахування не лише рангів несуперечності об'єктів, але і ступінь впливу оновлень, що відбулися в одному об'єкті на залежні дані.

Вхідними даними для створення карти несуперечності проекту є таблиця рангів тих моделей несуперечності, які можуть бути реалізовані відповідно до типу бази даних, що використовуються в кожній хмарній системі. Для кожної моделі несуперечності необхідно встановити деякий числовий еквівалент строгості ρ_r, з діапазону 0 ... 1, де 1 – сувора модель несуперечливість, 0,1 – найслабша модель несуперечності.

У таблицю можуть бути включені як класичні моделі несуперечності орієнтовані на дані, так і моделі, орієнтовані на клієнта, незалежно від того на який протокол поширення оновлень вони розраховані (просування або вилучення). Кількість моделей несуперечності даних, які можуть бути реалізовані на серверах дата-центрів можуть відрізнятися у різних власників дата-центрів.

Таблиця 1. **Приклад таблиці рангів моделей несуперечності даних**

Індекс рангу, r	Ранг, ρ_r	Найменування (сутність) моделі несуперечності
1	1	Сувора несуперечність
2	0,8	Потенційна несуперечність (узгодженість у кінцевому рахунку)
3	0,6	Несуперечність FIFO
4	0,3	Монотонний запис
5	0,2	Читання власних записів

Для ранжирування моделей за рівнями суворості несуперечності можна скористатися відомими роботами [18, 19, 20], або орієнтуватися на думки власної команди розробників. У будь-якому випадку результат ранжирування моделей несуперечності у багато чому буде суб'єктивним для кожного проекту і залежати від передбачуваних сподівань якості сервісу кінцевих користувачів. Слід зазначити, що сформована таблиця апріорних рангів моделей несуперечності може бути в подальшому скоректованою відповідно до рекомендаціям модуля моніторингу та прогнозів платформи управління багатохмарною системою.

Змішана модель несуперечності даних, що пропонується, визначає *карту* несуперечності усього проекту, яка представляє собою багатошарову вкладену структуру об'єктів, що мають різні ранги несуперечності. Оновлення, що сталося з ведучим об'єктом, розглядається як ініціатор оновлення в підпорядкованому залежному об'єкті. У карті несуперечності даних проекту кожен об'єкт визначено кортежем (ρ_r , $\Delta\rho$, $\lambda_{x,y}$), де ρ_r – ранг несуперечності об’єкту; $\Delta\rho$ – числовий інтервал, всередині якого зміни значення рангу несуперечності можуть бути проведені автоматично згідно рекомендаціям модулю моніторингу та прогнозів; $\lambda_{x,y}$ – числове значення ступеню впливу оновлення, що сталося з одним об’єктом, на інший об’єкт.

Розроблений *протомолекулярний* підхід до відокремлення об’єктів, що формують карту несуперечності, на першому кроці вимагає визначення зведених найважливіших функцій проекту F_i. Розглянемо як приклад портал туристичного оператору, що розташував власні дані в багатохмарній системі. Для такого порталу зведеними важливі функції це – забезпеченість та продаж пакетних турів (F_1), індивідуальних (F_2) та групових турів (F_3).

Далі треба виділити об’єкти M_j^i, які використовуються для досягнення кожної функції F_i. Назвемо ці об’єкти *молекулами*. *Молекулами* змішаної моделі несуперечності можуть бути модулі, функції, класи, бібліотеки, тобто різні складені об'єкти, для яких несуперечливість визначена в даному проекті. Усередині *молекул* можливо виділити об'єкти *атоми* A_x^j, неподільні одиниці даних, наприклад, рядки, записи, значення змінних і т.п. У загальному вигляді зведені найважливіші функції проекту описуються структурою:

$$F_m = \left\{ M_1^m, \cdots, M_j^m, \cdots, M_N^m \middle| M_1^m = \left(A_1^1, \cdots, A_x^1, \cdots, A_K^1 \right), \ldots, \right.$$
$$\left. M_N^m = \left(A_1^N, \cdots, A_x^N, \cdots, A_K^N \right) \right\}, \quad (1)$$

де m – поточний номер зведеної функції, N – кількість *молекул*, що формують поточну функцію, K – кількість *атомів*, що формують кожну *молекулу*.

Для кожного *атома* всередині *молекули* необхідно встановити числове значення обраного рангу несуперечності ρ_r з визначеної раніше таблиці рангів (див. табл.1) з точки зору розробників. При цьому семантика проекту повинна бути джерелом апріорного розподілу даних. У нашому прикладі з порталом туристичного оператора для того, щоб успішно продавати тури портал повинен зберігати і обробляти великий обсяг різноманітної інформації: про готелі і перевізників, про ціни та наявність вільних місць, реєстраційні дані клієнтів, їх переваги та історії замовлень, прогнози цін, правила оформлення віз, туристичні новини різних країн і т.п. Зрозуміло, що для успішного ведення туристичного бізнесу не всі типи даних потребують однакового рівня несуперечності, тобто затримка в оновленні або тимчасове відображення застарілої інформації про погоду на курортах світу не так критична для туристичного оператора, як дані про наявність вільних місць в готелях у «високий» сезон на популярному пляжному напрямку.

Як відомо з теорії перспектив Канемана-Тверскі, людям властиво переоцінювати вплив результату негативних альтернатив і недооцінювати внесок позитивних [21].

Рівень очікувань якості (або терпимість до затримок у відгуках на запити) кінцевих користувачів будь-якого віртуального проекту є неоднорідним за часом і залежить від семантики запиту [22], наприклад, результат пошуку за ключовим словом за ключовим словом користувач готовий чекати не більше секунди, а результат графічної візуалізації майнінгу даних від хвилини до години. Отже, можна апріорно виділити *атоми*, оновлення значень яких кінцевий користувач готовий більш терпимо очікувати, тобто для яких ранг несуперечності може бути нижчим.

Оновлення значень *молекул* проходить за аналогією до поведінки *атомів* і відповідає семантиці оновлення даних, що ініційовані клієнтом, тобто оновлення *молекул* може впливати на значення інших *атомів* і *молекул.* Такий тип впливу в розробленій змішаній моделі несуперечності графічно представляється у вигляді орієнтованого зваженого неплоского графу впливів оновлень. Вершинами графа є *атоми*, а дуги відображають наявність і напрямок впливу оновлення, що сталося в одному *атомі*, на значення інших. Ступінь впливу $\lambda_{x,y}$ оновлення, що сталося з даними, наприклад, у об’єкті M_x^3, на інший об’єкт M_y^3 представляє собою вагу відповідної дуги та має числовий еквівалент у діапазоні від 0 до 1.

Атоми з однаковим рангом несуперечності ρ_r можна згрупувати у плоскості, отримуючи багатошарову архітектуру моделі несуперечності *молекул* (рис. 1).

Слід зазначити, що можливо виникнення ситуація, коли один і той же *атом* буде часткою різних *молекул*, наприклад, курс обміну валюти у якості *атома* може входити до *молекул*, що формують кожну з виділених зведених функцій F_1, F_2 и F_3 в прикладі з туристичним оператором.

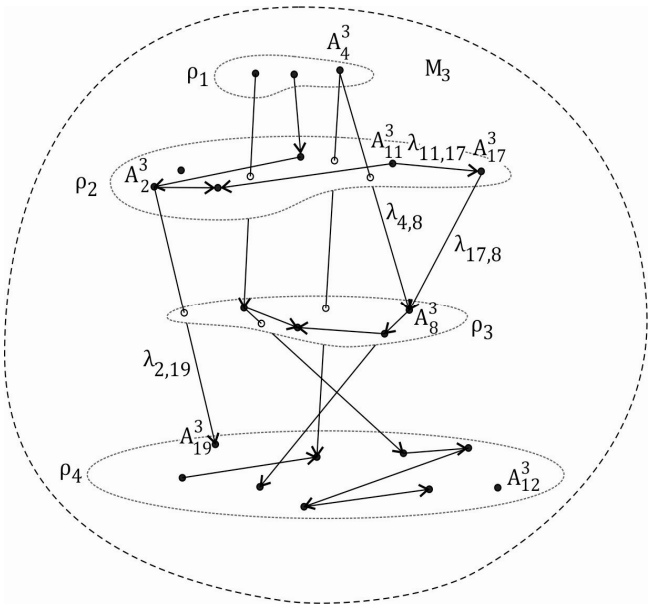


Рис. 1. Графічне представлення моделі суперечності одиночної молекули M_3

На рис. 2 наведено приклад моделі несуперечності *молекул* M_3 і M_7, у яких *атоми* A_{17}^3 і A_5^7 є суть одне й саме на площині з рангом ρ_2, а *атоми* A_{12}^3 і A_6^7 також зв'язані на площині з рангом несуперечності ρ_5.

Числовий діапазон значень параметру $\Delta\rho$, також треба визначати відповідно до семантики проекту для кожного об'єкту змішаної моделі.

Якщо $\Delta\rho = 0$, це означає, що значення рангу несуперечності для даного об'єкта може бути змінено тільки після аналізу статистичних даних розробниками проекту і не може бути змінено автоматично.

Конфігурація кортежів зведених найважливіших функцій формує загальну карту несуперечності всього проекту, по якій кожним власником датацентру, що входить в багатохмарну систему, буде фактично виконуватися оновлення даних, ініційованих клієнтом.

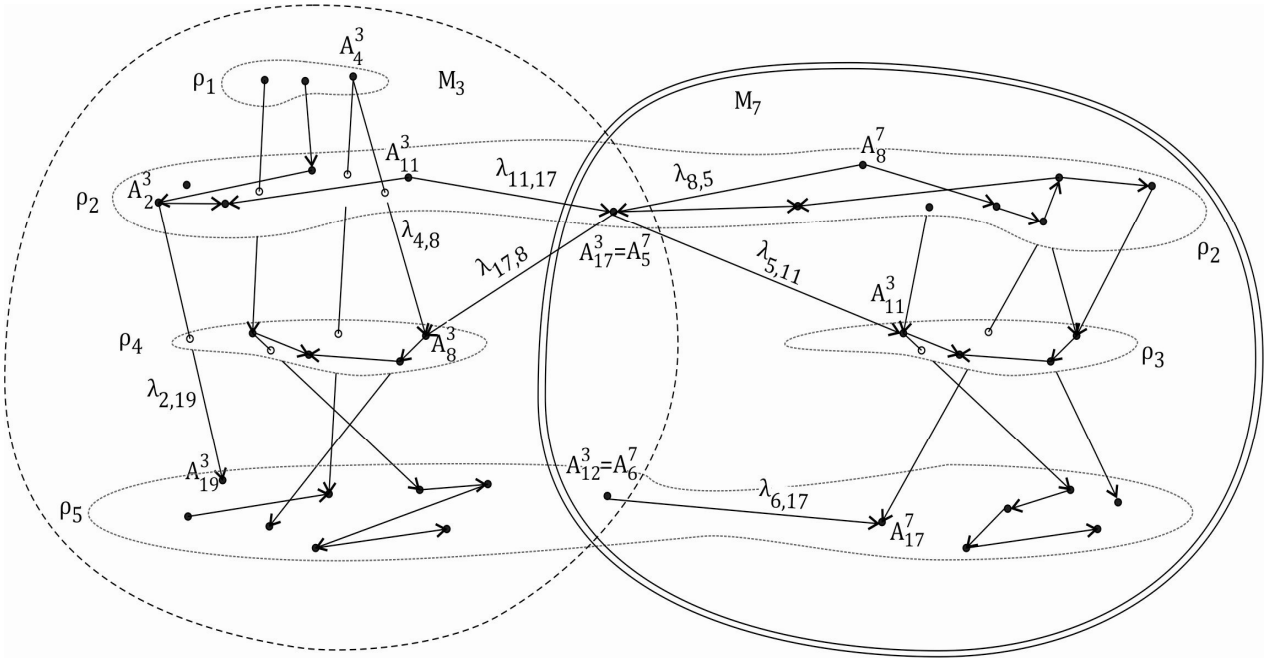


Рис. 2. Графічне представлення моделі несуперечності молекул M_3 і M_7 зі зв'язаними атомами

Адаптація рангів у карті несуперечності

Для надання клієнтам прозорих сервісів для великих масштабованих проектів дата-центрам, що належить декільком власників, потрібно узгоджувати свою роботу.

Узагальнена схема інтеграції хмарних систем різних власників за допомогою спеціальної платформи управління представлена на рис. 3.

Модуль моніторингу та прогнозів аналізує всі звернення до даних в кожному дата-центрі на підставі статистики по серверам. За результатами аналізу формуються пропозиції для розробників проекту про адаптацію рівня несуперечності даних за обраним критерієм: кількість операцій, необхідних для підтримки встановленого розробником рівня несуперечності, тобто за вартістю реалізації обраної моделі несуперечності.

При автоматичній зміні рангу несуперечності для *атомів* або цілих *молекул*, такі об'єкти можуть бути перегруповані, тобто перенесені на сервери, які обслуговують дані з відповідних рангом несуперечності.

У багатохмарних системах дані, що розташовані на одному шарі карти несуперечності можуть бути об'єднані на одному сервері, в одному кластері або дата-центрі, наприклад, на сервері, що має більш вигідне розташування з точки зору продуктивності/мережевого трафіку.

Рис. 3. Розташування модулю моніторингу та прогнозів в узагальненій схемі інтеграції для багатохмарних систем

Для такого сервера буде реалізована, наприклад, тільки одна обрана модель несуперечності даних.

Висновки

У роботі запропонована змішана модель несуперечності даних у багатохмарних системах. Вкладена багатошарова карта несуперечності даних, що розташовані у дата-центрах різних власників, базується на відокремленні об'єктів – функцій, молекул і атомів.

Для кожного об'єкту формується кортеж з 3 параметрів: ранг несуперечності, інтервал можливих автоматичних змін рангу несуперечності та ступінь впливу оновлення даних поточного об'єкту на інші об'єкти. Значення параметрів кортежу залежать від семантики проекту, від рівня якості, що очікують отримати від проекту кінцеві користувачів, тобто від терпимість до затримок у відгуках на запити, та від статистики звернень до даних у кожному дата-центрі.

Це дозволить адаптувати геолокацію ресурсів та продуктивність серверів з однаковим рангом несуперечності.

Запропонований протомолекулярний підхід до формування змішаної моделі несуперечності даних збільшує кількість процедур з підготовки даних до розгортання в багатохмарних системах, але його використання дозволить оптимізувати кількість операцій дата-центру, що виконуються для обслуговування даних клієнта, і таким чином знизити вартість таких послуг.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. It_man. 5 трендов виртуализации: чего ожидать в 2018 году / it_man // Хабр. – ТМ, 4 марта 2018. – Режим доступу : https://habr.com/company/it-grad/blog/350356/. – Дата звертання : 07 березня 2018.
2. Возможен ли рост рынка гибридных облаков? Прогноз на период 2014-2021 / Colobridge. – Colobridge, 17 марта 2017. – Режим доступу : https://blog.colobridge.net/2017/03/hybrid-cloud-forecast/. – Дата звертання : 17 березня 2018.
3. it_man 6 трендов ИТ-инфраструктуры: прогноз на 2018 год / it_man // Хабр. – ТМ, 1 ноября 2017. – Режим доступу : https://habr.com/company/it-grad/blog/341374/. – Дата звертання : 07 березня 2018.
4. Орлов С. Многооблачный мир / С. Орлов // Global CIO. Официальный портал ИТ-директоров. – Global CIO, 17 марта 2017. – Режим доступу : http://www.globalcio.ru/workshops/2019/. – Дата звертання : 07 березня 2018.
5. Петерсен С. ИТ-компании много говорят про многооблачность. Что они имеют в виду? / С. Петерсен // itWeek. – СК ПРЕСС, 29 січня 2018. – Режим доступу : https://www.itweek.ru/its/article/detail.php?ID=199326/. – Дата звертання : 07 березня 2018.
6. Облачные вычисления: изменение роли и значения ИТ-подразделения. Облако с точки зрения руководителей / Корпорація Cisco. – Cisco, 2015. – Режим доступу : https://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/cloud/C11-733578-00-Intercloud-WP-v5a-RU.pdf. – Дата звертання : 07 березня 2018.
7. Пресс-релизы 2017. Cisco и Google совместно разрабатывают гибридное облачное решение / Корпорація Cisco. – Cisco, 2017. – Режим доступу : https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/10-27.html. – Дата звертання : 07 березня 2018.
8. Guerzoni R. Analysis of end ‐ to ‐ end multi ‐ domain management and orchestration frameworks for software defined infrastructures: an architectural survey / R. Guerzoni, I. Vaishnavi, D. P. Caparros et al. // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. – 2017. – Vol. 28, № 4. – P.185-204. available at: https://doi.org/10.1002/ett.3103.

9. В Kubernetes 1.10 улучшено агрегирование API, хранение, безопасность и сетевые функции / Компьютерное Обозрение. – Компьютерное Обозрение, 29 березня 2018. – Режим доступу : http://ko.com.ua/v_kubernetes_1_10_uluchsheno_agregirovanie_api_hranenie_bezopasnost_i_setevye_funkcii_124065. – Дата звертання : 07 березня 2018.
10. McClure T. White Paper. Strong Consistency versus Weak Consistency / T. McClure. – Milford : ESG, 2016. – 8 p.
11. Esteves S., Silva J., Veiga L. Quality-of-service for consistency of data geo-replication in cloud computing / S. Esteves, J. Silva, L. Veiga // Proceedings of the 18th International Conference: European Conference on Parallel Processing. – Rhodes Island, Greece: Springer, 2012. – P. 285-297.
12. Yu H. Design and evaluation of a continuous consistency model for replicated services / H. Yu, A. Vahdat // Proceedings of the 4th Conference on Symposium on Operating System Design & Implementation. – 2000. – Vol. 4. – P. 21-35.
13. Data Consistency Properties and the Trade-offs in Commercial Cloud Storage: the Consumers' Perspective / H. Wada, A. Fekete, L. Zhao, K. Lee, A. Liu // Proceedings of the 5th biennial Conference on Innovative Data Systems Research. – 2011. – Vol. 11. – P. 134-143.
14. Таненбаум Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен – СПб.: Питер, 2003. – 877 с.
15. Consistency rationing in the cloud: Pay only when it matters / T. Kraska, M. Hentschel, G. Alonso, D. Kossmann // Proceedings of the VLDB Endowment. – 2009. – Vol. 2, № 1. – P. 253–264.
16. Veiga L. Unifying divergence bounding and locality awareness in replicated systems with vector-field consistency / L. Veiga, A. Negrão, S. Nuno //Journal of Internet Services and Applications. – 2010. – Vol. 1, №. 2. – P. 95-115. available at: https://doi.org/10.1007/s13174-010-0011-x.
17. Sruthymol K.S. Cloud Storage Service with Auditing Cloud Consistency / K.S. Sruthymol, R. Aswathy // International Journal of Modern Trends in Engineering and Research. – 2015. – Vol. 2, № 9. – P. 335-340.
18. Bailis P. Highly available transactions: Virtues and limitations / P. Bailis //Proceedings of the VLDB Endowment. – 2013. – Vol. 7. – № 3. – P. 181-192.
19. Viotti P., Vukolić M. Consistency in non-transactional distributed storage systems / P. Viotti, M. Vukolić //ACM Computing Surveys. – 2016. – Vol. 49, №. 1. – P. 19-64.
20. Li C. Making Geo-Replicated Systems Fast as Possible, Consistent when Necessary / C. Li //OSDI. – 2012. – Vol. 12. – P. 265-278.
21. Easterlin R.A. Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence / R.A. Easterlin // Nations and households in economic growth. – 1974. – P. 89-125.
22. Ramsay J. A psychological investigation of long retrieval times on the World Wide Web / J. Ramsay, A. Barbesi, J. Preece // Interacting with computers. – 1998. – Vol. 10, № 1. – P. 77-86.

REFERENCES

1. It_man (2018), “5 Trends in Virtualization: What to Expect in 2018”, available at : https://habr.com/company/it-grad/blog/350356/ (last accessed March 07, 2018).
2. Colobridge (2017), “Is the hybrid cloud market growing? Forecast for the period 2014-2021“, available at : https://blog.colobridge.net/2017/03/hybrid-cloud-forecast/ (last accessed March 07, 2018).
3. It_man (2017), “6 Trends in IT Infrastructure: Forecast for 2018”, available at: https://habr.com/company/it-grad/blog/341374/ (last accessed March 07, 2018).
4. Orlov, S. (2017), “The multi-cloud world”, available at: http://www.globalcio.ru/workshops/2019/ (last accessed March 07, 2018).
5. Petersen, S. (2018), “IT-companies talk a lot about the multi-clouds. What do they mean?”, available at: https://www.itweek.ru/its/article/detail.php?ID=199326/ (last accessed March 07, 2018).
6. Cisco (2015), “Cloud computing: changing the role and importance of the IT department. Cloud from the point of view of managers”, available at: https://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/cloud/C11-733578-00-Intercloud-WP-v5a-RU.pdf (last accessed March 07, 2018).
7. Cisco (2017), “Press Releases 2017. Cisco and Google jointly develop a hybrid cloud solution”, available at: https://www.cisco.com/c/ru_ru/about/press/press-releases/2017/10-27.html (last accessed March 07, 2018).
8. Guerzoni, R., Vaishnavi I. and Caparros D.P. (2017), “Analysis of end‐to‐end multi‐domain management and orchestration frameworks for software defined infrastructures: an architectural survey”, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Vol. 28, No. 4, pp.185-204, available at: https://doi.org/10.1002/ett.3103.
9. Computer Review (2018), “Aggregation API, storage, security and network functions are improved in Kubernetes 1.10”, available at: http://ko.com.ua/v_kubernetes_1_10_uluchsheno_agregirovanie_api_hranenie_bezopasnost_i_setevye_funkcii_124065 (last accessed March 07, 2018).
10. McClure, T. (2016), *White Paper. Strong Consistency versus Weak Consistency,* ESG, Milford, 8 p.
11. Esteves, S., Silva, J. and Veiga, L. (2012), “Quality-of-service for consistency of data geo-replication in cloud computing”, Proceedings of the 18th International Conference “*European Conference on Parallel Processing*”, pp. 285-297.
12. Yu, H. and Vahdat, A. (2000), “Design and evaluation of a continuous consistency model for replicated services“, Proceedings of the 4th Conference on Symposium “*Operating System Design & Implementation*”, Vol. 4, pp. 21-35.
13. Wada, H., Fekete, A., Zhao, L., Lee, K. and Liu, A. (2011), “Data Consistency Properties and the Trade-offs in Commercial Cloud Storage: the Consumers' Perspective”, Proceedings of the 5th biennial Conference “*Innovative Data Systems Research*”, Vol. 11, pp. 134-143.

14. Tanenbaum, A. and Van Steen, M. (2003), *Distributed systems: principles and paradigms,* Publishing house "Piter", Saint Petersburg, 877 p.
15. Kraska, T., Hentschel, M., Alonso, G. and Kossmann, D. (2009), "Consistency rationing in the cloud: Pay only when it matters", *Proceedings of the VLDB Endowment*, Vol. 2, No. 1, pp. 253–264.
16. Veiga, L., Negrão, A. and Nuno, S. (2010), "Unifying divergence bounding and locality awareness in replicated systems with vector-field consistency", *Journal of Internet Services and Applications*, Vol. 1, No. 2, pp. 95-115, available at: https://doi.org/10.1007/s13174-010-0011-x.
17. Sruthymol, K.S. and Aswathy, R. (2015), "Cloud Storage Service with Auditing Cloud Consistency", *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, Vol. 2, No. 9, pp. 335-340.
18. Bailis, P., Davidson, A., Fekete, A., Ghodsi, A., Hellerstein, J.M. and Stoica, I. (2013), "Highly available transactions: Virtues and limitations", Proceedings of the VLDB Endowment, Vol. 7, No. 3, pp. 181-192.
19. Viotti, P. and Vukolić, M. (2016), "Consistency in non-transactional distributed storage systems", *ACM Computing Surveys*, Vol. 49, No. 1, pp. 19-64.
20. Li, C., Porto, D., Clement, A., Gehrke, J., Preguiça, N. and Rodrigues, R. (2012), "Making Geo-Replicated Systems Fast as Possible, Consistent when Necessary", Proceedings of the 10th USENIX conference *"Operating Systems Design and Implementation"*, Vol. 12, pp. 265-278.
21. Easterlin, R.A. (1974), "Does economic growth improve the human lot? Some empirical evidence", *Nations and households in economic growth*, pp. 89-125.
22. Ramsay, J., Barbesi, A., Preece, J. (1998), "A psychological investigation of long retrieval times on the World Wide Web", *Interacting with computers*, Vol. 10, No. 1, pp. 77-86.

Received (Надійшла) 23.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

Смешанная непротиворечивость данных в многооблачных системах

О.А. Козина, Н.К. Стратиенко

В многооблачных системах остается проблемой поддержание адаптивного уровня согласованности данных, когда они расположены в дата-центрах различных владельцев, поэтому **предметом** изучения в статье является смешанная непротиворечивость данных такого рода проектов. Известные модели непротиворечивости данных, основанные на предположении, что не для всех данных необходим одинаковый уровень строгости непротиворечивости, не обладают общностью парадигмы, позволяющей использовать их для многооблачных систем. **Целью** работы является разработка адаптивной модели смешанной непротиворечивости. **Задача,** решаемая в статье: формализовать процедуру формирования многослойной вложенной карты непротиворечивости данных, расположенных в облачных системах различных владельцев. Используемыми **методами** являются: протомолекулярный подход, графовый метод, математическое моделирование. Получены следующие **результаты:** протомолекулярный подход позволил сформировать модель многослойной карты непротиворечивости данных. Разработана метрика для каждой неделимой единицы модели, представляющая собой кортеж из ранга непротиворечивости, интервала изменения ранга и степени влияния обновления. При построении модели учтена возможность управления разработчиками проекта необходимой степенью строгости непротиворечивости данных в зависимости от семантики проекта. Предусмотрена возможность автоматической динамической адаптации степени строгости непротиворечивости данных в процессе функционирования проекта. **Выводы:** Научная новизна полученных результатов состоит в разработанном протомолекулярном подходе к формированию многослойной карты непротиворечивости данных, расположенных в дата-центрах различных владельцев облачных сервисов. Создание и поддержание предложенной адаптивной модели смешанной непротиворечивости данных требует дополнительных действий от разработчиков при размещении и поддержке данных в многоооблачной системе, но позволяет снизить стоимость поддержания облачных сервисов.

Ключевые слова: многооблачность; смешанная непротиворечивость; карта непротиворечивости проекта.

Mixed consistency of the data in multicloud systems

O. Kozina, N. Stratiienko

In multi-cloud systems, supporting of an adaptive level of consistency of data when they are located in data centers of different owners remains a problem that is why the subject of study in the article is the mixed consistency of the data of such projects. Known consistency models based on the assumption that not all data have to the same level of consistency haven't got a common paradigm allowing to be used them for multicloud systems. The **goal** of the work is to develop an adaptive model of mixed consistency. The task to be solved is to formalize the procedure for forming a multi-layered nested map of consistency of the data located in different owner's cloud systems. The **methods** used are the protomolecular approach, graph theoretic methods, mathematical modeling. The following **results** were obtained: the protomolecular approach has allowed to forming a model of an multi-layered map of consistency of the data. The metric for each undivided unit of the model, which is a cortege from the consistency rank, from the interval of the rank change and from the degree of update influence is developed. Proposed model gives ability of management of necessary strength of data consistency by developers according to semantic of a project. The ability of automatic dynamic adaptation of strength degree of data consistency during functioning of the project is considered. **Conclusions**. The scientific novelty of the results obtained is as follows: the model of mixed consistency of the data located in cloud systems of different owners was proposed by defining the protomolecular approach. Creation and maintenance of the proposed adaptive mixed model of the data consistency requires additional actions from developers during deploying and maintaining data in a multi-cloud system, but it allows to reduce the cost of cloud services maintaining.

Keywords: multi-cloud; mixed consistency; map of consistency of the project.

УДК 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.05**

М. А. Скулиш

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ОБСЯГУ РЕСУРСІВ ВІРТУАЛЬНОГО ВУЗЛА ОБСЛУГОВУВАННЯ

В статті досліджується робота системи онлайн тарифікації, а саме функціонування Diameter-серверу. Розглянута можливість розширення системи обслуговування за рахунок залучення додаткових обчислювальних ресурсів організованих за хмарною технологією. **Метою** дослідження є розрахунок оптимальних параметрів серверу обслуговування, а саме обчислювальних ресурсів (пам'яті оперативної та дискової, процесорного часу, ресурсу системи вводу та виводу) для забезпечення обслуговування потоку запитів на тарифікацію на заданому рівні якості, а саме контроль втрат та затримок у обслуговуванні. **Висновки**. Запропонована математична модель задачі вибору потужності обслуговуючого пристрою, де обслуговування здійснюється на заданому рівні якості. На відміну від існуючих підходів щодо балансування навантаження, коли для забезпечення зростаючого навантаження додається додаткові обслуговуючі пристрої, між якими виконується балансування запитів, запропонована модель дозволяє врахувати масштабованість ресурсів вузлів обслуговування побудованих за технологією хмарних обчислень. Запропонована модель дозволяє розрахувати параметри Diameter-серверу для обслуговування вхідного потоку та забезпечити зменшення середньої затримки в обслуговуванні запиту та мінімізацію витрат, пов'язаних з перевантаженням серверу обслуговування.

Ключові слова: керування ресурсами мережі; прогнозування навантаження; динамічний розподіл ресурсів; віртуалізація мережевих ресурсів; система онлайн тарифікації.

Вступ та постановка завдання

Забезпечення роботи телекомунікаційних систем невід'ємно пов'язане з роботою систем тарифікації послуг. Проблема тарифікації гостро постає як перед операторами зв'язку, так і перед провайдерами різноманітних послуг. Головною складністю таких системи є значна кількість абонентів, які мають одночасно отримати розрахунок. Крім того, процес ускладнюється через різні процедури тарифікації, які передбачені для різних типів послуг.

Спектр послуг і обсяги трафіку, який передається, поступово розширюються [1, 10, 11], що призводить до постійного збільшення ресурсів, необхідних для обробки різних типів заявок, які надходять в системи оператора. Отже, метод оптимального вибору обчислювальних ресурсів для обслуговування змінного навантаження білінгових систем оператора є актуальним завданням. Розрахунок плати за послуги вимагає багатоетапних процедур для визначення їх вартості, що, як наслідок, призводить до збільшення навантаження на систему тарифів, а саме:

• низька ефективність послуги дзвінків;

• погіршення як гнучкості, так і ефективності тарифних підходів;

• неможливість гарантувати якість обслуговування.

Значна кількість робіт та підходів присвячена контролю якості обслуговування абонентів. Розробляються методи забезпечення показників якості в процесі передачі інформації на різних етапах обслуговування (доступ до мережі, організація транспорту інформаційного потоку) [2, 3, 13], частина робіт присвячено забезпеченню ефективної тарифікації, при цьому розглядаються питання розробки правил PCC, в яких задається політика обслуговування індивідуально для кожного типу сервісу залежно від тарифного плану [1, 4-6, 12, 13]. Роботи [7-9] присвячені оптимізації білінгових систем пов'язані з дисципліною обслуговування направлених на диференціацію вхідного потоку та створення нових правил послідовності тарифікації абонентів.

Однак, для операторів зв'язку достатньо гостро постає проблема перевищення часу обслуговування заявки саме на сервері тарифікації, оскільки не враховується принцип розподілу ресурсів технічних засобів, що у періоди пікових навантажень є критичними для якості обслуговування. Вирішення цієї проблеми може полягати у залученні до обслуговування додаткових орендованих технічних ресурсів. Які у моменти пікових навантажень будуть динамічно долучатися до обробки заявок на тарифікацію. Це дозволить уникнути втрат, які пов'язані з перевищенням часу очікування заявки на тарифікацію через дефіцит технічних ресурсів системи. Перевищення допустимої тривалості обслуговування призводить до відхилення виклику, відповідно до економічних втрат та зниження репутації компанії.

Внаслідок цього є актуальною науково-технічна задача планування кількості ресурсів додаткового серверу при динамічному залученні ресурсів для забезпечення безперебійного процесу тарифікації підсистемами системи OCS, яка б враховувала потреби у технічних ресурсах системи тарифікації та навантаження, яке створюється різними типами послуг та включала відповідні механізми розрахунку необхідної кількості ресурсів для статистичних даних за тривалий період часу, а також поточну динаміку вхідного потоку, що дозволило б подолати описані вище недоліки.

Аналіз моделі обслуговування запитів на тарифікацію

Описані завдання є технічно складними в зв'язку з різноманітністю мережевих елементів у мобільного оператора і різноманіттям тарифів і послуг.

Для вирішення таких завдань, сучасні білінгові системи інтегруються в мультисервісні телекомунікаційні мережі зв'язку нового покоління NGN (New Generation Network) за технологією IMS (IP Multimedia Subsystem). Тому підтримка відкритих стандартів 3GPP для взаємодії білінгової системи з елементами мережі оператора зв'язку набуває особливого значення. Відкриті стандарти 3GPP описують вузли IMS мережі, інтерфейси взаємодії між ними і дають рекомендації, які протоколи використовувати в якості цих інтерфейсів. Така логіка дозволяє в міру розвитку протоколів змінювати рекомендації, але архітектуру мережі залишати без зміни.

Із зовнішніми елементами мережі оператора зв'язку сучасна білінгова система взаємодіє по інтерфейсу Ro (для on-line) і Rf (для off-line). Інтерфейс Ro базується на IETF Credit Control Application (RFC 4006) [14] і використовує команди Diameter протоколу Credit-Control Request / Answer (CCR / CCA). Інтерфейс Rf базується на функціональності IETF-diameter base (RFC 3588) [15]. Rf використовує команди Diameter протоколу Accounting Request / Answer ACR / ACA.

Завдяки використанню стандартних протоколів білінгу, оператор мобільного зв'язку може змінити логіку контролю активності абонента, обмежуючись базовими змінами на рівні протоколу і адапацією тарифних планів в білінговій системі. Такі параметри, вироблені на стороні білінгової системи, називаються білінговою моделлю.

Білінгова модель - це модель розрахунку, по якій відбувається обчислення тарифного плану спричиненої абонентом активності, розрахунку її вартості та подальшого дозволу чи заборони на активність абонента.

У даній роботі буде розглянута білінгова підсистема, яка обслуговує потоки викликів тарифікації інтернет-трафіку і її білінгова модель, яка використовує інтерфейс Ro і протокол Diameter для підключення до зовнішніх систем оператора.

Після визначення базових особливостей протоколу Diameter слід описати внутрішню конфігурацію білінгової моделі, яка здійснюється на стороні білінгової системи.

Білінгова модель створюється за допомогою спеціального додатку званого CATALOG GUI (Catalog DB Graphical User Interface) і зберігається в окрему базу даних PACT DB (Product Catalog Database), з якої її завантажують Diameter-сервера білінгової системи (DOCS), які здійснюють контроль сесій і тарифікацію дзвінка.

Під час виклику термінальний пристрій абонента через базову мережу оператора здійснює підключення до Diameter-клієнта (в якості якого може виступати медійний сервер або GGSN), клієнт, в свою чергу, через мережу Diameter з'єднується з Diameter сервером, який здійснює тарифікацію дзвінка на основі завантажених даних з CATALOG бази даних, що додані оператором білінгової системи за допомогою програми CATALOG GUI (рис. 1).

База даних CATALOG DB може містити велику кількість версій різних білінгових моделей, але в один проміжок часу доступна тільки одна - активна білінгова модель.

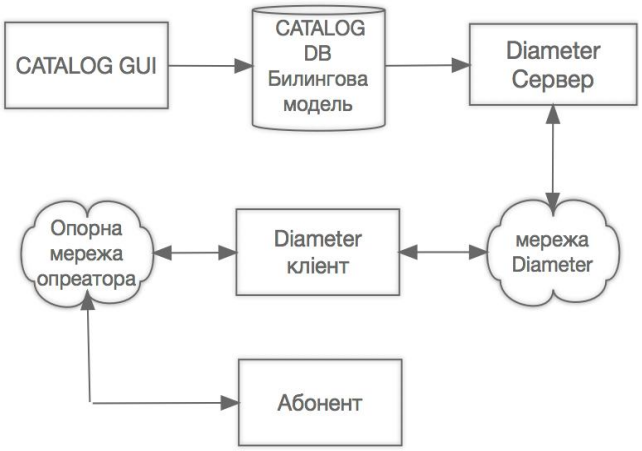


Рис. 1. Взаємодія білінгової моделі

Якщо оператор білінгової системи робить зміни в білінговій моделі, додаючи нові тарифні плани або змінюючи будь-які механізми тарифікації, CATALOG GUI створює зліпок поточної білінгової моделі, як тимчасову, неактивну білінгову версію, в якій доступні будь-які зміни. Після закінчення змін оператор білінгової системи застосовує нову білінгову модель, яка автоматично, або за допомогою планувальника в спеціально заданий час завантажується на всі Diameter сервери, які здійснюють контроль і тарифікацію викликів абонентів. Попередня білінгова модель визначається застарілою і відправляється в спеціальну архівну базу даних (з якої оператор білінгової системи може відновити її в будь-який час за допомогою утиліти CATALOG GUI).

Розглянемо реальну сесію абонента, встановлену між Diameter-клієнтом і Diameter-сервером в білінговій системі. Сесія буде встановлена на дві різні інтренет-активності:

- Безкоштовний доступ до порталу оператора, здійснюється за рейтинговою групою 300 (RG 300)
- Звичайний платний доступ до інтернету, здійснюється за рейтинговою групою 100 (RG 100)

В даному випадку буде встановлена одна сесія, в рамках якої будуть організовані дві сабсессії від Diameter-клієнта до Diameter-сервера. Кожна сабсессія буде використовувати свій власний баланс:

- RG 300 – монетарний баланс без списання реальних коштів.
- RG 100 – монетарний баланс зі списанням коштів з основного балансу абонентського рахунку.

Обидві сабсессії матимуть окремі резервації, відкриті до абонентської бази даних.

Під час активності сесії абонент закриває безкоштовний URL, який обслуговується сабсесією за рейтинг-групою RG 300, але продовжує використовувати звичайний інтернет, що обслуговується за рейтинг-групою RG 1000.

У процесі використання звичайного інтернету у абонента закінчуються кошти на основному рахунку, і сесія закривається. Описану сесію схематично зображено на рис. 2.

Як бачимо, процес тарифікації є багатоетапним. На якість обслуговування заявок на тарифікацію значний вплив має швидкість обробки заявок, яка залежить від технічних засобів, що здійснюють обслуговування. Тому необхідно знати, які потужності технічних ресурсів потрібні для обслуговування вхідного потоку заявок на тарифікацію в той чи інший період часу.

Необхідно врахувати як загальну кількість ресурсів, що обслуговує сервер в цілому, так і потреби у потужностях кожної з підсистем, оскільки з метою забезпечення успішного функціонування системи може виникнути потреба перегрупування технічних ресурсів для забезпечення ефективного обслуговування.

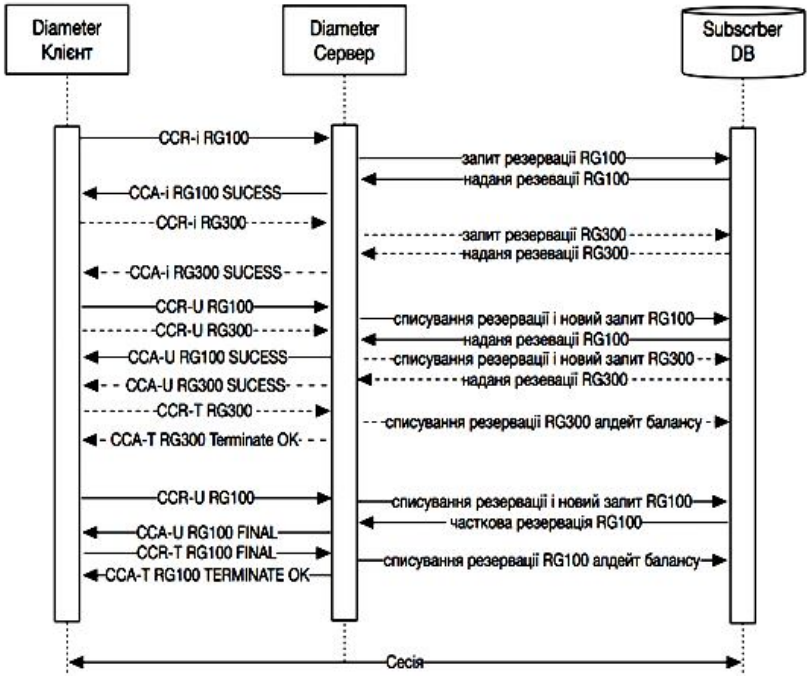


Рис. 2. Сесія тарифікації інтернет трафіку

Обслуговування заявок на орендованому хмарному сервері

Віртуальний сервер (або Cloud Server) - це повноцінна інфраструктура, побудована за моделлю хмарних обчислень (cloud computing).

На відміну від моделі зберігання даних на власних виділених серверах, у випадку використання віртуальних серверів, їх структура і кількість в загальному випадку не видна користувачеві. Вся інформація зберігається і обробляється у хмарі, яка являє собою, з точки зору клієнта, один великий віртуальний сервер. На сьогоднішній день велика кількість компаній надає таку послугу як оренда серверу у хмарі.

Основні переваги віртуальних серверів:

Гнучкість ресурсів. Оренда сервера у хмарі дозволяє забезпечити його високу масштабованість. Такий сервер легко налаштовується під збільшення навантаження, наприклад, можна легко додати оперативної пам'яті або дискового простору. Так само легко можна зменшити дані параметри віртуальної системи. Сервер стає «резиновим» у відношенні своїх ресурсів.

Швидкодія. Віртуальний сервер працює значно швидше ніж звичайний, а також знижуються часові затрати на впровадження і оперативний перерозподіл ресурсів. Висока швидкість розгортання системи.

Безпека. На віртуальному сервері клієнт має можливість власноручно контролювати користувачів, процеси, а також використовувати власну політику безпеки. Підвищення рівня безпеки Cloud Server відбувається також за рахунок зведення до мінімуму «людського фактору».

Мобільність. Доступ до серверу можна отримати з будь-якої точки земної кулі.

Хмарне зберігання розвивається в трьох напрямах, один з яких допускає злиття двох інших для досягнення економічної ефективності і безпеки (рис. 3).

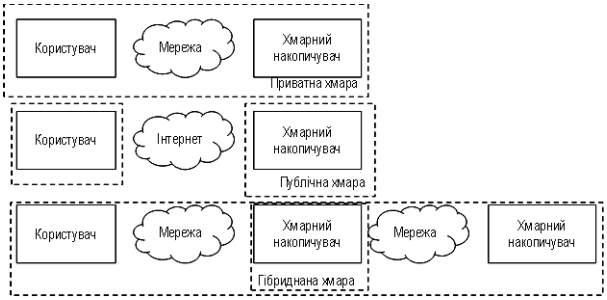


Рис. 3. Моделі зберігання даних у хмарах

Так само віртуальні сервери можна використовувати для обслуговування і тарифікації викликів. Це може значно спростити процес розподілу ресурсів на сервері, забезпечить його масштабованість, підвищить безпеку і відмовостійкість. Віртуальний сервер може бути використаний трьома способами. По-перше, він може бути додатком до основного фізичного сервера і використовуватись коли виникає потреба у збільшенні кількості ресурсів при збільшенні навантаження. В такій конфігурації вся логіка серверу реалізована у хмарі. В другому варіанті все обладнання для обслуговування і тарифікації викликів може розміщуватись у хмарі. В такому випадку фізичний сервер взагалі не потрібен і процес обслуговування запитів буде повністю проходити на віртуальному сервері. В третьому випадку у хмарі можуть знаходитися окремі ресурсозатратні підсистеми або частини підсистем, організація взаємодії яких є окремою мережевою задачею.

Наведені вище способи значно розширюють можливості технічного забезпечення системи онлайн тарифікації.

Запропонований метод

Задача вибору потужності вузла обслуговування набуває особливої ваги при плануванні процесів

обслуговування гібридних телекомунікаційних сервісів, оскільки вирішує проблему розрахунку кількості обчислювальних ресурсів для обслуговування нестаціонарного потоку.

Розрахунок ресурсів обслуговування необхідно проводити для кожного віртуального вузла обслуговування, на основі даних про інтенсивність надходження заявок. При розрахунку інтенсивність надходження покладається як величина з незмінюваним середнім значенням. Потік задач складається з різних запитів, визначених протоколами взаємодії вузла обслуговування.

Вхідні дані:

• λ – середнє значення проміжків часу між моментами надходження замовлень,

• n – кількість заявок, які можуть одночасно обслуговуватися у віртуальному вузлі.

• v^g – кількість обчислювального ресурсу g-го типу, який використовується для обслуговування однієї заявки.

• *a, b* – верхня та нижня границя завантаженості системи обслуговування,

• *R* – задане експертами значення, який показує долю часу роботи системи без черги.

• V^g – загальна кількість ресурсу g -го типу, яка доступна у вузлі обслуговування

Вихідні дані:

• μ – вектор інтенсивностей обслуговування заявок, елемент вектору μ_k відповідає інтенсивності обслуговування, якщо у системі є *k* заявок, $k = \overline{1,n}$.

Основна задача: мінімізувати ресурси, які використовуються для обслуговування заявок у системі.

Була запропонована математична модель задачі вибору потужності вузла обслуговування, яка враховує ергодичний розподіл ймовірностей одночасного перебування у системі k-заявок. Також враховується залежність інтенсивності обслуговування від кількості заявок, які обслуговуються одночасно. Задача полягає у пошуку такого розподілу інтенсивностей обслуговування, який би мінімізував загальну кількість ресурсів, що використовуються для обслуговування, утримував завантаженість системи у заданих межах, а також забезпечувала роботу системи без затримки із заданою ймовірністю.

Для вирішення задачі будуть застосовані формули для розрахунку ергодичного розподілу :

$$p_k = p_0 \prod_{i=1}^{k} \alpha_i \,, \; (k = \overline{1,n});$$

$$p_k = p_0 \gamma_n^k \prod_{i=1}^{n} \alpha_i \,, \; (k = \overline{1,m});$$

$$p_0 = \left(1 + \sum_{k=1}^{n} \prod_{i=1}^{n} \alpha_i + \frac{\gamma_n}{1-\gamma_n} \prod_{i=1}^{n} \alpha_i \right)^{-1},$$

де $\alpha_k = \lambda / (k\mu_k)$, $\gamma_k = \lambda / (n\mu_k)$.

Цільова функція буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^{n} i v^g p_i + n v^g \sum_{i=n+1}^{m} p_i \to \min,$$

функція неперервні відносно змінних $\{\mu_1, \mu_k, .., \mu_n\}$, при обмеженнях:

$$\begin{cases} 4 * \left(\sum_{i=1}^{n} i v^g p_i + n v^g \sum_{i=n+1}^{m} p_i \right) \le V^g, \forall g; \\ \frac{\lambda}{a} \ge \mu_i, \frac{\lambda}{b} \ge \mu_i; \quad \sum_{i=1}^{n} p_i = R. \end{cases}$$

Отже, в результаті розв'язку оптимізаційної задачі буде отримано набір значень інтенсивності обслуговування відповідно до яких можуть бути розраховані ресурси системи обслуговування в залежності.

Проведення експерименту

Експеримент було проведено у 2 етапи. У системі Matlab було розроблено функцію и розрахунку вектора μk. Для розв'язку задачі нелінійного програмування в процесі моделювання використовувалася функція Matlab fmincon, яка здійснює ітераційний пошук, починаючи з початкового значення, який зупиняється при наближенні до оптимального значення із заданою похибкою, що цілком відповідає поставленому завданню. В якості вхідних даних було використано статистичні дані навантаження на Diameter-сервер українського оператору зв'язку.

Протягом доби інтенсивність навантаження змінюється, було виконано розрахунок для середнього значення проміжків часу між моментами надходження замовлень для різних періодів доби.

Для оцінки ефективності використання ресурсів було розроблено модель системи обслуговування в пакеті GPSS. Обслуговування потоку запитів із заданими статистичними характеристиками здійснювалось у вузлі обслуговування з обмеженим ресурсом. Загальна кількість ресурсу у поточний час визначалася як функція від μ_k, що залежить від кількості запитів, які перебувають у системі. Для моделювання використовувалася лінійна функція залежності ресурсу, який виділяється, від μ_k.

В результаті моделювання спостерігалося зменшення втрат запитів через перевищення допустимого часу очікування обслуговування на 5%, а також зменшення середнього часу затримки в обслуговування запиту на 8% за рахунок оптимального вибору ресурсів обслуговування залежно від кількості запитів, які перебувають на обслуговувані в системі.

Висновки

Запропоновано математичну модель задачі вибору потужності обслуговуючого пристрою, де обслуговування здійснюється на заданому рівні якості. На відміну від існуючих підходів щодо балансування навантаження, коли для забезпечення зростаючого навантаження додаються додаткові обслуговуючі пристрої, між якими виконується балансування запитів, запропонована модель дозволяє врахувати масштабованість ресурсів вузлів обслуговування побудованих за технологією хмарних обчислень. Запропонована модель дозволяє розрахувати параметри Diameter-серверу для обслуговування вхідного потоку та забезпечити зменшення середньої затримки в обслуговуванні запиту та мінімізацію втрат, пов'язаних з перевантаженням серверу обслуговування.

REFERENCES

1. Chaitanya, T.V.K. and Larsson, E.G. (2013), “Improving 3GPP-LTE uplink control signaling performance using complex-field coding”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 62, No. 1, pp. 161-171.
2. Ghosh, A., Ratasuk, R., Mondal, B., Mangalvedhe, N. and Thomas T. (2010),, “LTE-advanced: next-generation wireless broadband technology”, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 17, No. 3, pp. 10-22.
3. Li, X., Bigos, W., Dulas, D., Chen, Y., Toseef, U., Goerg, C., Timm-Giel, A. and Klug A. (2011), “Dimensioning of the LTE Access Network for the Transport Network Delay QoS”, *Vehicular Technology Conf. (VTC Spring)*, IEEE 73rd, pp. 1-7.
4. Costa-Requena, J. (2014), “SDN integration in LTE mobile backhaul networks”, *Information Networking (ICOIN)*, International Conference 10-12 Feb. 2014, pp. 264-269.
5. Wei-Ching Ho, Li-Ping Tung, Tain-Sao Chang and Kai-Ten Feng (2013), “Enhanced component carrier selection and power allocation in LTE-advanced downlink systems”, *Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 574-579
6. Nuaymi, L., Sato, I. and Bouabdallah, A. (2012), “Improving Radio Resource Usage with Suitable Policy and Charging Control in LTE”, *Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST)*, 6th Int. Conference, pp. 158-163.
7. Ouellette, S., Marchand, L. and Pierre, Samuel (2011), “A potential evolution of the policy and charging control/QoS architecture for the 3GPP IETF-based evolved packet core”, *Communications Magazine*, IEEE, pp. 231-239.
8. Sok-Ian Sou, Jeu-Yih Jeng and Yinman Lee (2009), “Signaling overhead of Policy and online Charging Control for bearer sessions in LTE network”, *Consumer Electronics*, 2009. ISCE '09. IEEE 13th International Symposium, 2009, pp. 593-597.
9. Malandrino, Francesco, Casetti, Claudio and Chiasserini, Carla-Fabiana (2014), “LTE offloading: When 3GPP policies are just enough”, *Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, 11th Annual Conference, pp. 1-8.
10. Cuevas, Antonio Moreno, Jose Ignacio and Einsiedler Hans (2006), “IMS Service Platform: A Solution for Next-Generation Network Operators to Be More than Bit Pipes”, *IEEE Communication Magazine*, pp. 75-81.
11. Syed, A. Ahson and Mohammed, Ilyas (2009), *IP Multimedia subsystem (IMS) handbook*, CRC Press, 250 p.
12. Globa, L., Dyadenko, A. and Reverchuk, A. (2009), “The charging problems in mobile service deployment”, *EUROCON 2009 The IEE Region 8 Conference devoted to 150 Anniversary of Alexander Popov*, Saint Petersburg, Russia.
13. Globa, Larisa and Slukysh, Mariia (2011), “Nodal routing with traffic classification”, *Polish association for knowledge management. Series: Studies&Proceedings*, No.42, pp 37-46.
14. Hakala, Harri, Mattila, Leena, Koskinen, Juha-Pekka, Stura, Marco and Loughney, John (2005), *RFC 4006 Diameter Credit-Control Application August 2005*, available at: https://tools.ietf.org/html/rfc4006 (last accessed February 4, 2018).
15. Calhoun, Pat R., Loughney, John, Arkko, Jari, Guttman, Erik and Zorn, Glen (2003), *RFC 3588 Diameter Base Protocol. September 2003*, available at: https://tools.ietf.org/html/rfc3588 (last accessed February 4, 2018).

Received (Надійшла) 14.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

Математическая модель поиска оптимального объёма ресурсов виртуального устройства обслуживания

М. А. Скулиш

В статье исследуется работа системы онлайн тарификации, а именно функционирование Diameter-сервера. Рассмотрена возможность расширения системы обслуживания за счет привлечения дополнительных вычислительных ресурсов, организованных по облачной технологии. **Целью** исследования является расчет оптимальных параметров сервера обслуживания, а именно вычислительных ресурсов (памяти оперативной и дисковой, процессорного времени, ресурса системы ввода и вывода) для обеспечения обслуживания потока запросов на тарификацию на заданном уровне качества, а именно контроль потерь и задержек в обслуживании. **Выводы**. Предложена математическая модель задачи выбора мощности обслуживающего устройства, где обслуживание осуществляется на заданном уровне качества. В отличие от существующих подходов к балансировке нагрузки, когда для обеспечения возрастающей нагрузки добавляется дополнительные обслуживающие устройства, между которыми выполняется балансировка запросов, предложенная модель позволяет учесть масштабируемость ресурсов узлов обслуживания построенных по технологии облачных вычислений. Предложенная модель позволяет рассчитать параметры Diameter-сервера для обслуживания входящего потока и обеспечить уменьшение средней задержки в обслуживании запроса и минимизацию потерь, связанных с перегрузкой сервера обслуживания.

Ключевые слова: управление ресурсами сети; прогнозирование нагрузки; динамическое распределение ресурсов, виртуализация сетевых ресурсов, система онлайн тарификации.

Mathematical model for searching the optimal resources size for the virtual service node

M. Skulysh

In the article the work of the on-line charging system namely the functioning of the Diameter-server is investigated. Considered the possibility of expanding the system of service by attracting additional computational resources organized according to the cloud technology. **The purpose** of the study is to calculate the optimal parameters of the service server, namely computing resources such as operational and disk memory, processor time, resource of the input and output system, to service the billing request flows at a given level of quality, such QoS parameters as control of losses and delays in maintenance. **Conclusions.** The mathematical model of the task of choosing the power of the servicing device, where maintenance is carried out at a given level of quality, is proposed. Unlike the existing load balancing approaches, when additional maintenance devices are added between the queue balancing, to provide increased load, the proposed model allows for the scalability of the resources of service nodes built on cloud computing technology to be taken into account. The proposed model allows to calculate the parameters of the Diameter-server for servicing the input stream and to provide a reduction of the average delay in service of the request and minimize the losses associated with the overload server service.

Keywords: network resource management; load forecasting; resource dynamic allocation; virtualization of network resources; on-line tariffing system.

УДК 004.6 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.06**

О. С. Улічев, Є. В. Мелешко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

ПРОГРАМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ ВПЛИВІВ У ВІРТУАЛЬНИХ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Предметом вивчення у статті є процес поширення інформаційно-психологічних впливів у віртуальних соціальних мережах. **Метою** є розробка програмної моделі поширення інформаційно-психологічних впливів у сегментах віртуальної соціальної мережі. **Завдання:** розробити програмну модель для визначення того, як впливає структура соціальної мережі та властивості і ролі її користувачів на швидкість поширення інформаційно-психологічних впливів, а також визначити ефективність різних стратегій поширення інформаційно-психологічних впливів. Використовуваними **методами** є: теорія графів, теорія множин, теорія ймовірностей, об'єктно-орієнтоване програмування. Отримані такі **результати:** розроблено програмну модель поширення інформаційно-психологічних впливів у сегментах соціальної мережі, за допомогою якої здійснено моделювання різних стратегій поширення інформації та здійснено порівняння їх ефективності. **Висновки.** Розроблену програмну модель можна використовувати для прогнозування наслідків поширення інформаційно-психологічних впливів у сегментах соціальної мережі при застосуванні різних стратегій поширення інформації під час інформаційних операцій або інформаційних війн. Було проведено моделювання різних стратегій поширення інформації, зокрема, запропонованих стратегії «кущ» та стратегії «дерево». Як показали результати моделювання, ефективність стратегії можна підвищити використовуючи багатокритеріальні функції аналізу вузлів для вибору найбільш вдалого вузла для атаки. **Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному: розроблено програмну модель поширення інформаційно-психологічних впливів у віртуальних соціальних мережах, яка на відміну від існуючих дозволяє враховувати структуру соціальної мережі, ролі і характеристики користувачів та накопичувальний вплив однотипних повідомлень, а також дозволяє генерувати соціальну мережу з наперед заданими структурними характеристиками.

Ключові слова: інформаційно-психологічні впливи; соціальні мережі; інформаційна безпека; поширення інформації; моделювання соціальної мережі; моделювання інформаційно-психологічних впливів.

Вступ

У сучасному світі однією з головних загроз інформаційній безпеці держави є інформаційно-психологічні впливи через засоби масової інформації, соціальні медіа, тощо [1]. На відміну від інформаційних впливів (або інформаційно-кібернетичних, інформаційно-технічних), які направлені на інформаційні ресурси, інформаційно-психологічні впливи направлені на свідомість та підсвідомість людей.

Інформаційно-психологічний вплив – вплив інформацією, що має на меті формування певних ідей, поглядів, уявлень, переконань; одночасно він викликає у людей позитивні або негативні емоції, почуття і навіть бурхливі масові реакції [2, 3].

Оскільки соціальні мережі є одним з каналів поширення інформаційно-психологічних впливів, актуальною є задача дослідження стратегій поширення таких впливів соціальними мережами для розробки методів моніторингу соціальних мереж і протидії інформаційно-психологічним загрозам.

Одним з інструментів таких досліджень є математичні та програмні моделі соціальних мереж та моделі впливу у соціальних мережах. На даний час існують наступні методи моделювання соціальних мереж [4]: моделі випадкових графів, кооперативні теоретико-ігрові моделі, некооперативні теоретико-ігрові моделі. До основних відомих на сьогоднішній день математичних моделей впливу у соціальних мережах відносяться [5]: моделі з порогами, моделі незалежних каскадів, моделі просочування і ураження, моделі Ізинга, моделі на основі клітинних автоматів, моделі на основі ланцюгів Маркова, моделі взаємної інформованості, моделі узгоджених колективних дій, моделі комунікацій, моделі стабільності мережі, моделі інформаційного впливу та управління, моделі інформаційного протиборства. Існуючі моделі впливу у соціальних мережах не дозволяють одночасно враховувати структуру мережі, ролі користувачів, різні психологічні характеристики користувачів та накопичувальний вплив однотипних повідомлень.

Метою даної роботи є розробка програмної моделі поширення інформаційно-психологічних впливів під час інформаційних операцій та інформаційних війн у віртуальній соціальній мережі, що дозволяє враховувати структуру соціальної мережі, ролі і характеристики користувачів та накопичувальний вплив однотипних повідомлень, а також дозволяє генерувати соціальну мережу з наперед заданими структурними характеристиками.

Основна частина

В розробленій програмній моделі соціальна мережа представлена у вигляді графу, вузлами якого є користувачі мережі та агенти впливу, а ребрами – канали зв'язку між ними, що роблять можливим діалог між двома вузлами, а отже і передачу повідомлень з інформаційно-психологічним впливом [6]. Соціальну мережу пропонується розглядати як набір певних підграфів, зокрема, груп, клік, кланів, лідерських груп, тощо [7- 9]. Мережу можна генерувати автоматично та створювати вручну. При автоматичному генеруванні мережі можна задавати її параметри, наприклад такі, як кількість кластерів, тип кластерів (група, кліка і т.д.), тощо.

В розробленій програмній моделі було визначено такі властивості вузла мережі – користувача:

Active – активність користувача, кількість активних діалогів (звернень до інших користувачів) за одну ітерацію моделі.

Reputation – репутація користувача, сила впливу інформаційного посилу, сила переконання.

Opposite – недовіра користувача, інформаційний спротив, критичність по відношенню до ідеї, що розповсюджується.

Involvement – ступінь залученості до ідеї / рівень довіри.

У основного класу моделі «Користувач» пропонується розглядати співвідношення показників: «репутація» атакуючого вузла і «інформаційний спротив» атакованого.

Мета введення цих параметрів – наблизити модель до реальності. Адже отримуючи одну і ту ж інформацію від різних адресатів, для кінцевого одержувача вона має різну інформаційну вагу. Чим більше одержувач довіряє відправнику – тим вагомішим для нього є повідомлення. Інформаційну вагу (ІВ) пропонується визначати як коефіцієнт, що отримується з відношення:

$$ІВ = Репутація / недовіра. \quad (1)$$

Серед множини вузлів мережі варто виділити генераторів ідеї – вузли, що активно поширюють інформаційно-психологічний вплив α. Генератор характеризується максимальним рівнем залученості до ідеї α, високим рівнем впливу та активності.

Ступінь залученості до ідеї (рівень довіри) вирішено розглядати найпростіший – лінійний варіант даної функції.

«Залученість до ідеї» – це деяка накопичувальна характеристика, функція від кількості однорідних інформаційних повідомлень, що надійшли до користувача від інших вузлів мережі. У першому наближенні моделі розглядаємо кусково-лінійну функцію. Дана функція повинна залежати від психологічних характеристик особистості, на яку здійснюють вплив, в рамках даної програмної моделі зупинимося на лінійній функції з плаваючим динамічним коефіцієнтом (рис. 1).

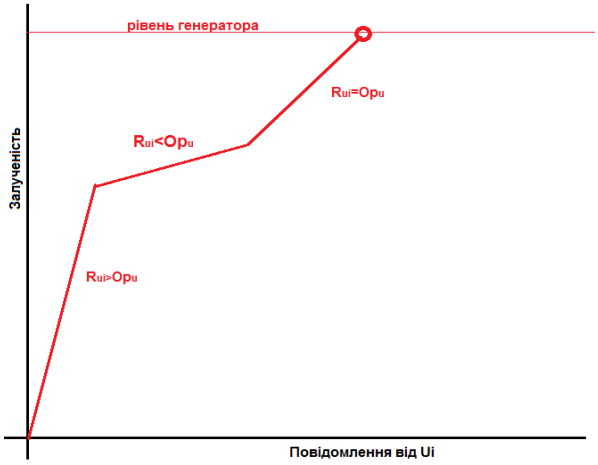


Рис. 1. Вплив характеристик атакуючого і атакованого вузла на ступінь залученості до ідеї атакованого, де R_{ui} – сила переконання атакуючого, O_{pu} – інформаційний спротив жертви

Так як в даному дослідженні не розглядається вплив генераторів контрідеї, то функція, що визначає рівень «залученості» буде монотонно не спадаючою, а максимальне значення – це рівень генератора ідеї, вузол сам стає генератором і починає розповсюджувати ідею по мережі.

Генератор ідеї першого рівня – джерело ідеї. Коритсувачі, що стали повністю залученими до ідеї (значення їх параметру Involvement стало максимальним), стають генераторами ідеї наступних рівнів.

Розповсюдження інформаційно-психологічних впливів у соціальній мережі може відбуватися за різними стратегіями. Агенти впливу (генератори ідеї) можуть використовувати різні поведінкові стратегії, з метою впливу на користувачів соціальної мережі. Поведінкова стратегія генератора ідеї може бути представлена як:

$$\left\langle F(P_1, P_2, ..., P_i) \mid U_g \right\rangle, \quad (2)$$

де $F(P_1, P_2, ..., P_i)$ – функція, що визначає поведінкову стратегію; U_g – множина доступних генератору вузлів, тобто – підмножина вузлів всієї мережі, що входить до кола спілкування генератора; $P_1, P_2, ..., P_i$ – набір поведінкових критеріїв.

Функція $F(P_n)$ може залежати від одного, двох і більше критеріїв.

Для моделювання поведінки агентів впливу в соціальних мережах у даній роботі було запропоновано приклади поведінкових стратегій, що були умовно названі стратегія «кущ» та стратегія «дерево», та проведено експеримент на моделі на предмет ефективності таких стратегій.

Поведінка вузла залежить від багатьох чинників:

– мета, що переслідується;
– положення вузла в мережі;
– локальна структура мережі в околі вузла;
– наявність чи відсутність помічників, супротивників, тощо.

Розглянемо варіанти поведінок, що базуються лише на виборі вузлів мережі (користувачів) - цілей атаки із свого околу. Варто зауважити, що при моделюванні не розглядається варіант автоматичного розсилання певної інформації, мова йде про активні усвідомленні діалоги з урахуванням особливостей співрозмовника. Саме тому введено показник Active – активність користувача, що визначає максимально можливу кількість активних діалогів за 1 ітерацію моделі, це, наприклад, 1 день. В реальному житті користувач не може на протязі обмеженого часу вести безліч активних діалогів, кількість таких діалогів обмежена вільним часом, в моделі, що розглядається – обмежена показником Active.

В найпростішому випадку вузол (генератор ідеї) веде діалог з випадково обраними вузлами з кола свого спілкування в мережі. При такому варіанті генератор не витрачає часу на аналіз структури чи індивідуальні особливості вузлів – цілей атаки, тому кількість діалогів (інформаційних атак) близька або рівна показнику його активності. Тоді пове-

дінкова стратегія (умовно назвемо її «кущ») може бути описана як:

$$P_{bush} = \left\{ u_i \in U_g \,\middle|\, i = random(\left|U_g\right|), \left|u\right| \le Act_g \right\}, \quad (3)$$

де $u_i \in U_g$ – доступні генератору користувачі; $i = random(\left|U_g\right|)$ – випадковий вибір номера користувача для атаки; $\left|u\right| \le Act_g$ – кількість обраних користувачів не перевищує показника активності генератора.

Можливі і інші поведінки, коли цілі інформаційної атаки обираються не випадково, а з урахуванням певних характеристик. Найпростішою з точки зору аналізу та доступності характеристикою вузла для атаки є кількість його зв'язків (з точки зору соціальної мережі – кількість друзів). Логічно припустити, що вузли з великою кількістю контактів є більш перспективними для атаки і подальшого розповсюдження ідеї. У випадку вдалої атаки і переконання такого вузла канал передачі значно розширюється. Але в цьому випадку генератору необхідно затратити певний час для аналізу, щоб вибрати вузол для атаки, відповідно кількість активних діалогів має бути зменшена по відношенню до поведінки описаної співвідношенням (2). Обравши перспективний вузол для атаки, генератор намагається залучити його до ідеї першочергово – тому зосереджує увагу саме на цьому вузлі (вузлах). В реальності така стратегія визначається повторюваністю звернень до одного вузла на протязі однієї ітерації. Кількість вузлів обраних для атаки наступними генераторами (залученими до ідеї) може збільшуватись, враховуючи збільшення носіїв ідеї в мережі і сумарний вплив на атакований вузол. У випадку цієї поведінкової стратегії (назвемо її умовно «дерево»), вона може бути описана таким чином:

$$P_{tree} = \left\{ u_i \in U_g \,\middle|\, \begin{array}{c} \left|U_{u_i}\right| \to max, \\ \left|u\right| = 2^{l-g}, \left|u\right| \le K * Act_g, u_i \notin G \end{array} \right\}, \quad (4)$$

де $u_i \in U_g$ – доступні генератору користувачі; $\left|U_{u_i}\right| \to max$ – кількість вузлів, доступних атакованому вузлу, обирається за ознакою «максимальна з наявних»; $\left|u\right| = 2^{l-g}$ – кількість вузлів для атаки залежить від рівня генератора (l_g), починаючи від початкового генератора l_g = 0; $\left|u\right| \le K * Act_g$ – кількість обраних користувачів не перевищує показника активності генератора з деяким коефіцієнтом, певний час витрачається генератором на аналіз і пошук вузла для атаки; в подальшому моделюванні використовується коефіцієнт K=0,5, тобто половина активності генератора; $u_i \notin G$ – атака на вузол продовжується до тих пір поки вузол сам не стане генератором.

Для перевірки ефективності запропонованих поведінкових стратегій проведено експерименти на розробленій програмній моделі. Була змодельована мережа з кластерів різних типів (групи, лідерські групи, додаткові вузли і зв'язки), вигляд мережі представлено на рис. 2. Вузол генератор поміщено в розрідженій зоні мережі (виділено на рис. 2). Загальна кількість вузлів мережі – 150.

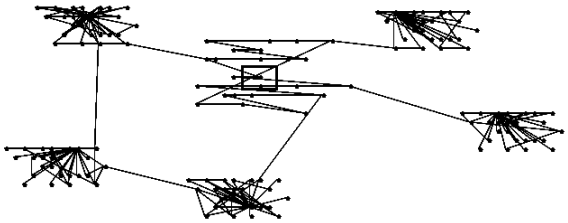


Рис. 2. Приклад №1 моделювання соціальної мережі у розробленій програмній моделі

Моделювання з застосуванням різних поведінкових стратегій дало результати, представлені на рис. 3 («1» – дерево, «2» – кущ).

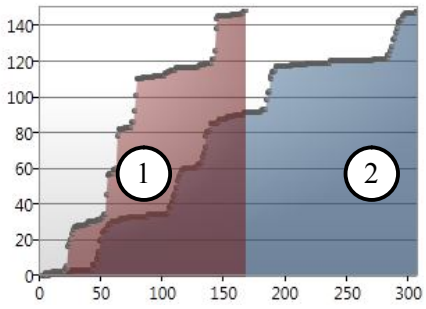


Рис. 3. Швидкість розповсюдження інформаційно-психологічних впливів у прикладі №1 для стратегій поширення інформації «дерево» – 1 та «кущ» – 2

Як видно з графіків (рис. 3) для розповсюдження ідеї всією мережею за стратегією «дерево» знадобилося близько 170 ітерацій, на цій же часовій відмітці «кущ» захопив близько 60% вузлів.

Ситуація дещо змінюється при зростанні щільності зв'язків в мережі, на рис. 4 показано графік при збільшені щільності зв'язків на 40% та доповнені мережі декількома вузлами - містками між окремими кластерами (кількість вузлів - 160).

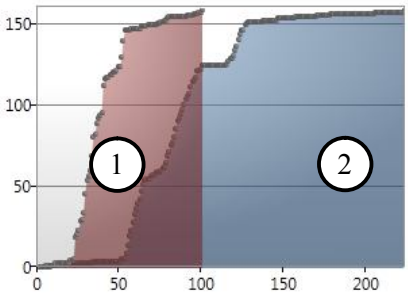


Рис. 4. Швидкість розповсюдження інформаційних впливів у прикладі №1 для стратегій «дерево» – 1 та «кущ» – 2 при збільшені щільності зв'язків на 40% та доповнені мережі додатковими вузлами – містками між окремими кластерами

Для перевірки гіпотези про вплив щільності зв'язків на ефективність поведінкових стратегій бу-

ло суттєво збільшено щільність, за рахунок додавання вузлів і зв'язків, а також додавання кластерів з високою щільністю (кліки). Після внесення змін мережа мала наступний вигляд (рис. 5), кількість вузлів – 200, позиція генератора не змінювалась.

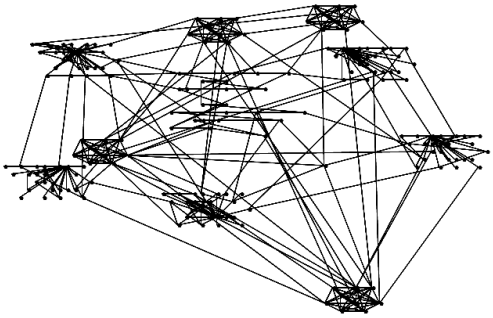


Рис. 5. Приклад №2 моделювання соціальної мережі у розробленій програмній моделі

На цьому варіанті мережі стратегії «кущ» і «дерево» показали майже однакові результати (рис. 6).

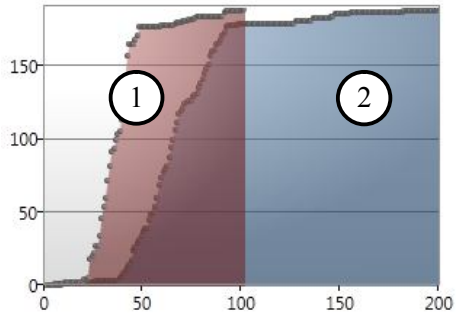


Рис. 6. Швидкість розповсюдження інформаційно-психологічних впливів у прикладі №2 для стратегій поширення інформації «дерево» – 1 та «кущ» – 2

Після 100-ї ітерації обидві стратегії захопили практично всі вузли мережі. Невелика кількість незахоплених вузлів стратегією «кущ» (на які було затрачено ще близько 100 ітерацій) пояснюється випадковим, а не вибірковим підходом до вибору вузла для атаки в стратегії «кущ».Загалом стратегія «дерево» показала кращі результати, але в ході експерименту виявлено, що поведінкова стратегія «дерево» має певні колізії. Так, наприклад, на першому – другому рівнях (на інших рівнях вже не так критично) вибір за критерієм максимальності зв'язків атакованого вузла може обрати вузли з високим рівнем інформаційного спротиву (Opposite). В такому випадку час затрачений на переконання буде суттєво зростати. Виходом з даної ситуації є зміна критерію вибору вузла, тоді поведінкова стратегія може бути описана як:

$$P_{tree} = \left\{ u_i \in U_g \middle| \begin{cases} Op_{u_i} \to min, \\ |u| = 2^{l-g}, |u| \le K * Act_g, u_i \notin G \end{cases} \right\}. \quad (5)$$

В порівнянні з (4) змінено лише критерій вибору вузла – обираються вузли з мінімальним рівнем спротиву. Такий критерій нескладно реалізувати в моделі, достатньо порівняти лише показники вузла, але набагато складніше здійснити такий відбір в реальному житті.

Висновки

У статті розглянуто розроблюване програмне забезпечення для програмного моделювання поширення інформаційно-психологічних впливів у віртуальних соціальних мережах. Дане моделювання можна використовувати для прогнозування наслідків поширення інформації при застосуванні різних стратегій в ході інформаційних операцій та інформаційних війн. Було проведено моделювання декількох різних стратегій поширення інформації, зокрема, стратегії «кущ» та стратегії «дерево».

Як показали результати моделювання, ефективність стратегії можна підвищити використовуючи багатокритеріальні функції. Багатокритеріальна функція аналізу вузлів дає можливість вибору найбільш вдалого вузла для атаки – це особливо актуально на ранніх стадіях атаки і дає можливість скоротити час залучення до ідеї і отримання генераторів наступного рівня. Складність здійснення відбору і аналізу критеріїв буде впливати на час затрачений в цілому на процес інформаційного впливу. Тому актуальним є вибір правильного балансу між ускладненням критеріїв вибору (і, як наслідок – ефективності атаки) і часом затраченим на аналіз за обраними критеріями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богуш В. М. Інформаційна безпека держави / В. М. Богуш, О. К. Юдін. – К.: МК-Прес, 2005. – 432 с.
2. Колбасов С. М. Макромоделирование информационных конфликтов и информационных операций социотехнических информационных систем: дис. … канд. техн. наук: 05.13.19 / Колбасов Сергей Михайлович. – Воронеж, 2006. – 146 с.
3. Остапенко Г. А. Информационные операции и атаки в социотехнических системах. Учебное пос. для вузов / Под ред. чл.-корр. РАН В. И. Борисова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 134 с.
4. Суслова В. А. Методы моделирования социальных сетей [Электронный ресурс] / В. А.Суслова, А. А. Городов // Решетневские чтения. – 2015. – №19. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/metody-modelirovaniya-sotsialnyh-setey.
5. Губанов Д. А. Модели влияния в социальных сетях [Электронный ресурс] / Д. А. Губанов, Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили // УБС. – 2009. – №27. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-vliyaniya-v-sotsialnyh-setyah.
6. Улічев О. С. Програмна модель соціальної мережі та стратегій поширення інформаційно-психологічних впливів / О. С. Улічев, Є. В. Мелешко // Збірник тез ІІІ Міжн. науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології», Кропивницький. 19-20 квітня 2017 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2017. – С. 136-139.
7. Сазанов В. М. Социальные сети как новая общественная сфера / В. М. Сазанов. – М.: Лаборатория СВМ, 2010. – 180 с.
8. Хоган Б. Анализ социальных сетей в интернете [Электронный ресурс] / Б. Хоган. – Режим доступа: https://postnauka.ru/longreads/20259.
9. Moody J. Structural cohesion and embeddedness / J. Moody, D. R. White // American Sociological Review. – 2003. – Vol. 68(1). – P. 103-128.

REFERENCES

1. Bogush, V.M. and Yudin, O.K. (2005), *Information Security of the State*, MK-Press, Kyiv, 432 p.
2. Kolbasov, S.M. (2006), *Macromodeling of information conflicts and information operations of socio-technical information systems*, Voronezh, 146 p.
3. Ostapenko, G.A. (2007), Information Operations and Attacks in Socio-Technical Systems, Hot line-Telecom, Moscow, 134 p.
4. Suslova, V.A. and Gorodov, A. A. (2015),"Methods of modeling social networks", *Reshetnev Readings*, No. 19, available at: http://cyberleninka.ru/article/n/metody-modelirovaniya-sotsialnyh-setey (last accessed March 01, 2018).
5. Gubanov, D.A., Novikov, D.A. and Chkhartishvili, A.G. (2009), "Models of Influence in Social Networks", *UBS*, No. 27, available at: http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-vliyaniya-v-sotsialnyh-setyah (last accessed March 01, 2018).
6. Ulichev, O.S. and Meleshko, Є.V. (2017), "The program model of social policy and strategy is the widening of information and psychology", *The information technology and computer technology*, TSNTU, Kropivnitsky, pp. 136-139.
7. Sazanov, V.M. (2010), *Social networks as a new public sphere*, Laboratory of SVM, Moscow, 180 p.
8. Hogan, B. (2018), *Analysis of social networks on the Internet*, available at: https://postnauka.ru/longreads/20259 (last accessed March 01, 2018).
9. Moody, J. and White, D. R. (2003), "Structural cohesion and embeddedness", *American Sociological Review*, Vol. 68(1), pp. 103-128.

Received (Надійшла) 09.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

Программное моделирование распространения информационно-психологических воздействий в виртуальных социальных сетях

А.С. Уличев, Е.В. Мелешко

Предметом изучения в статье является процесс распространения информационно-психологических воздействий в виртуальных социальных сетях. **Целью** является разработка программной модели распространения информационно-психологических воздействий в сегментах виртуальной социальной сети. **Задача:** разработать программную модель для определения того, как влияет структура социальной сети, свойства и роли пользователей на скорость распространения информационно-психологических воздействий, а также определить эффективность различных стратегий распространения информационно-психологических воздействий. Используемыми **методами** являются: теория графов, теория множеств, теория вероятностей, объектно-ориентированное программирование. Получены следующие **результаты**: разработана программная модель распространения информационно-психологических воздействий в сегментах социальной сети, с помощью нее осуществлено моделирование различных стратегий распространения информации и проведено сравнение их эффективности. **Выводы.** Разработанную программную модель можно использовать для прогнозирования последствий распространения информационно-психологических влияний в сегментах социальной сети при применении различных стратегий распространения информации во время информационных операций или информационных войн. Было проведено моделирование различных стратегий распространения информации, в частности, предложенных стратегии «куст» и стратегии «дерево». Как показали результаты моделирования, эффективность стратегии можно повысить используя многокритериальные функции анализа узлов для выбора наиболее удачного узла для атаки. Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: разработано программную модель распространения информационно-психологических воздействий в виртуальных социальных сетях, которая в отличие от существующих позволяет учитывать структуру социальной сети, роли и характеристики пользователей и накопительное влияние однотипных сообщений, а также позволяет генерировать социальную сеть с наперед заданными структурными характеристиками.

Ключевые слова: информационно-психологические воздействия; социальные сети; информационная безопасность, распространение информации; моделирование социальной сети; моделирование информационно-психологических воздействий.

Program modeling dissemination of information-psychological influences in virtual social networks

O. Ulichev, Ye. Meleshko

The **subject matter** of the article is the processes of dissemination of information-psychological influences in virtual social networks. The **goal** is to develop the program model for the dissemination of information-psychological influences in a segments of a virtual social network. The **tasks** to be solved are: to develop a program model for determining how a structure of a social network, the properties and roles of users affect the speed of dissemination of information-psychological influences, and to determine the effectiveness of various strategies for disseminating information-psychological influences. **The methods** used are: graph theory, set theory, probability theory, object-oriented programming. The following **results** were obtained: a program model for the dissemination of information-psychological influences in a segments of a social network was developed, with the help of which various strategies for the dissemination of information were modeled and the comparison of their effectiveness was made. **Conclusions.** The developed program model can be used to predict a consequences of the dissemination of information-psychological influences in segments of a social network when applying various strategies for disseminating information during information operations or information wars. Modeling of various information dissemination strategies was carried out, in particular, the proposed "bush" strategy and "tree" strategy. As shown by the simulation results, the effectiveness of a strategy can be improved by using multi-criteria node analysis functions to select a most successful node for the attack. The scientific novelty of the results obtained is as follows: the program model for modeling the dissemination of information-psychological influences in virtual social networks has been developed that, unlike existing ones, allows to take into account a structure of a social network, the roles and characteristics of users and the accumulative impact of a same messages, and also allow the generation of a social network with specified structural characteristics.

Keywords: information-psychological influences; social networks; information security; information dissemination; social network modeling; modeling of information-psychological influences.

UDC 04.891.3 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.07**

O. Chala

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

LOGICAL - PROBABILISTIC REPRESENTATION OF CAUSAL DEPENDENCIES BETWEEN EVENTS IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

The **subject matter** of the article are the processes of identifying knowledge in the form of causal relationships based on the analysis of the log of the business process. The **goal** is to develop a logical-probabilistic model of cause-effect relationships between pairs of log events that describes the implementation of the business process's action to support the solution of the task of automating the construction of the knowledge base of the process management system. **Tasks**: Select context constraints and limitations on the execution of business process actions that can be obtained as a result of log analysis; develop an approach to extract the probabilistic and logical components of cause-effect dependencies; to develop a logical-probabilistic model of causal relationships. The **methods** used are: methods for constructing predicate models; Bayesian methods of constructing probabilistic models. The following **results** are obtained. Formalized class of causal dependencies for knowledge-intensive business processes. Such dependencies can take into account informal knowledge of the business process. Within this class there are: a predicate description of the state of the context based on information about values of attributes of log events; contextual constraints on doing business process actions; probabilistic conditions for implementing the business process. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows: a logical-probabilistic model of cause-effect relationships between pairs of log events describing the performance of the business process is proposed. The model binds a logical description of the state of the context before and after the completion of each activity of the business process, as well as a logical description of the constraints on the actions of the process and a probabilistic description of the conditions for the execution of these actions. In practical terms, the model provides an opportunity to solve problems of extracting, expanding and integrating knowledge based on the analysis of logs of business processes.

Keywords: causality; knowledge; knowledge base; dependencies; business process; workflow; event log.

Introduction

Business process management systems are designed to manage the enterprise through the management of business processes (BP). The process control cycle includes the stages of building business process models, configuring these models in the management system, using BP models for managing and improving process models [1].

Business process models specify the sequence of actions that are required to obtain the product or service needed by the consumer. Improvement of process models allows to eliminate bottlenecks, and also to adapt the model to new conditions of business process execution. Such conditions arise as a result of changes in the activities of the enterprise, new market contracts, etc.

The problem of adaptation of process models is especially important for knowledge-intensive business processes. Such processes differ in that knowledge workers can change their structure. They use their personal knowledge and experience to change activities when executing a business process. As a result, the a priori model of the process becomes inadequate to the current instance of the business process [2].

To continuously improve the BP, it is necessary to supplement the process model with a knowledge base. This knowledge base can be used to assess the effectiveness of possible changes in the process model, taking into account constraints on the performance of business process actions.

When building a knowledge base, it is necessary to take into account the limited, inaccurate personal knowledge of the knowledge workers, who change the sequence of actions of the business process [3].

Related Work

At present, approaches to building knowledge bases to support process management are focused primarily on knowledge engineering. The specialists in knowledge engineering provide for human-machine interaction in the allocation and formalization of knowledge. The Semantic Web paradigm is used, as well as micro-blogging ideas [4].

At the same time, the methods of automated construction of knowledge bases [5-7] and approaches to the probability representation of knowledge are intensively developed [7-9]. These approaches use probabilistic causalities [10, 11], probabilistic relations [12], probabilistic graphical models [13], probabilistic logical reasoning [14, 15].

However, these methods and models are intended primarily for use in information retrieval and information referral systems. They are also used to support speech and image recognition.

Further research is required to solve the problems of supporting decisions on process management, taking into account the inexact, probabilistic nature of knowledge of people who perform knowledge-intensive business processes.

As a result, information regarding the further behavior of the business process becomes uncertain. This indicates the importance of constructing a logical-probabilistic representation of knowledge.

The purpose of this article is to develop a probabilistic-logical representation of cause-effect dependencies in a knowledge base of the process management system in order to perform such tasks:

– using personal knowledge of employees to improve the business process model;

– supporting decisions on the assessment of the actions of knowledge workers, who changes the business process.

Knowledge-intensive business process: causality

Knowledge-intensive business process has a number of properties that affect the representation of causal dependencies.

The process has three structural levels: a workflow; contextual knowledge about the actions of the process; context.

Workers can change the sequence of actions based on their knowledge and the current state of the context. This means that there are causal relationships between the context and the process activities (Fig. 1).

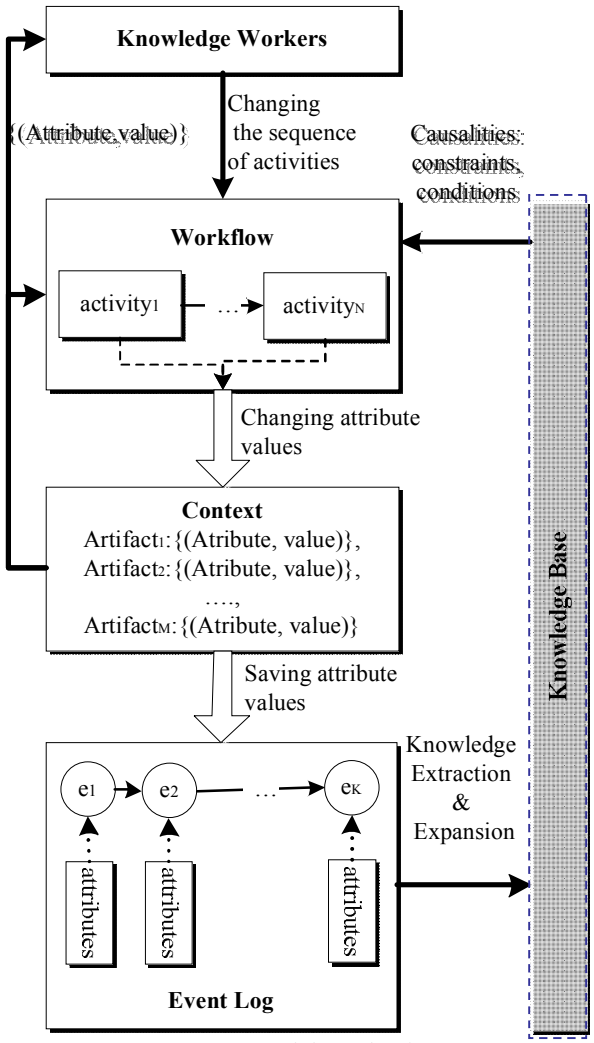


Fig. 1. Causal dependencies of knowledge-intensive business process

Context affects the execution of actions in the domain and includes a set of artifacts.

Artifacts are objects that the process uses when executing. Artifacts are characterized by a set of properties. Properties are represented as attribute - value pairs.

The current state of the business process context depends on such variables:

- a set of artifacts that this process uses;
- a set of properties of artifacts;
- the values of the properties of these artifacts.

Sets of artifacts and immutable attributes set the static aspect of the context. In other words, artifacts with predefined attribute sets are used by the process all the time.

The absence of such artifacts does not allow performing the corresponding actions of the process. Therefore, the static aspect of the context sets limits on the execution of business process actions. In this case, for each constraint of the business process, the rule is triggered: as long as the corresponding activity does not satisfy the constraint, it cannot be included in the workflow:

$$\forall c \in C\, \exists D_l \subseteq D, D_l \neq \varnothing : D_l \bigcap wf = \varnothing \,|\neg c, \qquad (1)$$

where c is the current constraint; D_l – a subset of activities that must satisfy the constraint; wf – the workflow of the current instance of the business process..

The set of all possible sequences of actions forms the general flow of work of the business process, Wf i.e. $Wf = \{wf\}$.

Limitations for a particular action must be satisfied in all instances of the process. A process instance is an implementation of the BP model, similar to an instance of a class in object-oriented programming.

The set of pairs "attribute-changing value" characterizes the dynamic aspect of the context. Attribute values changes as a result of process actions or environmental influences.

In order to execute a process action, a subset of attributes must have certain values.

Therefore, the dynamic aspect is characterized by the conditions for performing BP actions at the time when the desired attribute values are obtained:

$$wf, t \,|= d \;|\, l \wedge c,\ l \in L,\ c \in C, d \in D, \qquad (2)$$

where l is the condition to perform activity d; t – the moment of time when the condition l and constraint c are satisfied.

Unlike constraints, the conditions for starting actions cannot be satisfied for all instances of the BP:

$$\exists wf \in Wf : wf, t \not\models d \;|\, l \wedge c. \qquad (3)$$

This difference is due to the fact that employees can change the process and perform the action under other input conditions. In the general case, there is a nonzero probability that the action will be performed with the true expression l.

In order to identify the causal dependence of the "condition-activity" kind and then to predict possible sequences of knowledge-intensive business process work, we set the threshold value ε of the probability for this condition. The business process is characterized by the implementation of actions in time. Therefore, this causal dependence is represented using the temporal modal logic operators:

$$X^{+} p(l) > \varepsilon \Rightarrow Xd \,|\, c, \qquad (4)$$

where $p(l)$ is the probability of the condition l being met; X – the temporal modal logic operator $neXt$, it specifies the execution of the action d at the next discrete point in time; X^{+} operator sets the condition being met from the current moment to the next discrete point in time.

Thus, causal dependencies for a knowledge-intensive business process have logical limitations and probabilistic conditions.

Approach to extracting cause-effect dependencies between business process events

The sequence of automated knowledge base construction includes the tasks of extracting knowledge, expanding the knowledge base and integrating knowledge with existing models (for example, business process models).

In order to solve the first task, the extraction of knowledge in the process management system, it is necessary to identify the context of the actions of the process. Then, based on the context analysis, we can set constraints and conditions for the execution of actions.

We can identify the context in two ways:

– By using a priori knowledge of the subject area;

– By analyzing the event logs that the process management system forms when executing a business process.

In the first case, the expert in the domain sets the permissible sequences of actions for each artifact. Usually such dependencies are determined by the life cycle of these objects. Therefore, we can specify a restriction on the sequence of the process actions in the form of permissible links between the operations for processing the artifact in accordance with its life cycle.

The conditions for the execution of actions are determined by comparing the permissible variants of the life cycle of artifacts. Therefore, it is necessary to compare several alternative sets of conditions when performing one action.

The disadvantages of this method are as follows.

First, the approach requires the involvement of a qualified expert who knows the specific business process well.

Secondly, in addition to the business process model, it is necessary to construct life cycle models for artifacts, and then establish constraints by comparing the sequence of process actions and the sequence of life cycle operations.

In the second case, a log is used to identify conditions and limitations for the execution of business process actions. It contains a description of the events that occurred while the process was running.

The log is formed by the process management system. Log events are characterized by a set of attributes and their values. Attributes of events are also attributes of artifacts. For example, they can contain: the name and division of the performer; the name of the product that the business process creates; name of equipment, etc.

The disadvantage of the second method is that the log contains incomplete information about the business process. However, the log is constantly updated with new events as the business process proceeds. This allows you to perform both the task of extracting knowledge, and the task of expanding the knowledge base.

With the constant expansion of the knowledge base, the task of integrating knowledge is also performed in order to ensure the adequacy of existing models.

In general, with the automated building of the knowledge base of the business process management system, it is advisable to combine both methods. General dependencies are formed by an expert, and more detailed ones are identified on the basis of an analysis of the event log.

However, if the log contains detailed information about the activities of the process, you can limit yourself to identifying the context based on the analysis of the log.

In Fig. 1 the cycle of knowledge extracting, expanding and integrating is presented.

In this cycle, the log is viewed as the current "photo" of the workflow of the process. This sequence changes according to the current context using causal dependencies.

Such dependencies can be changed by knowledge workers. However, then, after analyzing the logs, the found altered dependencies are included in the knowledge base.

Then these cause-effect relationships can be included in the business process model.

In order to implement this cycle, we propose a logical-probabilistic approach to the extraction of cause-effect relationships in the field of process management. The proposed approach uses the properties of causal dependencies for the knowledge-intensive business process (4), as well as the properties of the BP log.

We can choose one of two possible categories of uncertainty when we construct a logical-probabilistic description of the causality of a knowledge-intensive business process.

– uncertainty about empirical facts;

– uncertainty about logical facts.

Empirical facts are characterized primarily by information and cognitive components. First, they contain information about the state of objects and phenomena of the domain. Secondly, the cognitive component determines the way in which these facts are interpreted.

Empirical facts in the logs are represented by a set of attribute-property pairs for each event, and therefore we will interpret these facts using the mathematical apparatus of predicate logic.

The predicate R_i interprets each event in this way:

$$R_i\,(a_1,...,a_j,...a_J) = \bigwedge_j (a_j = v_{i,k}), \qquad (5)$$

where a_j – attribute of i-event; $v_{i,k}$ – is the value of the attribute a_j.

Logical facts determine the relationship between empirical facts. Logical facts are represented in the log in the form of sequences of events corresponding to the sequence of actions of the business process. The information system of management of business processes records in a log a trace of events separately for each copy of the business process. Therefore, the logical facts for the process are of a probabilistic nature.

From expression (4) we can see that causal dependencies for a knowledge-intensive business process contain deterministic and probabilistic components.

For each pair of events $i, i+1$, we will also distinguish two components: the deterministic constraint and the probabilistic condition. The constraint $c_{i,i+1}$ is represented by a predicate that links the unchanged attributes $a_{i,j}, a_{i+1,j}$ of a pair of successive events. The first event describes the state of the context in which the action is started, and the second describes the state of the context after the action is completed:

$$R^{*}_{i,i+1}(a_{i,1},....a_{i,J},a_{i+1,1},...a_{i+1,J}) = \bigwedge_{j}(a_{i,j}=v_{ik} \mid \forall i=\overline{1,I-1}\ a_{i,j}=a_{i+1,j}).. \quad (6)$$

Using the representation of constraints in the form of a predicate (6), we can find subsets of attributes that do not change for the selected action on all log paths. This means that the selected action is performed with unchanged values of the artifact attributes in all instances of the business process:

$a_{i,j} = v_{ik}$.

If we order such subsets of attributes by run-time, we can obtain a set of sequences of unchanged attribute pairs for all possible variants of executing a business process. This sequence describes an invariant part of the context that does not depend on possible actions of the BP. Therefore, we can treat such sequences as static context constraints.

Each action is represented in the log by a pair of events: $i, i+1$.

Therefore, we calculate the probability of a condition l_{i+1} for performing an action using:

– the probability $p(c_{i,i+1})$ of restriction for these events;

– the probability $p(r_{i,i+1})$ that an event is represented by a set of attributes that ensure the truth of the predicate $R^{**}_{i,i+1}$ (Fig. 2):

$$p(l_{i+1},c_{i,i+1},r_{i,i+1}) = = p(c_{i,i+1})p(r_{i,i+1})p(l_{i+1} \mid c_{i,i+1},r_{i,i+1}). \quad (7)$$

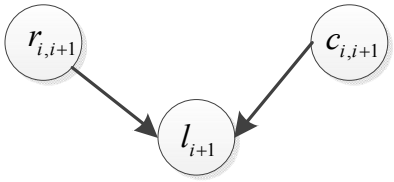


Fig. 2. Probabilistic dependencies

The predicate $R^{**}_{i,i+1}$ will be true only for pairs of event attributes a_i, a_{i+1}, which change their value after the execution of the action $i+1$ of the business process:

$$R^{**}_{i,i+1}(a_{i,1},....a_{i,J},a_{i+1,1},...a_{i+1,J}) = \bigwedge_{j}(a_{i,j}=v_{ik} \mid \forall i=\overline{1,I-1}\ a_{i,j}\neq a_{i+1,j}). \quad (8)$$

Conclusions

The article considers the problem of representation of causal dependencies in modeling and management of business processes.

Our contribution is as follows. A logical-probabilistic model of cause-effect relationships is proposed. Each such dependency links a pair of log events that describe the execution of a single action of the business process. The model connects the logical description of the context state before and after the completion of each action of the business process, as well as a logical description of the constraints on the process actions and a probabilistic description of the conditions for performing these actions.

The proposed model can be used to solve problems of extracting, expanding and integrating knowledge based on the analysis of business process logs.

REFERENCES

1. Vom Brocke, J., Rosemann, M. (2015), *Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 709 p.
2. Gronau, N. (2012). *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English),* Gito, 522 p.
3. El-Den J.A. (2009), *Tacit knowledge externalization among geographically distributed small groups*, PhD Thesis's, University of Technology, Sydney, Australia, 323 p.
4. Warren, P., Kings, N., Thurlow, I., Davies, J., Brger, T., Simperl, E., Ruiz, C., G´omez-P´erez, J., Ermolayev, V., Ghani, R., Tilly, M., Bsser, T. and Imtiaz, A (2009), "Improving knowledge worker productivity the active approach", *BT Technology Journal*, No. 26, pp.165-176.
5. Dong, X. L., Gabrilovich, E., Heitz, G., Horn, W., Murphy, K., Sun, S. and Zhang, W. (2014), "From data fusion to knowledge fusion", *International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*.

6. B. Min, R. Grishman, L. Wan, C. Wang, and D. Gondek. (2013). Distant supervision for relation extraction with an incomplete knowledge base. *In Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (NAACL*).
7. Murphy, K. (2013), "From big data to big knowledge", *ACM International Conference on Conference on Information and Knowledge Management (CIKM),* New York, NY, USA.
8. Chen, Y. and Wang, D.Z. (2014), "Knowledge expansion over probabilistic knowledge bases", *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD)*.
9. Niu, F., Zhang, C., R´e, C. and Shavlik, J.W. (2012), "Elementary: Large-scale knowledge-base construction via machine learning and statistical inference", *Int. J. Semantic Web Inf. Syst.*
10. Pearl, J. (2000), *Causality: models, reasoning, and inference*, Cambridge University Press, Cambridge.
11. Alon N. and Spencer J.H. (2008), *The Probabilistic Method,* Wiley-Interscience, third edition.
12. Friedman, N., Getoor, L., Koller, D. and Pfefier, A. (1999), "Learning probabilistic relational models", *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*.
13. Koller, D., Friedman, N. (2009), *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*, MIT Press.
14. Ritter, J., Li, A., Jurafsky, D. (2014), "Inferring user preferences by probabilistic logical reasoning over social networks", *arXiv preprint arXiv:1411.2679*, available at: https://arxiv.org/abs/1411.2679 (last accessed March 01, 2018).
15. Bröcheler, M., Mihalkova, L. and Getoor, L. (2012), "Probabilistic similarity logic. Computing Research Repository", *abs/1203.3469,* available at: http://arxiv.org/abs/1203.3469 (last accessed March 01, 2018).

Received (Надійшла) 28.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Логіко-ймовірнісна модель причинно-слідчих зв'язків між подіями журналу системи процесного управління

О.В. Чала

Предметом вивчення в статті є процеси виявлення знань у формі причинно-наслідкових залежностей на основі аналізу логу подій бізнес-процесу. **Метою** статті є розробка логіко - ймовірнісної моделі причинно-слідчих зв'язків між парами подій журналу, що описують виконання дій бізнес-процесу для підтримки рішення задач автоматизованого побудови бази знань системи процесного управління. **Завдання:** Виділити контекстні умови та обмеження на виконання дій бізнес-процесу шляхом аналізу лога подій цього процесу; розробити підхід до виділення ймовірнісної та логічної складової причинно-слідчих залежностей; розробити логіко-ймовірнісну модель каузальних залежностей Використовуваними **методами** є: методи побудови предикатних моделей; байєсовські підходи до побудови ймовірнісних моделей. Отримані наступні **результати**. Формалізовано клас причинно-наслідкових залежностей для знанняємних бізнес-процесів. Такі залежності можуть враховувати неформалізоване знання про бізнес-процес. В межах даного класу виділені: прогнозний опис стану контексту на основі інформації про значення атрибутів подій журналу; контекстні обмеження на виконання дій бізнес-процесу; ймовірнісні умови реалізації дії бізнес-процесу. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: запропонована логіко-ймовірнісна модель причинно-слідчих залежностей між парами подій журналу, що описують виконання дій бізнес-процесу. Модель зв'язує логічне опис стану контексту до і після завершення кожного дії бізнес-процесу, а також логічний опис обмежень на дії процесу та ймовірнісний опис умов для виконання цих дій. У практичному аспекті модель забезпечує можливість вирішення завдань вилучення, поповнення та інтеграції знань на основі аналізу логів бізнес-процесів.

Ключові слова: причинно-наслідкові залежності; знання; база знань; бізнес-процес; потік робіт; журнал подій.

Логико-вероятностная модель причинно-следственных зависимостей между событиями журнала системы процессного управления

О.В. Чалая

Предметом изучения в статье являются процессы выявления знаний в форме причинно-следственных зависимостей на основе анализа лога бизнес-процесса. **Целью** является разработка логико-вероятностной модели причинно-следственных зависимостей между парами событий лога, описывающими выполнение действия бизнес-процесса для поддержки решения задачи автоматизированного построения базы знаний системы процессного управления. **Задачи:** Выделить контекстные условия и ограничения на выполнение действий бизнес-процесса, которые могут быть получены в результате анализа лога; разработать подход к выделению вероятностной и логической составляющей причинно-следственных зависимостей; разработать вероятностно-логическую модель каузальных зависимостей Используемыми **методами** являются**:** методы построения предикатных моделей; байесовские методы построения вероятностных моделей. Получены следующие **результаты.** Формализован класс причинно-следственных зависимостей для знанииемких бизнес-процессов. Такие зависимости могут учитывать неформализованное знание о бизнес-процессе. В рамках данного класса выделены: предикатное описание состояния контекста на основе информации о значениях атрибутов событий лога; контекстные ограничения на выполнение действий бизнес-процесса; вероятностные условия реализации действий бизнес-процесса. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: предложена логико-вероятностная модель причинно-следственных зависимостей между парами событий лога, описывающими выполнение действия бизнес-процесса. Модель связывает логическое описание состояния контекста до и после завершения каждого действия бизнес-процесса, а также логическое описание ограничений на действия процесса и вероятностное описание условий для выполнения этих действий. В практическом аспекте модель обеспечивает возможность решения задач извлечения и пополнения и интеграции знаний на основе анализа логов бизнес-процессов.

Ключевые слова: причинно-следственные зависимости; знания; база знаний; бизнес-процесс; поток работ; журнал событий.

Information systems research

UDC 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.08**

D. Kisel [1], O. Salnikova [2], S. Antonenko [2], A. Shyshatskyi [3]

[1] Military unit A 0135, Kyiv, Ukraine
[2] National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine
[3] Central research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF INFORMATIONAL COUNTERACTION INFLUENCE ON ORGANIZATION OF OFFICERS MANAGEMENT ACTIVITY

Due to the increase in active use of modern information technologies as one of the means of armed struggle the strategy and tactics of conducting modern wars and military conflicts has changed. To this end, the authors of this article considered the concept of information countermeasures and its impact on the organization of managerial activities of officials. In the course of the study it was established that the leadership of many countries of the world developed the concepts of information wars, taking into account the information vulnerabilities of the conflicting parties, practical implementation of these concepts is carried out through information (information-psychological) operations. The analysis of the military-political leadership views of some developed states of the world on information warfare showed that it has three components: information, technical (information operations), and information-psychological (information-psychological operations). As a result of the study conducted by the authors of this article, it is proposed to adjust the regulatory documents and to take into account additional destructive factors for the organization of managerial activities of officials, namely, information countermeasures. Also, the authors of the article proposed to change the system of management training, with the purpose of training the latter to make correct and deliberate decisions in the context of information confrontation.

Keywords: information confrontation; management; decision-making; information technologies; information warfare.

Introduction

The ongoing revolution in information technology marks a new stage in the development of military systems [1-5].

There are terms "information weapons" and "information warfare" increasingly began to meet in the press, which, in effect, mean a revolution in the art of war [3-9].

After all, these terms conceal fundamentally new forms of warfare, in which the suppression of the enemy is achieved through the massive use of information weapons, considered by highly developed countries experts as the decisive factor in owning the modern world.

The use of information weapons and information and psychological impact is already in many ways capable to achieve the same results as the large-scale conventional or even nuclear war [1-11].

The most important attribute of the management process in military systems is information. At all stages of the historical development of military affairs it appears as an object of fierce fighting. Information warfare waged in almost all wars, and even the ancient generals believed that "the best war is to break the enemy's plans [12]."

From the First World War to the operation in Yugoslavia a huge historical experience of information warfare was accumulated by the US. In the early 90s the US government instructed the Ministry of Defense to summarize the existing experience of fighting against the enemy management system within the concept, called information warfare concept. It should be noted that similar concepts of information warfare adopted in the UK, Germany, France, other countries of NATO and Russia.

Information warfare is one of the main threats to national security of Ukraine in the XXI century. This is supported by an active practical implementation of the concept of information warfare and isolating for these purposes considerable financial resources of the Russian Federation.

In this state, the arsenal of information war is growing at an accelerated pace, including both special software and hardware, computer viruses, "logical bombs," and the means of psychological and parapsychological impact [13].

The report of the Joint Security Commission, established by order of the Secretary of Defense and the Director of the CIA in the United States in June 1993 and completed in February 1994, said: "... It has already been recognized that data networks are becoming the battlefield of the future. Information weapons, whose strategy and tactics of application have yet to be carefully worked out, will be used with "electronic speeds" in defense and attack. Information technology will allow resolving geopolitical crises without producing a single shot.

Our national security policy and procedures for its implementation should be aimed at protecting our capabilities to conduct information wars and to create all the necessary conditions for prohibiting the warring states of the United States to wage such wars..."

Proceeding from the foregoing, ***the purpose of this article*** is to conduct an analysis of the impact of information counteraction on the organization of managerial activities of officials.

Presentation of the main material

At present, there are ideas that mankind has overcome three "waves" in its evolution:

1) agricultural, which began 10,000 years ago;

2) commercial, which began 300 years ago;

3) technological (or information) extending at present.

The first two waves of civilization brought a revolutionary change. The information wave, as in the first two cases, determines its economy, the media, political institutions, and, of course, its own way and nature of warfare. Awareness of these processes led to the emergence of the term information war. According to US military experts, information technologies emerging as a result of the third wave are able to "revolutionize" the process of conducting operations (combat operations) in much the same way that tanks did in the First World War and the atomic bomb in the second [5-11, 13-17].

It should be specially noted that with the massive introduction of information technology and the use of information weapons, the goal of the war was not the destruction of the enemy, but their management. In other words, information technology in our time has made it possible to "control the enemy" with minimal violence and bloodshed.

The task of suppressing the enemy now consists not in destroying the living force, but in undermining the world outlook of the population, in destroying the infrastructure of the state, including the armed forces, in undermining the authority of its leaders. This is proved by the results of the recent military operations of the United States and NATO countries in Iraq, Yugoslavia, the aggression of the Russian Federation against Ukraine in the Donbass, as well as its annexation of Crimea [18].

Final formulation of the concept of information warfare has not yet taken shape. Martin Libiki from the US National Defense University on this occasion spoke thus: "attempts to fully understand all the facets of the concept of information warfare reminiscent of the efforts of the blind, trying to understand the nature of an elephant: one who touches his leg, calls it a tree; the one who feels the tail, calls him a rope and so on. Is it possible so to get the right idea? Perhaps there is no elephant and there, and there are only trees and ropes.

Some are ready to be brought under this concept too much, while others treat some aspect of information warfare as a concept in general."

Information warfare is a comprehensive, coherent strategy for the implementation of information and psychological impact on the enemy, due to the increasing importance and value of information in matters of command, control and policy. Information warfare involves coordinated activity on the use of information on the one hand information processes and systems as the object of influence, and on the other - as a weapon for fighting in the military, political, economic and social spheres [5-13].

The goal of information warfare is to ensure national security through information and psychological impact on the opposing side and protecting their own information resources.

By its nature, information warfare occupies a position between the "cold" war (including, in particular, economic) and actual combat with the participation of armed forces.

Unlike economic war information warfare result is a malfunction enemy infrastructure elements (control points, and rocket launch sites, airports, ports, communication systems, warehouses, etc.), and with conventional weapons in contrast to the "hot" war and (or) weapons of mass destruction of its objectives are not material, and the "ideal" (informational) objects or material carriers. At the same time the destruction of such facilities and systems can be performed with preservation of their material basis.

According to The US Army's Field Manual information warfare is defined as actions aimed at achieving information superiority in the interests of national security, carried out by influencing the information, information processes and information systems of the enemy while protecting own information, information processes and systems [14].

Since the information war is directly connected with information processes, it can be said that information warfare is a war for knowledge about oneself and the enemy.

The information war is being waged on two main levels: the state and the military.

For each of these levels can be distinguished relevant organs, methods, tools, and objects of exposure. The goal of information warfare is achieved by conduction of offensive and defensive actions.

Offensive activities aimed at establishing control over the enemy's control systems or their destruction and may be held in secret or openly.

Defensive measures serve to protect their own information resources from enemy action.

As an evidence that the information war is not a slogan and not a myth but an objective reality, the US Department of Defense adopted guidelines and handed out the structure of organs of information warfare [14-19].

Relevant documents for all kinds of armed forces has been developed and adopted. These documents secured certain responsibilities for officials of the armed forces management system.

Information war in the US Armed Forces in practice, primarily carried out by: Chairman of the Joint Chiefs of Staff and the two departments, specially created joint headquarters; commanders of unified commands US forces in the region; Commander of the Joint Special Operations Command; Head of the National Security Agency; Chief of Defense Intelligence Control; Head of the Department of Defense information systems; chiefs of armed services staffs.

The faculty on information counteraction has been created in the National University of Defense of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky to train

specialists, its graduates are trained in the entire range of issues related to the information warfare: from protection against computer attacks to supporting the planning of military operations.

Today, each armed service of the US Armed Forces has its own specialized center. Tasks of the US forces Center of Information fighting, for example, are:

the creation of means of information warfare in support of armed services operations;

planning a campaign,

acquisition and testing equipment,

protection from the armed services staffs an information attack.

To this end, the Center educates, equips and deploys response team, develops and maintains database and application software, analyzes the vulnerability of electronic systems. Due to efforts of the Center's employees created a "Distributed Intrusion Detection System" that identifies abusive computer systems, monitors user activities, provides centralized access to information about the security status of a particular system, and distributes the processing of verified data.

Preparing to conduct information warfare in the United States is conducted in three areas: in the armed forces, the security services and nationwide.

In the armed forces preparing for information war involves theoretical, organizational and logistical arrangements. In the army, the navy and armed services created positions for officers dealing with these issues. The military schools hosting games and training on improvement of curricula. And finally, the most important thing is that the US military heavily equipped with means of information warfare, spending on the purchase of information technology more than a nuclear and space programs.

The security services conducted not less intensive work. National Security Agency creates a sudden "infected" computers and computer systems, as well as various schemes of "bookmarks" for computer viruses and logic bombs. The CIA training is conducted in two programs. The first program includes the introduction of a system of military-industrial complex in peacetime easily triggered at the right time, logic bombs, and viruses. The second program is aimed at developing ways to influence the programmers working on defense enterprises, in order to attract them to infiltration of viruses and logic bombs in the information systems of enterprises in crisis situations.

Preparation for information warfare at the national level is to improve the national information infrastructure, including information systems, banking, communications, transport, energy, industry and services. The increasing importance of this structure is the Internet.

Let's consider the basic ways of conducting information wars.

US concept of information warfare is assumed that in peacetime, information warfare is conducted secretly, but if non-military actions can not achieve the desired goals, the military force may be used. Thus, the operations were held in Panama, Grenada, Iraq, and Yugoslavia. In wartime, the information war will be open and combined with traditional methods of warfare.

There are a number of possible reasons why the enemy can stop the fighting:

1) Inability to control the armed forces;

2) Demoralization of the armed forces or the population as a whole;

3) Obtaining information (real or alleged) that the army destroyed, or that is more advantageous to stop the war, than to continue to fight.

Information warfare involves the use of complex methods of state and military levels.

At the military level, one can distinguish five ways of information warfare which are combined under the operational-strategic US military concept of "struggle with control systems":

1) Psychological struggle;

2) Mislead the enemy or deception;

3) Countering enemy reconnaissance;

4) Electronic Warfare;

5) Destruction of command centers and communications systems.

The main objects of the information war impact are:

1) General public (civilians and military personnel), its state, economic, and social institutions;

2) Different levels of controls (from the highest to the lowest governing body);

3) Information infrastructure of the state and the armed forces;

4) The media.

Each of these facilities covers broad areas of the state and its security. For example, there are strikes of vital elements such as telecommunications and transportation systems when exposed to a state and military information infrastructure. Similar actions can be taken by geopolitical or economic opponents or terrorist groups.

Let's consider the basic spheres of a society vital activity, the state which are subject to threats of information security (fig. 1).

There are advantages against the enemy by means of information warfare:

the ability to selectively influence a predetermined time at a strictly definite element management system;

relatively low cost of development, methods and means of conducting;

lack of boundaries in relation to the development and integration of the information infrastructure of various countries;

inability to define clearly the beginning of information warfare;

high vulnerability information systems.

The methods of information warfare can also be divided into direct and indirect. The difference between them can be illustrated by the example R. Shafraniki. Let’s say the aim is to make your opponent believe that the regiment is located where it

is not present, and act on this information in a manner that is beneficial to us.

An example of an indirect method of information warfare that is using engineering tools to build models of aircraft and false airfield facilities, as well as to simulate the activity of working with them. In this case, the impact will be successful if the opponent will be watching the wrong airport and consider it real.

Direct way of information warfare that is the direct creation of false records in the regiment of the enemy information storage. In case of success of such an impact, the result will be the same as in the first case, but the funds involved to obtain this result, to be materially different.

Another example of a direct way of information warfare can be a change in the information in the enemy database on existing communications during operations (making false information that the bridges are broken) to isolate individual enemy units. This can be achieved by bombardment of bridges. And in fact, and in another case the enemy, making a decision based on the information available, to take the same decision that is to produce a movement of troops through other communications.

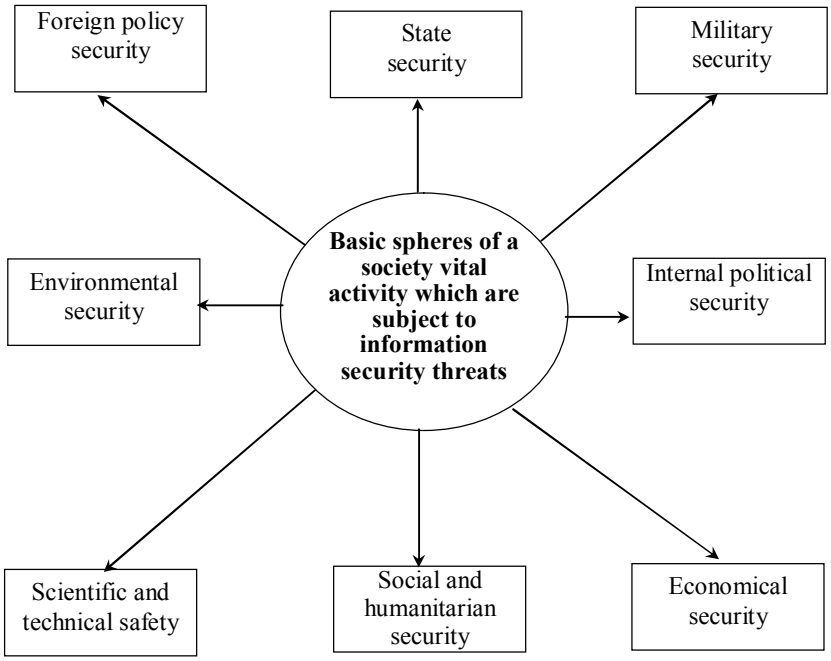


Fig. 1. Basic spheres of a society vital activity which are subject to information security threats

The main directions of management systems threat during information warfare.

Let's outline the following main areas of threats to control systems, in particular, military command and control systems, in information warfare:

1) advance by the control cycle;

2) technological superiority in the management and communication means;

3) expansion in the market of automated control and communications;

4) information superiority;

5) superiority in offensive information warfare means.

In the first direction, a significant advance over the management cycle is carried out by creating a new information infrastructure of the armed forces, which should provide a fundamentally new level of the functioning of the command and control organs, allowing to significantly outstrip the enemy in organizing and conducting military operations at any level and anywhere in the world.

A key role in the new information infrastructure will play a single for all armed forces complex of DoD information systems. His work with the sources and users of information should be carried out through the Internet and a unified information network DoD, as well as tactical and tactical communication systems, data distribution, targeting and navigation.

The second direction is that to achieve a significant technological superiority in the field of command and control and communication tools. US achieving technological superiority leads to gradual displacement of domestic communications frequency spatial and temporal domains. For example, the use of complex structure in the radio signals project "Speak easy" allows to secure exchange of information at high speed even in the range in excess of HF interference power over the useful signal of hundreds or more times.

The high data transfer rate, high-quality and reliable communication channels enable timing advance of national control systems. Creating a global communications and information systems and bring it to the tactical level gives an advantage in the conduct of the war on unprepared in terms of communication area. The third area is that a large-scale expansion in the area of management and communication tools, caused by the fact that in Russia, unlike other European countries, there is no strict measures to limit the introduction of alien systems in the state's

information infrastructure. Currently, for foreign companies Russia is one of the cheapest and most powerful polygon to simulate mobile technologies. You can hold any approbation, including to introduce "dead-end" system.

Weak control over the use of the radio spectrum can deliver the Ukrainian Armed Forces in a vulnerable position in terms of the organization of communication and security. Having access of foreign operators to the system switch allows them to detect, report and transmit to the US Defense Intelligence Agency and the FBI data on all the interests of cellular communication network subscribers.

One of the ways to reduce the efficiency of material and intellectual resources of the state and its armed forces is delivering of low-cost automation and communication equipment, the organization of information targeted diversion and technological materials.

The fourth area is related to the achievement of information superiority. This direction intersects with the first and second directions. Information superiority is ensured by three components:

1) reconnaissance conduction on a global scale, efficient reception, processing and transmission of information;

2) protection of its information resources and information technologies;

3) destructive action to suppress the enemy's capabilities to develop its own technology and the information acquisition.

According to the US Department of Defense believe that in order to achieve victory in the armed conflicts of the new century, it is first of all necessary to promptly receive, process and transmit information. The one who can quickly gather information about the conduct of operations (combat operations) will win, analyze them, draw the right conclusions, make the right decision and quickly bring it to subordinates.

It is necessary to obtain information superiority to ensure victory over the enemy. It allows you to get ahead of the enemy in the understanding of the rapidly changing situation in the conduct of operations (combat operations), to make decisions proactively, and to design the right course of the battle.

The concept of information superiority is based on the concept of space conducting operations or battle space, which allows you to evaluate the military conflict in its entirety.

Operations space includes not only information about specific areas where battles are conducted, but also data on the system of logistics, the work of all levels of command, on the political aspects, and many other things that are directly or indirectly related to the war.

One will have information superiority who better, faster and more accurately able to get a description of the conduct of operations of the space. This allows to apply the necessary force at the right time in the right place, which is known to decide the outcome of any battle or even allows you to win without bloodshed. One who has information superiority will be ahead of the opponent in the accuracy of orders and, most importantly, in the promptness of their delivery. Units will operate synchronously and be able to react quickly to changing circumstances.

The US military distinguishes the following areas of using information superiority.

1. Commanders are able to carry out a synchronous proactive maneuver with strikes against key targets by receiving promptly processed information about the location and condition of each unit in the zone of operations and the most important enemy facilities.

2. It becomes important to identify the most important facilities for the destruction and capture in carrying out the attack. These objects are automatically ranked using a variety of algorithms and rules implemented by using expert systems.

3. Information superiority makes it possible to organize multi-faceted defense without fear of an unexpected attack by the enemy. Defense issues are particularly important during the deployment of forces and maneuvers, when the troops are most vulnerable. The success of synchronous maneuvers, including the pre-planned joint actions of various types of troops, largely depends on the combat readiness of all units at the time of arrival to the battlefield. Therefore, it is necessary to ensure their safety in order to maintain maximum efficiency and the ability to operate freely in the zone of operations.

4. It is impossible to count on the success of conducting operations (combat operations) without the organization of targeted material and technical supply. The targeted material and technical supply is based on continuously incoming information from the operations zone and allows, with the help of various technologies for the delivery of appropriate resources, to maintain the combat readiness of military equipment in all conditions of the surrounding area at the required level.

The use of a network of focal points of the Federal Bureau of Investigation analyzing information coming from virtually the entire territory of the globe and issuing daily press releases to state and military authorities in the military-political setting (indicating the actions of troops of foreign states up to a separate military unit or ship) is a clear example of conducting reconnaissance on a global scale.

In addition, these focal points form press releases of the appropriate focus for psychological impact.

The fifth area is to achieve excellence in the information warfare offensive weapons field.

It is necessary to clearly identify the sources of information warfare. Information warfare can be started immediately, without special training, with a massive use of various media information warfare. It does not require preliminary transfer, concentration, and act instantly by commands or from satellites, or from remote control panels remote from targets, or by signals from portable consoles of special agents.

Means of information warfare. Theorists often refer to the means of information warfare to the so-called information weapon, which means a wide class

of means of information influence on the enemy: means of disinformation and propaganda; means of electronic warfare; means of destruction, distortion or theft of information arrays; means of overcoming protection systems; means of limiting the admission of legitimate users; means of disorganization of the work of technical means, computer systems and communication systems, etc.

The purpose of the means of information warfare is to influence the information, information processes and information systems of the enemy to undermine his economy, reduce the degree of combat readiness. At the same time, it means that information warfare can be fought as independently, ie. without the use of traditional means and methods of armed struggle, but in combination with other means and methods of conducting operations (combat operations).

The main means of information warfare. The arsenal of information warfare is large enough. According to the content of the events they can be defensive and offensive. Defensive means are intended to protect information, information processes and systems, preventing the enemy from conducting a successful information attack. These means ensure the implementation of actions to prevent and detect information actions of the enemy, as well as the organization of counteractions.

Defensive means include four large groups:

1) means of a new information infrastructure (a complex of information systems of the Ministry of Defense, the Internet, an integrated information network of the Ministry of Defense, tactical and operational-tactical communication systems, targeting, guidance and navigation, a complex of information storage and processing facilities, information infrastructure management tools);

2) means of ensuring the security of the information infrastructure (means of protecting communication channels, territories, premises, devices, means of operating systems protection, databases, software, encryption means, access control facilities, etc.);

3) means of information support (radio electronic reconnaissance, space reconnaissance, aerial reconnaissance, intelligence reconnaissance, reconnaissance by technical means);

4) means of information-psychological influence (television, radio, print, etc.).

Offensive means of information warfare on the area of their impact can also be grouped into four groups:

1) means of information-psychological impact, which have a psychological effect on the psyche of people and allow them to control their behavior. The resources of this group can be used to solve both offensive and defensive tasks;

2) means of information impact, allowing to receive, transform and transmit critical information, for example, misinform the enemy's personnel;

3) means of active influence that allow to disrupt the functioning of information systems that ensure the functioning of state, military, industry, transport, communication, energy, banks and other agencies' control bodies through information impact;

4) means of impact and fire damage.

Consider a few examples of means of information influence.

First, the already widely used Pentagon satellites, spy planes and unmanned aircraft to track the ground enemy should be mentioned. In the future, thousands of tiny sensors can be dropped from aircraft or hidden on the surface of the Earth.

As a means of informational impact, “Raytheon” developed a device for intercepting information and introducing misinformation, which breaks the intercepted message into segments and combines them in the necessary way to create a new message. This device makes it possible to accumulate data on specific individuals for a long time, to form and transmit false messages in their voice. This is especially important for the tactical link, where every soldier must constantly hear the voice of his commander.

There are thrown unattended information sensors in the arsenal of information warfare authorities. They allow to enter false messages into those communication channels to which there is no direct electromagnetic access.

Means of processing and transferring images find a widespread use to influence the psyche of computer operators. They use the effect of the "25th frame" and special images that paralyze human activity. During the US military exercises in Somalia, the effect of a holographic image of Jesus Christ against a background of a cloud of sand and dust was used. This allowed for a long time to paralyze the actions of personnel. According to the conclusion of the US military experts, the psychotropic losses of Iraqis during Operation Desert Storm greatly surpassed the physical.

A prototype of the "21st century infantry ammunition" was created, and its helmet is equipped with a microphone and headphones, night vision goggles and video terminal sensors, as well as an eye level display that will display the battlefield image from a bird's eye view and constantly updated intelligence data.

It is necessary to emphasize the enormous importance of the Internet for solving both the offensive and defensive tasks of the information war.

The Internet has two important and dangerous properties: survivability and the ability to arbitrarily connect to military control networks of military objects of strategic importance (if they have an "exit" to the Internet).

During the war in the Persian Gulf, the United States, despite its powerful information impact, was never able to completely isolate Iraq from the outside world.

The government of Iraq bought the weapons through the Internet, listing money suppliers stored in foreign banks. So the Americans created, as they say, on their own head, a network that is resistant to "partial damage".

The prevalence of electronic automation of federal services and agencies in the United States creates the conditions for "computer espionage" and information diversions, yet the US continues to develop the national information infrastructure, subordinating it to the idea of American leadership in the world. Information weapons, created in the United States as a result of a major technological breakthrough, fully contributes to its materialization in the foreseeable future.

In view of inherited information isolation and technological backwardness, Ukraine is, of course, less vulnerable than advanced countries such as the United States, Germany and Japan. However, a high degree of centralization of the structures of state management of the Ukrainian economy can lead to disastrous consequences as a result of information impact.

Of course, our special services have the necessary means and know-how to prevent interception, leakage, distortion, destruction of information in information and telecommunications networks and national systems, but the pace of improving information weapons (as well as any type of attacking weapons) exceeds the rate of development of protection technologies. That is why the tasks of timely detection of the impact of information weapons and neutralization of its manifestation should be considered as priority tasks in ensuring national security of the country.

Conclusion from this explosion

In this article, the authors analyzed the impact of information counteraction on the organization of managerial activities of officials.

It is established that the use of modern information technologies as one of the means of armed struggle led to changes in the strategy and tactics of conducting modern wars and military conflicts.

The military-political leadership of many countries of the world developed the concepts of conducting information wars, taking into account the factors of information vulnerability of the warring parties. practical implementation of these concepts is carried out by conducting information (information-psychological) operations.

The analysis of the views of the military-political leadership of some developed states of the world on information warfare showed that it has two components:

information and technical (information operations);

information-psychological (information-psychological operations).

The effectiveness of information warfare in the military sphere, in many respects, depends on the efficiency, purposefulness, continuity and clarity in its organization and management.

For this purpose, an information security system should be established, which the main tasks are:

- forecasting of potential threats to information security, their detection and on this basis forecasting changes in information security;
- implementation of a set of appropriate measures to prevent and eliminate them;
- creation and maintenance of information security resources and means in the readiness for their application.

As a result of the research conducted by the authors of this article, it is proposed to adjust the normative documents in order to take into account additional destructive factors for the organization of managerial activities of officials, namely, information counteraction, and also proposes to change the management training system in order to train the latter to make correct and deliberate decisions in conditions information confrontation.

The direction of further research should be considered the development of the officials activities dynamic model in the context of information resistance.

REFERENCES

1. Pyevtsov, G.V., Zalkin, S.V., Sidchenko, S.O. and Khudarkovsky, K.I. (2014), *Informational security in the military sphere: problems, methodology, system of protection*, Digital printing house, Kharkiv, No. 1, 272 p.
2. Manachinsky, A. (2000), *The Third World War: information war*, Man and the law, Kyiv, No. 3 (4), 41 p.
3. Rusnak, I.S. and Telelim, V.M. (2000), "Development of forms and methods of conducting information struggle at the present stage", *Science and Defense*, Kyiv, No. 2, pp. 18-23.
4. Tolubko, V.B. (2003), *Information struggle (conceptual, theoretical, technological aspects),* monograph, NUDU, Kyiv, 320 p.
5. Tolubko, V.B., Zhuk, S.Yu. and Kosevtsov, V.O. (2004), "Conceptual Foundations of Information Security of Ukraine", *Science and Defense*, Kyiv, No. 2., pp. 19-25.
6. Sidchenko, S.A., Khudarkovsky, K.I and Petrov, V.L. (2004), "Information protection weapons as a new class of weapons in the conduct of information defensive operations", *Information processing systems*, Kharkiv Military University, Kharkiv, No. 11 (39), P. 163-169.
7. Bryukhovsky, G.N., Krylov, G.O. and Turko, N.I. (2000), *Fundamentals of Information Security state at the present stage*, Military academy of the general staff, Moscow, 68 p.
8. Kovtunenko, O.P., Bogucharsky, V.V., Slyusar, V.I. and Fedorov, P.M. (2006), *Weapons on non-traditional principles of action (state, trends, principles of action and protection from it): monograph*, Publishing house Poltava military institute of signal communication, Poltava, 248 p.
9. Pevtsov, G.V. and Cherkasov, O.L. (2008), *Providing information security of the region: problem, concept and ways of its realization*, KRI NAPA "Magister" Publishing House, Kharkiv, 136 p.

10. Kotenko, I.V. (2000), *Legislative-legal and organizational-technical support of information security of automated systems and information networks*, Military Academy of Communications, St. Petersburg, 190 p.
11. Kotenko, I.V. (1998), *Theory and practice of constructing automated information and computing support systems for communication planning processes based on new information technologies,* Military Academy of Communications, St. Petersburg, 404 p.
12. Forbes, A. and Henley, D. (2012), *The Illustrated Art of War: Sun Tzu*, Chiang Mai: Cognoscenti Books. ASIN: B00B91XX8U.
13. Kovalevsky, S.S. (2006), "Information security of the Russian Federation and the current state of informatization of public authorities", *Academy of Trinitarianism*, Moscow, El. No. 776567, pub. 13296.11.05.2006.
14. FM 3-05.30. Psychological Operations. 19 June 2000.
15. FM 3-05.20. Special Forces Operations. 26 June 2001.
16. JP 3-13. Joint Doctrine for Information Operations. 9 October 1998.
17. JP 3-57. Joint Doctrine for Civil-Military Operations. 8 February 2001.
18. Pevtsov, G.V., Zalkin, S.V., Sidchenko, S.O., Khudarkovsky, K.I. and Gordienko, A.M (2015), "Analysis of the structure, functions and tasks of the information and psychological control bodies in the armed forces of the world leading countries", *Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, Kharkiv, No. 3, pp. 37-46.
19. Levchenko, O.V. (2015), "Conceptual approach to the comprehensive assessment of the information security state", *Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, Kharkiv, No. 3, pp. 47-50.
20. Kosogov, O.M. (2015), "Methodological approach to the analysis of threats to the state's information security in the military sphere and the definition of counteraction measures to them", *Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, Kharkiv, No. 3, pp. 51-53.

Надійшла (received) 23.02.2018
Прийнята до друку (accepted for publication) 25.04.2018

Аналіз впливу інформаційної протидії на організацію управлінської діяльності посадових осіб

Д. О. Кисіль, О. Ф. Сальнікова, С. І. Антоненко, А. В. Шишацький

У зв'язку зі збільшенням активності використання сучасних інформаційних технологій як одного із засобів збройної боротьби змінилася стратегія і тактика ведення сучасних війн і військових конфліктів. З цією метою авторами даної статті було розглянуто поняття інформаційної протидії та його вплив на організацію управлінської діяльності посадових осіб. В ході проведення дослідження встановлено, що керівництвом багатьох країн світу розроблені концепції ведення інформаційних війн, що враховують фактори інформаційної вразливості протиборчих сторін, практична реалізація цих концепцій здійснюється шляхом проведення інформаційних (інформаційно-психологічних) операцій. Проведений аналіз поглядів військово-політичного керівництва деяких розвинених держав світу на ведення інформаційної боротьби показав, що вона має дві складові: інформаційно-технічну (інформаційні операції) і інформаційно-психологічну (інформаційно-психологічні операції). В результаті проведеного дослідження авторами даної статті пропонується провести коригування нормативних документів з метою урахування додаткових деструктивних чинників на організацію управлінської діяльності посадових осіб, а саме інформаційного протидії. Також авторами статті запропоновано змінити систему підготовки управлінської ланки, з метою навчання останніх приймати коректні і обдумані рішення в умовах інформаційного протистояння.

Ключові слова: інформаційне протистояння; управління; прийняття рішення; інформаційні технології; інформаційна війна.

Анализ влияния информационного противодействия на организацию управленческой деятельности должностных лиц

Д. А. Кисель, О. Ф. Сальникова, С. И. Антоненко, А. В. Шишацкий

В связи с увеличением активности использование современных информационных технологий как одного из средств вооруженной борьбы изменилась стратегия и тактики ведения современных войн и военных конфликтов. С этой целью авторами данной статьи было рассмотрено понятие информационного противодействия и его влияние на организацию управленческой деятельности должностных лиц. В ходе проведения исследования установлено, что руководством многих стран мира разработаны концепции ведения информационных войн, учитывающие факторы информационной уязвимости противоборствующих сторон, практическая реализация этих концепций осуществляется путем проведения информационных (информационно-психологических) операций. Проведенный анализ взглядов военно-политического руководства некоторых развитых государств мира на ведения информационной борьбы показал, что она имеет две составляющие: информационно-техническую (информационные операции) и информационно-психологическую (информационно-психологические операции). В результате проведённого исследования авторами данной статьи предлагается провести корректировку нормативных документов с целью учёта дополнительных деструктивных факторов на организацию управленческой деятельности должностных лиц, а именно информационного противодействия. Также авторами статьи предложено изменить систему подготовки управленческого звена с целью обучения последних принимать корректные и обдуманные решения в условиях информационного противостояния.

Ключевые слова: информационное противостояние; управление; принятие решения; информационные технологии; информационная война.

UDC 004.891: 004.946: 681.518.5 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.09**

T. Kovaliuk [1], O. Chaikovska [2]

[1] National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI", Kyiv, Ukraine
[2] Kyiv National University of Culture and Arts, Kyiv, Ukraine

EDUCATIONAL PROGRAMS AND PROFESSIONAL STANDARDS IN THE IT FIELD AS FACTORS OF DEVELOPMENT OF IT EDUCATION

The **subject matter** of the article is the processes of synthesis of the information and telecommunication network (ITN) for solving applied problems of safety-critical systems (SCS). The **goal** is to develop a mathematical model for the optimal distribution of applied tasks of safety-critical systems over the ITN nodes. The **tasks** to be solved are: to formalize the procedure of distribution of applied tasks and SCS software over the ITN nodes; to develop a mathematical model of optimal distribution in order to minimize the cost of network resources; to select an effective algorithm for solving it. The **methods** used are: alternative-graph approach, mathematical optimization models, methods for solving nonlinear integer programming problems with Boolean variables. The following **results** were obtained: the task of selecting the ITN optimal structure was formulated according to the alternative-graph model of information processing; in addition to structural characteristics, the requirements for the parameters necessary for performing applied tasks were taken into account while constructing a mathematical model; when minimizing the cost of a computing resource, constraints related to the capabilities for financing the development and operation of the network are taken into account; the costs for organizing additional connections among the network nodes are considered as well. **Conclusions**. The scientific novelty of the results obtained is as follows: 1) the optimization model of distributing applied tasks over the nodes of the computer network was improved by defining the objective function in order to minimize the costs of both computational and data transmission and the constraints caused by the requirements for the technical and information structure of the network; 2) methods for solving the problems of optimizing the ITN structure on the basis of models of nonlinear Boolean programming by transforming the initial task into a linear form and applying the recession vector method was further developed, which makes obtaining a quasi-optimal solution of the problem in the context of large dimension possible.

Keywords: IT-industry; IT-education; professional standard; educational standard; competence.

Introduction

As of effective date of the new law of Ukraine "On Higher Education" and after approval of the new list of knowledge area and specialties, new stage of Ukrainian Higher Education reforming has begun. Autonomy of the Universities in terms of forming educational content is a main sign of this stage. The Universities independently define educational content in terms of result of education as well as discipline list which would ensure this result. The developing educational content is based on competency approach, requirements of National framework of qualifications and stakeholders (employers). Formalization of stakeholders' requirements is reflected in professional standards. Educational content is defined by educational standards. IT industry requirements are very important for Ukrainian Educational Standards in IT knowledge area as IT is an engine of economic growth of Ukraine, so training future IT professionals is a critical task.

Discussion

Problem Statement. Modern trends in development of Information Technologies and innovational approaches can be implemented in Ukrainian companies which will support Ukrainian economic growth as long as qualified professionals are available. Ukrainian Higher Educational Institutions provide IT market with 16 thousands graduates annually [1]. More than 60 Ukrainian Universities train specialists in IT area Higher Education scientists develop educational standards in order to meet requirements of IT industry. Still analysis of IT employers' requirements is not considered. Purpose of this article is to contemplate ways to harmonize IT education and IT Professional Standards in terms of formation, development, accumulation, renewal, assessment of IT professionals' qualifications and competencies in accordance with European e-Competence Framework (e-CF) and Ukrainian stakeholders' requirements.

Actuality of research. IT industry requires competent professionals who are ready to successfully start IT career without additional cost from employer's side. Ukrainian Educational IT Standards were developed without consideration of IT industry needs and European e-CF . Necessary system of requirements to training, experience and skills of the workforce was not introduced as well. Thus, development of professional standards based on competence approach, European e-CF and trends in IT education is a critical problem in Ukraine.

Normative documents on content of Higher Education of Ukraine. In order to ensure that higher education quality corresponds to labor market and international institutions' requirements, it is important to define place and role of educational standards in Ukrainian higher education system and their link to professional standards.

Higher Educational Standard is a set of requirements to content and results of educational activities of higher education and scientific institutions by each higher educational level within each discipline. Higher Educational Standards are intended to define and assess quality, content and results of educational activities of higher educational institutions.

Professional standard is a ratified set of requirements to employees' qualification, their

competencies which are defined by employers. Professional standards are the base for formation of professional qualifications. In accordance to the Law of Ukraine "On Higher Education" [2] the following normative documents define educational content (Fig. 1) [3].

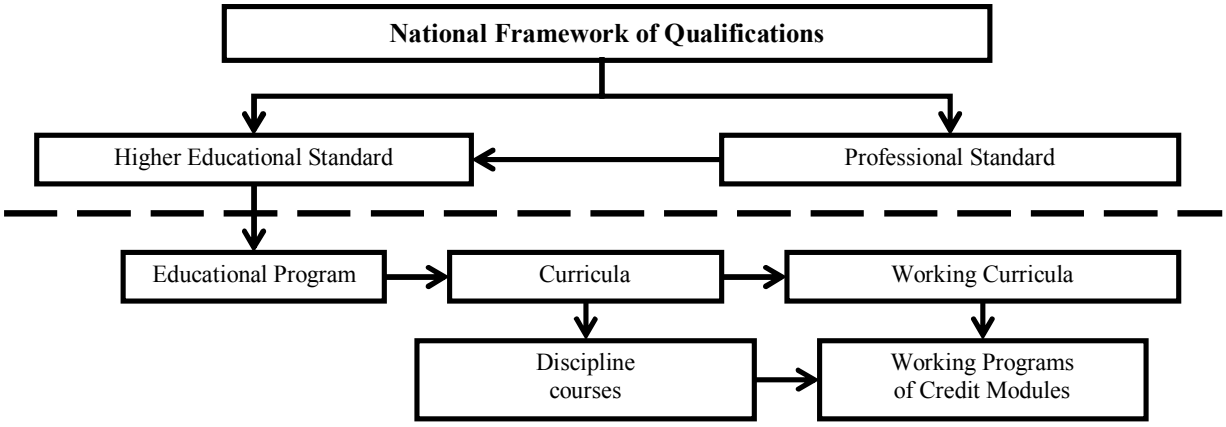


Fig. 1. Normative documents of content of higher education of Ukraine

National Framework of Qualifications (NFQ) is a systematic and structured by competencies description of qualification levels. NFQ is a generalized description of educational results which include clearly-defined criteria of relation to certain qualification. NFQ's qualification levels are described via descriptors which are formulated in terms of results of education based on requirements to knowledge, skills, communicative competency, autonomy, responsibility and general (integral) competency. It is intended to be used by governmental authorities, institutions and organizations which realize state policy in area of education, employment and social labor relations as well as by educational institutions, employers and other legal entities and individuals with purpose of creation, identification, correlation, definition, planning and development of qualifications [4].

Educational program is a system of educational components at respective higher education level within certain discipline. Educational program defines requirements to educational level of individuals who study according to this program, list of educational subjects and logical sequence of the subjects, number of credits ECTS necessary to accomplish this program as well as expected results of education (competencies) which should be obtained by the graduates of respective higher education degree [2].

Program results of education are the complex of knowledge, skills, other competencies obtained by individuals in the process of education as per certain program [2]. It is important to be able to assess and measure those knowledge, skills and competencies.

Educational plan is a document which defines list and amount of normative and selective educational subjects, sequence of their study, form and amount of educational activities, schedule of educational process, summary and control measures [2]. Educational program is developed for each discipline in educational plan. This program includes information about the discipline content and results of education. The normative documents above are the normative base for educational system as per certain subject.

Harmonization of Educational and Professional IT standards in the process of modernization of higher IT education. Professional and Educational standards need to be the elements of united national system of qualifications which should be submitted as complex of interrelated documents providing correlation between professional education and labor market in order to improve quality of training specialists and their competitive ability at local and international labor markets.

Professional standards should not only be based on international standards. International standards can be just one of the resources to create national educational standards in terms of definition of typical tasks, specialized professional and instrumental competencies, basic knowledge and skills. Together with recommendations of Computing Curricula CC2001-CC2005/CS2013/SE2014/IT2014/IS2010/CE2016/MSIS2016/CSE2017 of international IT associations and communities ACM, IEEE, AIS, AITP [6 – 14] professional standards in IT industry contribute to harmonization of graduates' qualifications with employers' requirements.

Interrelation between Professional and Educational standards is represented in Fig. 2 below.

Professional standards provide educational sphere with necessary data regarding graduates' professional activity area, objects of this activity, its kinds and tasks, necessary competencies of future professionals. There are the following directions of application of professional IT standards: development of educational standards based on professional standards; development of educational programs with consideration of IT industry requirements; quality evaluation of education in accordance with employers' requirements; prompt update of educational standards based on changes in professional standards.

In accordance to structure and content of industry standards of higher education, Professional standards might be the base to define competencies required for realization of typical tasks of activity and operational functions of graduates with bachelors' and masters' degree.

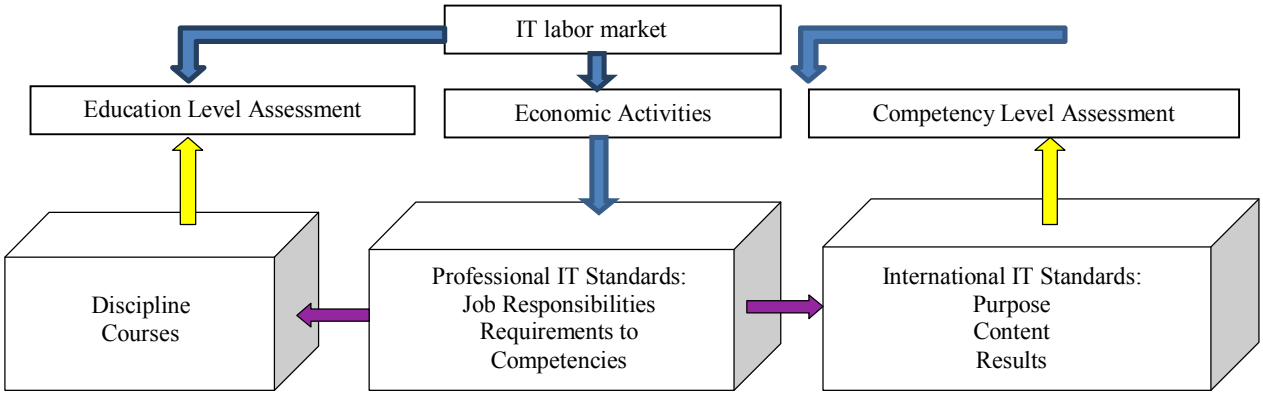


Fig. 2. Interrelation between Professional and Educational IT standards

For example, typical task of activity "Development of functional requirements to projected system" of industry standard of higher education bachelor's degree "Computer science" is inherited from activity task "Defining initial customer's requirements to IS and opportunities of their realization" of Professional standard "Information System Specialist" [15]. Similarly, ability of "Development of requirements and specifications of components in information systems and objects of professional activity" which is defined in industry standard of higher education bachelor's degree "Computer Science" is based on ability to analyze subject area of automation and prepare respective documentation [16].

Requirements to basic knowledge specified in professional standards give opportunity to define list of disciplines in curricula which IT student will obtain. Thus, Professional standard "Information System Specialist" defines such knowledge area as mathematical training, programming, technology and processes of software development, data processing, technical training, and general operational culture. Each of the knowledge area listed above defines detailed study items which will help students to obtain necessary competencies. Using Professional standard basic knowledge list, education stakeholders can define list of study discipline to be included to bachelor's and master's curricula.

Perception of competencies as a result of education in the context of educational standards improves efficiency of the dialogue between employers (as customers of education result) and higher education institutions (as providers of education result). In this regards educational technologies are considered as a way to form competence (via active and interactive teaching methods) and evaluation systems (via involvement employers and professional experts to their development) as a tool to complete the competencies formation.

International IT standards overview. Including accepted in Europe IT courses of study to domestic higher educational system ensures its succession and harmonization with European IT educational programs which is transparent to IT industry, open to qualification and advanced training in terms of Double Degree and Academic Mobility of students, postgraduates and professors. According to international Computing Curricula recommendation, IT education in Ukraine includes the following specialties (table 1) [17].

Table 1. **IT Education Specialties**

Knowledge Area	Specialty code	Specialty name
12 Information Technology	121	Software Engineering
	122	Computer Science
	123	Computer Engineering
	124	System analysis
	125	Cybersecurity
	126	Information Systems and Technology

Structure of educational standard includes the following sections [18]:

1. General characteristic
2. Amount of credits ECTS necessary to obtain respective level of higher education
3. Graduate's competency list
4. Normative content of higher education in terms of results of education
5. Forms of attestation in higher educational institutions
6. Requirements to internal system of higher education quality assurance
7. Requirements of Professional standards (if exist)
8. List of normative documents which are the base for Higher Education Standard

General characteristic of specialty of Ukraine provides description of subject area of activity with definition of study and activity objects, study purpose, theoretical content of subject area, types of professional activity, methods, methodologies and technologies, which should be obtained by graduates of higher education institution, tools and equipment to obtain those knowledge and skills.

Comparative analysis of IT specialties characteristics is represented in table 2.

After detailed discussion regarding comparison of the objects of study and activities and theoretical content of the subject area of education in SE, CS, CE, SA, Cybersecurity, IST, we can say that each IT specialty may declare different opinions regarding systems of teaching, variety of knowledge and skills.

Table 2. **Comparative analysis of activity objects of IT Education Specialties**

Specialty code	Specialty name	Objects of study and activities	Theoretical content of the subject area
121	Software Engineering (SE)	Processes, instrumental tools and resources of software development and support	Basic mathematical, physical, economical statements regarding software development and support; theoretical basis for domain analysis, modeling, projecting, design, software support.
122	Computer Science and Information Technologies (CS&IT)	Mathematical, informational, imitation models of real phenomenon, objects, systems and processes; models of knowledge and data submission; models, methods and technologies of getting, storing, processing, transmitting and using information; theory, analysis, building, effectiveness assessment, realization of algorithms; methods and algorithms of operational multidimensional and intellectual data analysis and decision making; high-productive computing including parallel calculation and vast data; mathematical, linguistic, informational provision of automated systems of data processing and management, pattern and signals recognition systems, projecting automation systems, decision support systems, intellectual systems.	Modern models, methods, algorithms, technologies, processes and ways of data obtaining, providing, processing, analysis, transmission, storage in information systems; knowledge engineering technologies; programming and projecting technologies and platforms, development and quality assurance of IT and IS components; computer graphics methods and data visualization technologies.
123	Computer Engineering (CE)	Programming technical tools of computers and computer systems of universal and special purpose including local, global computer networks, Internet, Internet of Things; Informational processes, technologies, methods and systems of automatic and automated design; establishment, production and operation of programming and technical tools; methods of information processing including high-productive, parallel, divided, mobile, web-based, cloud, energy effective, safe, autonomic, adaptive, intellectual data, etc.	Concept, principles, programming and technical methods and technologies of development, operation and maintenance of computer systems and networks, inbuilt and divided computing.
124	System Analysis (SA)	Mathematical methods and information technologies of analysis, modelling, forecasting, design and decision making in complex systems of different nature.	Theory of leading and decision making, mathematical and computer modeling, mathematical statistics and data analysis, operations research, systems and processes optimization.
125	Cyber security	Technologies of information security of information objects including computer, automated, telecommunication, information, analytical systems, information resources and information technologies, processes of management of information and cyber security of the objects to be protected.	Legislative regulatory framework of Ukraine and requirements of international standards and practices in regards of professional activity; principles of information security systems design; methods of information security vulnerabilities and threats identification, information security assessment; methods of analysis and planning project cyber security solutions.
126	Information Systems &Technologies (IST)	Methods of design and operation of information systems and technologies (IST) in different fields of economics; methods of IST quality assurance, reliability, viability, optimization principles, decisions models and methods in conditions of uncertainty; development of information communications, theoretical and applied tools of design and implementation of intellectual information technologies.	Concept and principles of higher and applied mathematics, programming, computer and mathematical modelling, intellectual data processing, system analysis and projecting, information management, system integration and administration, IT projects management, entities architecture and IT infrastructure.

There is some overlap within these six fields. Essentially, they exist in subsections of the same area, performing complementary different tasks that fit together.

Opinions of international IT standards developers and curators of scientific methodical council of the Ministry of Education and Science of Ukraine differ from the state and trends of IT Education in USA and in the world and understanding difference between specialties CS, CE, SE, IS, IT. Thus, in Computing Curricula 2005 analysis of interrelation between specialties was done (fig. 3) and place of each of them in IT education system was defined [6].

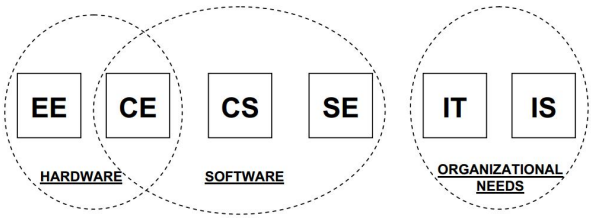


Fig. 3. Interrelation between IT specialties in accordance to Computing Curricula 2005

Analysis of objects of activity, theoretical content, competencies which are defined in standards of IT specialties of Ukraine identifies significant differences with Computing Curricula recommendations. (fig. 4).

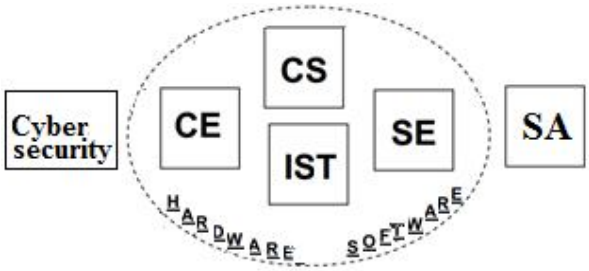


Fig. 4. Interrelation between IT specialties according to Ukrainian standards

Discussions about disagreements, differences and uniqueness of specialties in subject area “Information technologies” in Ukraine are continued.

Professional IT standards overview. Nowadays Ukrainian professional IT standards have been developed for the following professions: [19]

Information systems specialist;

Software developer;

Project manager in information technology;

Product manager in information technology;

Information resources specialist.

These standards are based on international information technology standards ISO / IEC 15288: 2008, ISO / IEC 12207: 2008, European Framework of Competences (e-CF) [20], [21], [22].

IT professions for which professional standards are developed in Ukraine correspond to nomenclature of professional profiles of European e-CF, namely: Information Systems Specialist, Software Developer, IT Project Manager, IT Product Manager, and Information Resources Specialist.

Professional standards operate with such concepts as:

area of professional activity (functional area) is a group of similar professional activities which correspond to one or more economic activities.

type of professional activity is a set of generalized labor functions which are similar in nature, results and conditions of work;

generalized labor function is a set of related work functions, created by division of labor in a particular industrial (business) process;

labor function is a system of labor actions in the framework of generalized work function, which is defined by technological process;

labor action is the simplest manufacturing operation in the process of employees’ interaction with the subject of labor, which results in achieving specific preliminary set goal;

employees’ qualification is a measure of employees’ professional training to perform specific type of work, which includes theoretical knowledge and practical skills that must comply with the Guide features of professional qualification;

level of qualification is a measure of professional skills within specific qualifications.

Professional standard "Information systems specialist" is considered next. Labor functions and labor actions are grouped in 15 functional areas. These functional areas correspond to lifecycle processes of information systems as per the standards ISO / IES 15288: 2008, ISO / IEC 12207: 2008 and e-CF descriptors of ICT competencies relevant to business processes in information systems (table 3): A. PLANNING (PLAN), B. IMPLEMENTATION (BUILD), C. START (RUN), D. ADAPTATION (ENABLE), E. MANAGEMENT (MANAGE) [22].

"*Software developer*" professional standard defines main purpose of professional activity namely development, debugging, testing, modification of software. Section "Requirements to education and training" defines qualification levels in accordance with the Sectoral Qualifications Framework (SQF) and provides list of educational levels required for obtaining certain qualification [23]. This professional standard defines tasks and qualification levels according to the functional areas of software developer as per the framework of competencies (Table 4).

Tasks are classified according to qualification levels, roles and job experience. The skill level according to the IT Industrial Qualifications Framework indicated for positions Junior Developer, Programming Technician, Programming Engineer, Senior Developer and Senior Programming Engineer.

Conclusion

The matter of harmonization of IT industry and IT education based on realization of effective mechanisms in social partnership is a main focus with a long term perspective. Interaction between IT industries and IT education is realized through the establishment of Educational Engineering Centers in Universities and Companies, to align scope and content of educational programs on some professional disciplines with employers, etc.

Table 3. **Correspondence between lifecycle processes, functional areas of information systems specialist professional standard and e-CF descriptors**

№	Functional Area of Professional Standard	Lifecycle Process According to the ISO15288	ICT Competence Descriptor According to the e-CF	ICT Competence According to the e-CF
1	The Pre-contractual Work	Process of Life Cycle Model Management	A. Planning E. Management	A3. Development of business plans E1. Development of forecasts
2	Management of Requirements	The processes of definition of holder's requirements and analysis of system requirements	A. Planning	A2. Management of the service level
3	Customer Support		C. Start	C1. Customer support
4	Human Resources	Human resources management process	D. Adaptation	D3. Organization of studies D9. Staff training
5	Modeling of the Customers' Business Processes	Process of Life Cycle Model Management	A. Planning	A1. Reconciliation of IS and business strategy
6	Communications Management	Information management process	D. Adaptation E. Management	D10. Information and knowledge management E4. Relationship Management
7	Procurement Management	Purchasing and supply processes	D. Adaptation	D4. Ensuring of the procurement process
8	Management of contractual relations	Portfolio management processes	D. Adaptation	D8. Contract Management
9	Development Process	The processes of designing the system's architecture, implementation, integration, qualification testing.	A. Planning B. Implementation	A5. Designing architecture A6. Applications' development B2. Systems' integration B3. Testing
10	Quality Assurance	Process of Quality Assurance	D. Adaptation E. Management	D2. Development of IS Quality Assurance Strategy E6. IS Quality Management
11	Configuration Management	Configuration management process		
12	Deployment/ Implementation of IS	The installation and support of software, support of software acceptance and functioning	A. Planning B. Implementation	A7. Introduction of technologies B1. Design and Development B4. Solutions' Deployment
13	Management of Changes	Software revision process	C. Start E. Management	C2. Changes Support E5. Improvement of processes E7. Management of Changes
14	Document Management	Document management process	B. Implementation	B5. Development of the documentation
15	Security Management	Risk Management Process	C. Start D. Adaptation E. Management	C4. Problem's management D1. Development of Information security strategy E3. Risk Management E8. Information security management

Table 4. **Functional areas, tasks and qualification levels in *software developer* professional standard**

Functional areas	e-CF Descriptors	Tasks	The skill level according to the IT Industrial Qualifications Framework				
			1	2	3	4	5
Management of system development	Manage / Business Management	Analysis of software requirements			+	+	
	Plan /Design	Design of system architecture				+	+
	Plan /Design	Design of software architecture			+	+	+
	Build/Development	Detailed software design		+	+	+	
	Build/Development	Software development	+	+	+		
	Build/Development	Software complexing		+	+	+	
	Build/Development	Software qualification testing	+	+	+		
	Build/Development	System complexing		+	+	+	
	Build/Development	System qualification testing		+	+	+	
Deployment / Implementation	Run/Service&Operation	Software installation		+	+	+	
	Run/Service&Operation	Support of final testing		+	+	+	
Support of functioning	Enable/Support	Software maintenance	+	+	+		

Methodological basis of educational standards in IT areas are Computing Curricula recommendations of IT associations and communities ACM, IEEE, AIS, AITP for specialties Computer Science, Computer Engineering, Software Engineering, Information Systems & Technologies. IT Professional standards define stakeholders' requirements to IT graduates' competencies which helps to improve higher education quality.

REFERENCES

1. Statystychnyy byuleten «*Osnovni pokaznyky diyalnosti vyshchykh navchalnykh zakladiv Ukrayiny za 2016/17 navchalnyy rik*» [Statistical Bulletin "Key Performance Indicators of Ukraine's Higher Educational Institutions for 2016/17 academic year"], available at: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publosvita_u.htm (last accessed March 01, 2018).
2. Verkhovna Rada Ukrayiny (2014, lypen 1). Zakon № 1556-VII, *Pro vyshchu osvitu* [Verkhovna Rada of Ukraine (July 1, 2014). Law No. 1556-VII, On Higher Education], available at: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1556-18 (last accessed March 01, 2018).
3. *Tymchasove polozhennya pro orhanizatsiyu osvitnoho protsesu v KPI im. Ihorya Sikorskoho* [Temporary position on the organization of the educational process in Igor Sikorsky KPI], available at http://kpi.ua/document_programm (last accessed March 01, 2018).
4. Postanova Kabineta Ministriv Ukrayiny (23 lystopada 2011). № 1341 *Pro zatverdzhennya Natsionalnoyi ramky kvalifikatsiy [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine* (November 23, 2011) No. 1341 On Approval of the National Qualifications Framework], available at http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF/paran12#n12 (last accessed March 01, 2018).
5. *Computing Curricula 2001 Computer Science*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2001.pdf (last accessed March 01, 2018).
6. *Computing Curricula 2005. The Overview Report*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2005-march06final.pdf (last accessed March 01, 2018).
7. *Information Technology 2008*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/it2008-curriculum.pdf (last accessed March 01, 2018).
8. *Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems 2010*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/is-2010-acm-final.pdf (last accessed March 01, 2018).
9. *Computer Science Curricula 2013*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/cs2013_web_final.pdf (last accessed March 01, 2018).
10. *Software Engineering 2014*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/se2014.pdf (last accessed March 01, 2018).
11. *Computer Engineering Curricula 2016*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/ce2016-final-report.pdf (last accessed March 01, 2018).
12. *MSIS 2016 Global Competency Model for Graduate Degree Programs in Information Systems*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/msis2016.pdf (last accessed March 01, 2018).
13. *Cybersecurity Curricula 2017*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/csec2017.pdf (last accessed March 01, 2018).
14. *Information Technology Curricula 2017*, available at https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/it2017.pdf (last accessed March 01, 2018).
15. *Profesiinyi standart Fakhivtsia z informatsiinykh system* [Professional standards of Information Systems Specialist], available at https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/IT-prof-standarty/5-ps-spes-infosystems-13.12.2014.pdf (last accessed March 01, 2018).
16. Proekt standartu Vyshchoi osvity "*Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii*", bakalavr [Project of educational standard "122 Computer Science and Information Technologies", bachelor], available at http://mon.gov.ua/activity/education/reforma-osviti/naukovo-metodichna-rada-ministerstva/proekti-standartiv-vishhoyi-osviti.html (last accessed March 01, 2018).
17. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny (1 lyutoho 2017). № 53 Pro *vnesennya zmin do postanovy Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 29 kvitnya 2015 № 266* [Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine (February 1, 2017) № 53 On Amendments to the Decree of Cabinet of Ministers of Ukraine on April 29, 2015, No. 266], available at https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/249722170 (last accessed March 01, 2018).
18. Nakaz Ministerstva osvity i nauky Ukrayiny vid «01» chervnya 2017 № 600 *Metodychni rekomendatsiyi shchodo rozroblennya standartiv vyshchoyi osvity* [Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine on June 01, 2017 No. 600 Guidelines on the development of higher education standards], available at https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/rekomendatsii-1648.pdf (last accessed March 01, 2018).
19. *Profesiyni Standarty* [Professional Standards], available at https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/suchasna-it-osvita-v-ukrayini/profesijni-standarti (last accessed March 01, 2018).
20. *Systems and software engineering – System life cycle processes. International Standard ISO/IEC 15288 - IEEE Std 15288-2008*, available at http://marte.aslab.upm.es/redmine/files/dmsf/p_asys-eggineering-methodolgy/150325093527_52_ISO-IEC-IEEE_15288-2008.pdf (last accessed March 01, 2018).
21. *ISO/IEC 12207:2008 - IEEE Std 12207-2008 Systems and Software Engineering – Software Life Cycle Processes*, available at https://pdfs.semanticscholar.org/presentation/1806/1ac358b6dff0d58422fa6eaa781e0283f351.pdf (last accessed March 01, 2018).
22. *European ICT Professional Profiles*, available at ftp://ftp.cen.eu/CEN/Sectors/List/ICT/CWAs/CWA%2016458.pdf (last accessed March 01, 2018).

23. *Profesiinyi standart Fakhivtsia z rozrobky prohramnoho zabezpechennia* [Professional standards of Software Developer Specialist], available at https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/IT-prof-standarty/6-ps-rozrobnik-pz-13.12.2014.pdf (last accessed March 01, 2018).

Надійшла (received) 22.03.2018
Прийнята до друку (accepted for publication) 23.05.2018

Освітні програми та професійні стандарти в ІТ галузі як фактор розвитку ІТ освіти

Т. В. Ковалюк, О. А. Чайковська

Предметом вивчення в статті є питання взаємодії ІТ-освіти та ІТ-індустрії через зв'язок освітніх і професійних ІТ-стандартів. **Метою** є розгляд необхідності, ролі та основних понять освітніх і професійних ІТ-стандартів у системі ІТ-індустрія – ІТ-освіта, визначення складу нормативної бази змісту вищої освіти України та місця в ній професійних та освітніх стандартів. **Завдання:** показати, що модернізація вищої комп'ютерної освіти має відбуватися з урахуванням вимог роботодавців, для формалізації яких застосовуються професійні ІТ-стандарти. Описати структуру та зміст професійних ІТ-стандартів в Україні. Довести, що професійні стандарти забезпечують сферу освіти необхідною інформацією про області та об'єкти професійної діяльності випускників, їх види, завдання та необхідні компетенції майбутніх фахівців. Використовуваними **методами** є аналіз нормативної бази змісту вищої освіти України, міжнародних документів Computing Curricula та Європейської рамки ІКТ-компетентностей, функціональних галузей, задач діяльності та кваліфікаційних рівнів; опитування роботодавців з метою визначення вимог, що є підставою для визначення компетентностей випускників ІТ-спеціальностей вищих навчальних закладів. **Результати.** В статті поданий порівняльний аналіз особливостей освітніх ІТ-стандартів за шістьма ІТ-спеціальностями галузі знань «Інформаційні технології». Проаналізований взаємозв'язок ІТ–спеціальностей через аналіз об'єктів діяльності та теоретичного змісту предметних галузей, що описані в освітніх стандартів. Визначене місце кожної із ІТ-спеціальності в системі ІТ підготовки бакалаврів. Описана особливість відтворення рекомендацій Computing Curricula в українських ІТ-стандартах. **Висновки.** У статті показано, що методологічною основою системи освітніх ІТ-стандартів України є міжнародні документи Computing Curricula та Європейська рамка ІКТ-компетентностей. На прикладі професійного стандарту фахівця з інформаційних технологій розглянуто його зв'язок із дескрипторами Європейської рамки ІКТ-компетентностей. Аналіз функціональних галузей, задач діяльності та рівнів кваліфікацій, що подані у професійному стандарті розробника програмного забезпечення, визначає зміст підготовки фахівців з розробки та тестування програмного забезпечення. Визначення професійних компетентностей в освітніх стандартах на підставі вимог роботодавців та кваліфікаційних рівнів актуалізує освітні стандарти відповідно до вимог ринку праці. Така гармонізація підготовки робить українських ІТ фахівців конкурентоспроможними із їх закордонними колегами.

Ключові слова: ІТ-індустрія; ІТ-освіта; професійні стандарти; освітні стандарти; компетентності.

Образовательные программы и профессиональные стандарты в IT отрасли как фактор развития IT образования

Т. В. Ковалюк, Е. А. Чайковская

Предметом изучения в статье является вопрос взаимодействия IT-образования и IT-индустрии за связь образовательных и профессиональных IT-стандартов. **Целью** является рассмотрение необходимости, роли и основных понятий образовательных и профессиональных IT-стандартов в системе IT-индустрия – IT-образование, определение состава нормативной базы содержания высшего образования Украины и места в ней профессиональных и образовательных стандартов. **Задания.** Показать, что модернизация высшего компьютерного образования должна происходить с учетом требований работодателей, для формализации которых применяются профессиональные IT-стандарты. Описать структуру и содержание профессиональных IT-стандартов в Украине. Доказать, что профессиональные стандарты обеспечивают сферу образования необходимой информацией об областях и объектах профессиональной деятельности выпускников, их виды, задачи и необходимые компетенции будущих специалистов. **Используемыми методами** являются анализ нормативной базы содержания высшего образования Украины, международных документов Computing Curricula и Европейской рамки ИКТ-компетентностей, функциональных областей, задач деятельности и квалификационных уровней; опрос работодателей с целью определения требований, которые является основанием для определения компетенций выпускников IT-специальностей высших учебных заведений. **Результаты.** В статье представлен сравнительный анализ особенностей образовательных IT-стандартов по шести IT-специальностям отрасли знаний «Информационные технологии». Проанализирована взаимосвязь IT-специальностей через анализ объектов деятельности и теоретическое содержание предметных областей, описанных в образовательных стандартах. Определено место каждой из IT-специальностей в системе IT подготовки бакалавров. Описана особенность воспроизведения рекомендаций Computing Curricula в украинских IT-стандартах. **Выводы.** В статье показано, что методологической основой системы образовательных IT-стандартов Украины являются международные документы Computing Curricula и Европейская рамка ИКТ-компетенций. На примере профессионального стандарта специалиста по информационным технологиям рассмотрены его связь с дескрипторами Европейской рамки ИКТ-компетенций. Анализ функциональных областей, задач деятельности и уровней квалификаций, представленный в профессиональном стандарте разработчика программного обеспечения, определяет содержание подготовки специалистов по разработке и тестированию программного обеспечения. Определение профессиональных компетенций в образовательных стандартах на основании требований работодателей и квалификационных уровней актуализирует образовательные стандарты в соответствии с требованиями рынка труда. Такая гармонизация подготовки делает украинских IT специалистов конкурентоспособными с их зарубежными коллегами.

Ключевые слова: IT-индустрия; IT-образование; профессиональные стандарты; образовательные стандарты; компетентности.

УДК 004.891: 004.946: 681.518.5 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.10**

В. І. Синиця, М. В. Подрубайло

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ В ЧАСОВИХ РЯДАХ МЕТОДОМ ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Предметом вивчення в статті є процеси виявлення прихованих закономірностей поведінки складних систем для вирішення прикладних завдань аналізу і ідентифікації аномальних подій, що виникають в процесі функціонування досліджуваного об'єкту: вияв моменту та локалізація місця виникнення аномальної події, тривалість перебування в деякому числовому діапазоні, визначення причин її виникнення. **Метою** є дослідження можливості застосування методів нелінійної динаміки для виявлення і оцінки закономірностей поведінки складних систем, що генерують невизначені часові ряди. **Завдання:** розробити метод виявлення прихованих закономірностей поведінки складних систем, заснований на темпоральних патернах поведінки, розробити інтелектуальний модуль системи діагностики у вигляді програмно-алгоритмічного забезпечення; розробити інженерну методику побудови математичної моделі сигналу, спрофільованого під задану маску фазового портрета; на прикладах дослідження експериментальних даних довести життєздатність запропонованого методу і дієздатність інженерної методики встановлення зв'язку між видом процесу в системі і фазової траєкторією. Використовуваним **методом** є комбінований підхід, який базується на методах нелінійної динаміки (фазовий аналіз), темпоральних патернах поведінки, що відображають фрагменти відносин в даних, і методах класифікаційного аналізу. Отримані такі **результати.** Розроблено програмне забезпечення в інженерному середовищі графічного програмування LabVIEW фірми National Instruments, яке забезпечує максимальну візуалізацію процесу аналізу і моделювання часових рядів на основі побудови фазових портретів кореляційних функцій часових рядів. В результаті дослідження експериментальних даних на предмет динамічної поведінки за допомогою розробленого програмного модуля були отримані основні різновиди фазових портретів, які відповідають різним стадіям стану системи, що генерує невизначені часові ряди. Здійснено попередню групування, яке засноване на топологічної ідентичності фазових портретів на різних часових сегментах. Проведено аналіз і інтерпретація результатів групування, складена діаграма переходу з одного упорядкованого стану в інший. Побудована математична модель сигналу, спрофільованого під задану маску фазового портрету, за рахунок комбінування окремих компонент, «відповідальних» за окремі особливості фазового портрету, і визначені її параметри. На прикладах дослідження експериментальних даних доведено життєздатність запропонованого методу і дієздатність інженерної методики встановлення зв'язку між видом процесу в системі і фазової траєкторією. **Висновки**. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: запропоновано метод виявлення прихованих закономірностей поведінки складних систем з використанням фазових портретів кореляційної функції, що базується на темпоральних патернах поведінки, і методах класифікаційного аналізу; запропоновано інженерну методику побудови математичної моделі сигналу, спрофільованого під задану маску фазового портрета.

Ключові слова: приховані закономірності; фазовий аналіз; класифікаційний аналіз; виявлення неординарних подій; відновлення залежностей; невизначені часові ряди; аномальні події.

Вступ

В даний час системи інтелектуального аналізу і обробки вимірювальної інформації широко використовуються для визначення станів і аналізу функціонування складних технічних об'єктів, таких як: системи моніторингу і діагностики стану технологічного обладнання, системи геодинамічного моніторингу природно-техногенних явищ, автоматизованих систем керування технологічними процесами, і т. п. [1].

Аналіз проблеми. Задача вияву закономірностей зміни даних та їх взаємовпливу представляє суттєвий інтерес для інтелектуального аналізу та обробки вимірювальної інформації. Серед таких задач – аналіз аномальних подій, що виникають в процесі функціонування досліджуваного об'єкту: вияв моменту та локалізація місця виникнення аномальної події, тривалість перебування в деякому числовому діапазоні, визначення причин її виникнення та формування можливих варіантів її попередження. Однак для більшості складних динамічних об'єктів не представляється можливим виконати їх повний аналітичний опис і, відповідно, сформувати адекватну модель, яка відображатиме закономірності зв'язків об'єкта. Ситуація ускладнюється тим, що в переважній більшості випадків відсутня можливість багаторазового повторення експерименту, а зміни станів об'єктів безпосередньо не спостерігаються. Подібна ситуація є типовою і актуальною для вимірювальних задач при експериментальних фізичних дослідженнях, проблема виявлення відноситься до категорії безмодельних досліджень, а алгоритми їх реалізації до проблеми «сліпої» цифрової обробки сигналів [2].

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження можливості застосування методів нелінійної динаміки для виявлення і оцінки закономірностей поведінки складних систем, що генерують невизначені часові ряди, а також розробка інтелектуального модуля системи діагностики у вигляді програмно-алгоритмічного забезпечення.

Методи вирішення. Завдання виявлення і оцінки закономірностей поведінки складних систем можна розглядати як задачу оцінки поточного стану об'єкта дослідження і завдання встановлення відмінностей між вхідними даними - завдання класифікації. Отже, для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати комбінований підхід, який базується на методах нелінійної динаміки, темпоральних патернах поведінки, що відображають фрагменти відносин в даних, і методах класифікаційного аналізу [3, 4].

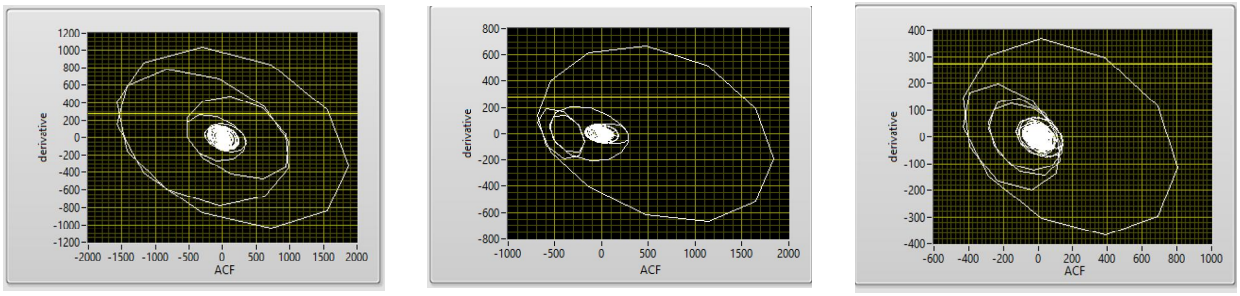
Виклад основного матеріалу і результати досліджень

Для дослідження поведінки складних систем пропонується використовувати представлення процесів в фазовому просторі, яке є потужним засобом для вивчення випадкових процесів, і дозволяє представити поведінку складної системи в наочній геометричній формі.

Розроблено програмне забезпечення в інженерному середовищі графічного програмування LabVIEW фірми National Instruments, яке по суті визначає вимірювальний прилад в системі віртуального інструментарію і забезпечує максимальну візуалізацію.

В результаті дослідження експериментальних даних на предмет динамічної поведінки за допомогою розробленого програмного модуля були отримані наступні основні різновиди фазових портретів, які відповідають різним стадіям стану системи, і представлені на рис. 1 [5].

Для окремих груп наведені ілюстрації декількох типів фазових портретів, які відповідають різним стадіям стану системи.



а б в

Рис. 1. Типові різновиди фазових портретів

Розглянемо особливості отриманих фазових портретів і дамо коротку характеристику представлених різновидів.

Для атракторів всіх різновидів траєкторії процесу розвиваються таким чином: траєкторія виходить з початкової точки і закінчується замкненою кривою - стійким граничним циклом, що відповідає рівноважному порядку в системі. Система, яка генерує досліджуваний часовий ряд, стійка.

Слід зазначити зовсім різні траєкторії і «граничні цикли» для різних видів наведених атракторів.

Атрактори по-різному заповнюють об’єм фазового простору: перший має максимальну площу, другий - середню, а третій - найменшу. Можна сказати, що велика площа є ознакою атрактора зі слабким згасанням, маленька - сильне згасання. Іншими словами, поведінка об'єктів, яку можна описати часовими рядами, характеризується довжиною пам'яті, причому коротка пам'ять відповідає стаціонарним рядах, нескінченна - нестаціонарним рядах, а проміжні значення пам'яті можна віднести до таких типів поведінки часових рядів, коли спостерігається деяка післядія в системі під впливом внутрішнього фактора.

Атрактори відрізняються площею обмеженої області «граничного циклу» (замкнута крива), яка часто називається «плямою» граничного циклу або зоною завихрень. Це говорить про те, що в системі спостерігається ефект «брязкоту контактів» різної інтенсивності, що відповідає режиму періодичних автоколивань.

Також відмінність проявляється в місцезнаходженні «оборотів» фазової траєкторії по квадрантам фазового простору, їх кількості, розміру і відстані між ними. Така відмінність обумовлюється параметрами фактора котрий змінив стан системи, що генерує часовий ряд. Крім того, замкнуті криві можуть утворювати симетричний або асиметричний цикл атрактора.

Крім наведених відмінностей, слід зазначити одну характерну особливість, якою відрізняється другий графік ФП від інших - біфуркацію втрати симетрії, яка відповідає перебудові характеру руху або структури системи. У наведеному випадку біфуркація відповідає появі додаткового обороту в лівій півплощині та відповідає поділу граничного циклу. Така конфігурація ФП визначається появою нового внутрішнього фактора (деформаційної події) впливає на поведінку системи і виходить як результат переходу системи з одного стану в інший.

Завдання знаходження неочевидних закономірностей можна сформулювати як задачу класифікаційного аналізу - виділення у приходящому потоці фазових портретів певного виду, який характеризує поточний стан об'єкта, і віднести його до певного класу подій. Прискорити процес класифікації та вибрати відповідний метод для подальшого аналізу дозволяє попередня групування - виявлення однорідних груп ФП.

Групування здійснювалося за запропонованою евристикою оцінки подібності об'єктів, яка заснована на топологічної ідентичності фазового портрета на різних часових сегментах. При цьому, два фазових портрета вважаються топологічно еквівалентними, якщо існує взаємно-однозначне безперервне відображення, що переводить один фазовий портрет в інший зі збереженням напрямку руху по траєкторіях. Вибір подібної евристики цілком природний при графічному представленні об'єктів, набагато простіший, ніж формувати простір ознак, і не вимагає додаткових обчислень. Евристика полягає в оцінці подібності у вигляді повноти заповнення

фазового простору, характеру фазових траєкторій, області розташування ФП і не суперечить фізичному змісту.

Порівняння проводити за принципом «накладення з вирівнюванням», який використовує перетворення зсуву і масштабу для приведення різних ФП у відповідність один з одним, що жодним чином не змінить відносних відстаней між об'єктами. Як орієнтири обрані великі структурні елементи (подібні ділянки типу дуг, контурів або завитків) - функціонально важливі і несучі найбільшу інформацію при розрізненні об'єктів.

Рішення поставленої задачі - знаходження мінімального набору фрагментів ФП, які подібні між собою - проводилося на основі програмної інженерії в середовищі LabView з використанням максимальної візуалізації процесу обробки [6, 7].

Розглянемо роботу програми з розділення ФП на подібні групи після введення вагових коефіцієнтів (коефіцієнтів заповнення фазового простору).

Індикатором реакції системи на нову деформаційну подію може служити: перехід ФП в інший стійкий стан, порушення плавності кривої фазового портрета і зміна типу кривої, яка описує траєкторію руху.

Було виділено 3 типові групи ФП, що істотно відрізняються одна від одної, графіки якої подані на рис. 2.

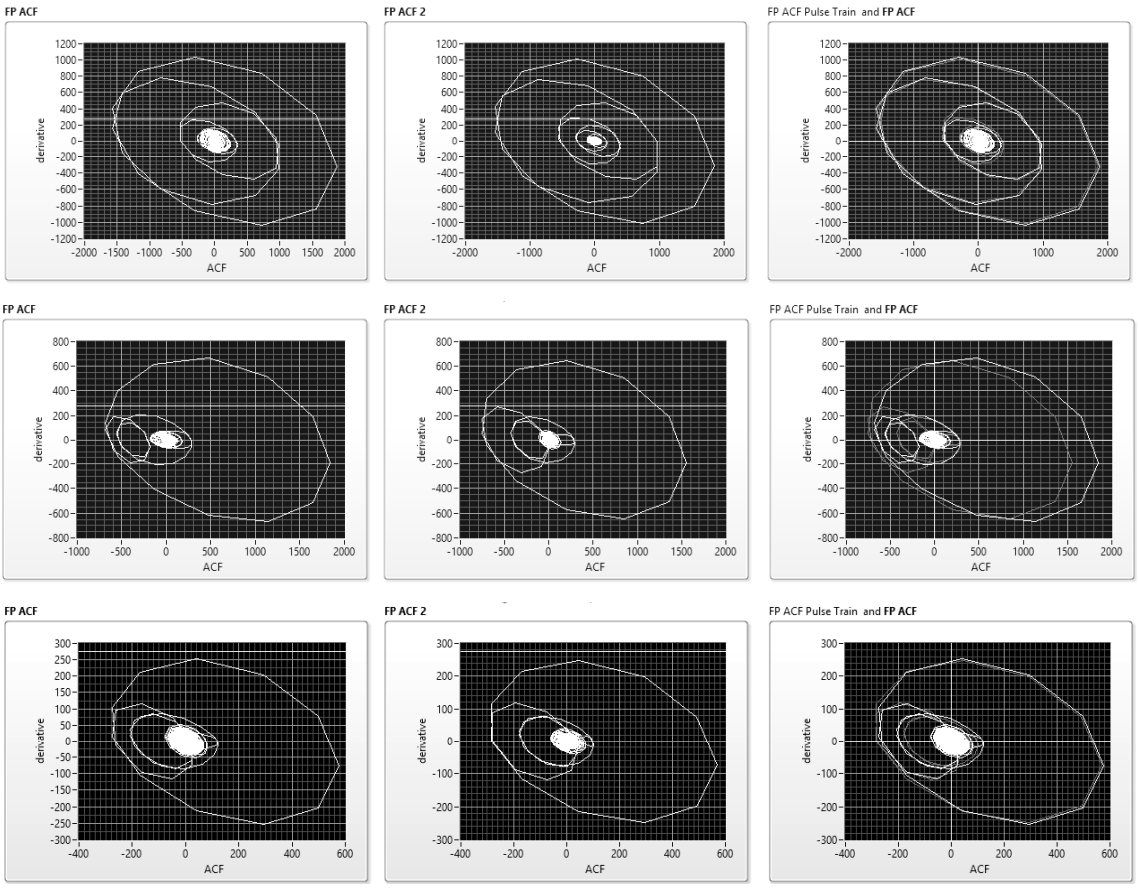


Рис. 2. Графіки представників груп ФП

Неважко помітити, що всередині кожної групи ФП відрізняються між собою більш дрібними деталями, наприклад площею «плями» атрактору, що дозволяє припустити явні відмінності динаміки в «хвостовій» частини процесу (режим «брязкоту контактів»).

Після виділення основних груп було проведено аналіз і інтерпретація результатів групування, складена діаграма переходу з одного упорядкованого стану в інший, яка наведена на рис. 3.

Аналіз діаграми станів показав, що на діаграмі явно проглядаються кілька часових сегментів поведінкового стану системи.

Перший сегмент тривалістю 60 хвилин (19 часових сегментів) відповідає рівноважному порядку в системі і визначається поведінковим станом системи з ФП першої групи. Далі цей рівноважний порядок в системі порушується під впливом деякого фактора, який істотно змінює динаміку системи. Система переходить в інший рівноважний стан, який визначається ФП другої групи (тобто знову зберігається рівноважний порядок, але при інших умовах).

У новому стані системи спостерігаються окремі сегменти, обумовлені короткочасним впливом дестабілізуючих факторів, після закінчення яких система повертається в попередній рівноважний стан.

Таким чином, можна стверджувати, що за час спостереження сталася одна подія, яка істотно змінила стан системи на даному проміжку часу. Решту подій можна вважати другорядними і такими, що потребують подальшої класифікації та інтерпретації фахівцем в термінах конкретної предметної області.

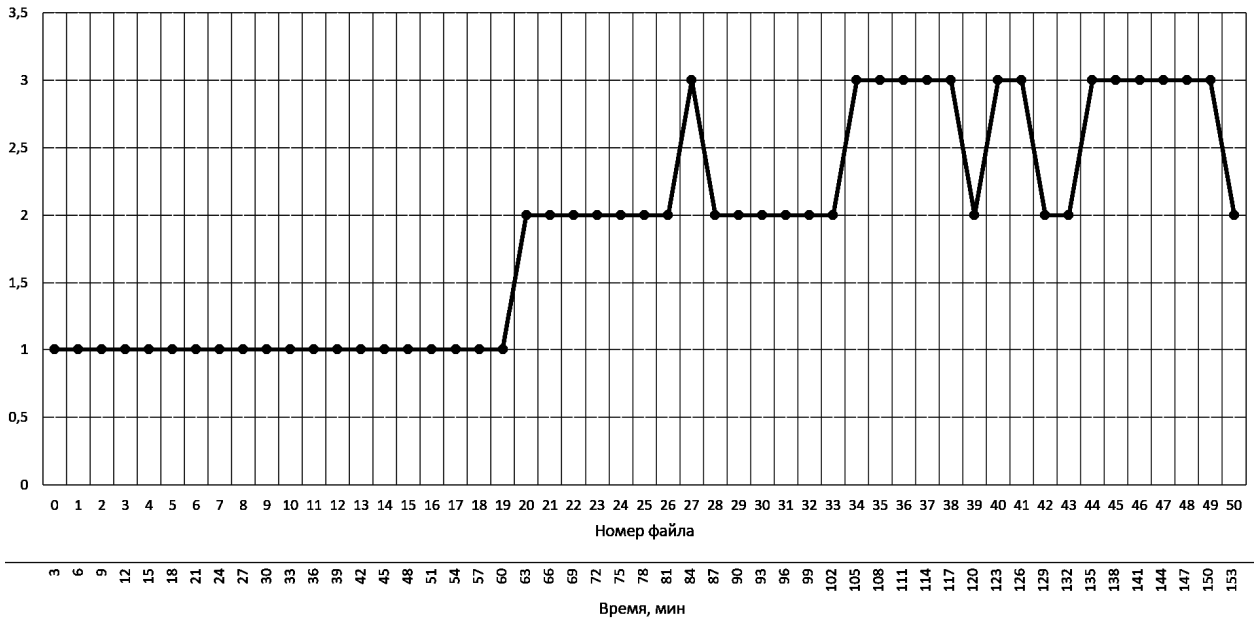


Рис. 3. Діаграма переходу з одного упорядкованого стану в інший

Більшість процесів або супроводжуються сигналами, або проявляють себе у вигляді сигналів, які відображають природу і перебіг цих процесів. Тому завжди виникає завдання побудови математичної моделі подій, які призвели до зміни стану або поведінки системи, а також визначення (оцінювання) її параметрів таким чином, щоб модель адекватно описувала реальний стан системи - задача ідентифікації. Для ідентифікації подій необхідно встановити зв'язок між видом процесу в системі і фазовою траєкторією шляхом конструювання моделі сигналу, що викликав зміну динаміки системи, по фазовому портрету [8].

Запропоновано інженерну методику побудови математичної моделі сигналу, спрофільованого під задану маску ФП, за рахунок комбінування окремих компонент, «відповідальних» за окремі особливості ФП, і визначення її параметрів, що відповідає процедурі структурно-параметричній ідентифікації.

Такий підхід дозволяє ідентифікувати характер події, що генерує експериментальні дані. Слід зазначити, що механізми породження початкових даних на даному етапі залишаються невідомими - побудувати модель джерела генеруючого спостережувані дані без додаткової інформації не представляється можливим. На нашу думку, це можна зробити на основі наявних стереотипів поведінки об'єктів з аналогічними ФП.

Для реалізації даного підходу розроблено програмне забезпечення в середовищі LabView для генерації, як окремих компонентів, так і всього сигналу.

Для демонстрації можливостей процедури відновлення події в якості спостережуваного процесу використовувалися отримані реалізації.

Результати роботи програми з конструювання моделі сигналу (поетапно) для випадку відновлення ФП першої групи, представлені на рис. 4.

Графіки компонент сконструйованого сигналу наведені на рис. 5, а загальне модельне рівняння може бути подано у такому вигляді:

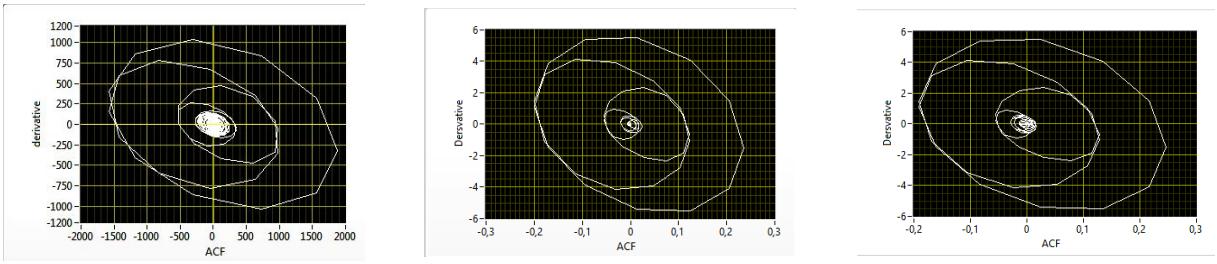
$$y_i = A_1 e^{-\frac{5\pi^2 b^2 f_c^2}{q\cdot\ln(10)}\left(i\Delta t - d_1\right)^2} \cdot cos\left(2\pi\cdot f_c\left(i\Delta t - d_1\right)\right) +$$

$$+A_2 e^{-\frac{5\pi^2 b^2 f_c^2}{q\cdot\ln(10)}\left(i\Delta t - d_2\right)^2} \cdot cos\left(2\pi\cdot f_c\left(i\Delta t - d_2\right)\right) +$$

$$+A_3\cdot\sin\left(2\pi k\left(i\Delta t - d_3\right) + \frac{\pi\varphi_0}{180}\right) +$$

$$+A_4\cdot sin\left(2\pi k\left(i\Delta t - d_4\right) + \frac{\pi\varphi_0}{180}\right) +$$

$$+A_5\cdot\sin\left(2\pi k\left(i\Delta t - d_5\right) + \frac{\pi\varphi_0}{180}\right).$$



а б в

Рис. 4. а – експериментальний ФП; б – основа моделі; в – складена модель

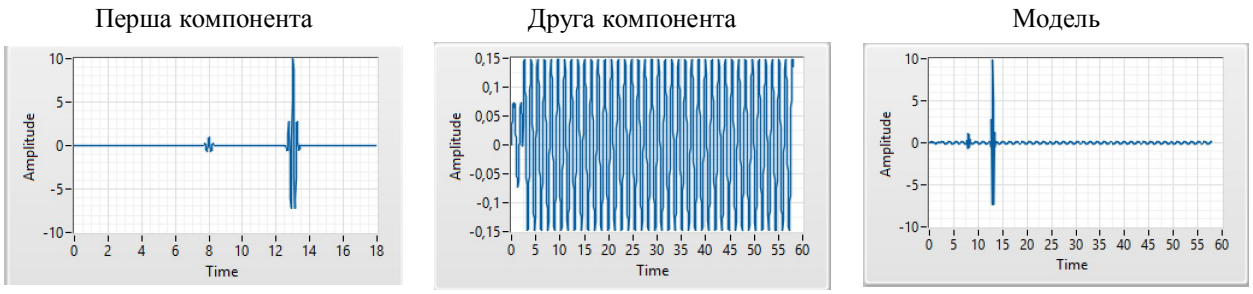


Рис. 5. Графіки застосованих компонент сигналу і модель сигналу

Сконструйована модель дозволяє виявити "основну", "стійку" частину математичної моделі, і потребує налаштування для забезпечення достатньої подібності з оригіналом, шляхом регулювання параметрів окремих компонент, наприклад:

$$y_i = Ae^{-\frac{5\pi^2 b^2 f_c^2}{q\cdot\ln(10)}(i\Delta t-d)^2}\cdot cos\left(2\pi\cdot f_c\left(i\Delta t-d\right)\right),$$

де A - амплітуда,
b – нормалізована ширина смуги,
q – затухання,
f_c – центральна частота (Гц),
d – затримка,

або

$$y_i = A\cdot\sin\left(2\pi k\left(i\Delta t-d\right)+\frac{\pi\varphi_0}{180}\right),$$

де k – кількість циклів в шаблоні,

φ_0 – початкова фаза в градусах.

Висновки

На підставі отриманих результатів моделювання і попередніх досліджень сформульовані наступні положення:

- встановлено, що запропонований підхід до виявлення закономірностей дозволяє встановити причинно-наслідкову залежність між прихованим джерелом і зміною поведінки динамічної системи;
- запропонована інженерна методика конструювання моделі по масці фазового портрета адекватно відображає обраний прототип;
- розроблене програмне забезпечення забезпечує повну візуалізацію, як процесу виявлення неординарних подій, так і процесу конструювання моделі сигналу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабак С. В. Статистическая диагностика электротехнического оборудования / С. В. Бабак, М. В. Мыслович, Р. М. Сысак. – Киев : Изд-во Института электродинамики НАН Украины, 2015. – 456 с.
2. Букреев В. Г. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов: монография / В. Г. Букреев, С. И. Колесникова, А. Е. Янковская. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 254 с.
3. Прикладная статистика: Классификации и снижение размерности : Справ. изд. / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. Под ред. С. А. Айвазяна. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
4. Молевич Н. Е. Нелинейная динамика / Н. Е. Молевич. – Самара : Изд - во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 160 с.
5. Синиця В.І., Подрубайло М.В. Комп'ютерна програма «Автоматизована система побудови і аналізу коррелограм часових рядів»; Свідоцтво: № 714075 від 20.01.17.
6. Синиця В.І., Подрубайло М.В. Комп'ютерна програма «Автоматизована система побудови шаблонів фазових портретів»; Свідоцтво: № 73079 від 25.07.17.
7. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В. Н. Вапник/ – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1979. – 448 с.

REFERENCES

1. Babak, S.V., Myslowich, M.V. and Sysak R.M. (2015), *Statistical diagnostics of electrical equipment*, Publishing house of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Kyiv, 456 p.
2. Bukreev, V.G., Kolesnikova, S.I. and Yankovskaya, A.E. (2010*), Identification of regularities in time series in problems of recognition of states of dynamic objects*, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 254 p.
3. Aivazyan, S.A., Buchstaber, V.M., Enukov, I.S. and Meshalkin, L.D. (1989), *Applied Statistics: Classifications and Diminishing*, Finance and Statistics, Moscow, 607 p.
4. Molevich, N.E. (2007), *Nonlinear Dynamics*, Publishing House of the Samara State Aerospace University, Samara, 160 p.
5. Sinitsa, V.I. and Podrubaylo, MV (2017), computer program "*Automated system of construction and analysis of correlohram of time series*"; Certificate No. 714075 dated July 20, 2017.
6. Sinitsa, V.I. and Podrubaylo, M.V. (2017), computer program "*Automated system for building templates of facial portraits*"; Certificate No. 73079 dated July 25, 2017.
7. Vapnik, V.N. (1979), *Restoration of dependencies on empirical data*, Science, Moscow, 448 p.

Received (Надійшла) 28.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

Выявление закономерностей во временных рядах методом программной инженерии

В. И. Синица, М. В. Подрубайло

Предметом изучения в статье являются процессы выявления скрытых закономерностей поведения сложных систем для решения прикладных задач анализа и идентификации аномальных событий, возникающих в процессе функционирования исследуемого объекта: проявление момента и локализация места возникновения аномальной события, длительность пребывания в некотором числовом диапазоне, определения причин ее возникновения. **Целью** является исследование возможности применения методов нелинейной динамики для выявления и оценки закономерностей поведения сложных систем, генерирующих неопределенные временные ряды. **Задачи**: разработать метод выявления скрытых закономерностей поведения сложных систем, основанный на темпоральных паттернах поведения, разработать интеллектуальный модуль системы диагностики в виде программно-алгоритмического обеспечения; разработать инженерную методику построения математической модели сигнала, спрофилированного под заданную маску фазового портрета; на примерах исследования экспериментальных данных доказать жизнеспособность предложенного метода и дееспособность инженерной методики установления связи между видом процесса в системе и фазовой траектории. Используемым **методом** являются комбинированный подход, основанный на методах нелинейной динамики (фазовый анализ), темпоральных паттернах поведения, отражающие фрагменты отношений в данных, и методах классификационного анализа. Получены следующие **результаты**. Разработано программное обеспечение в инженерной среде графического программирования LabVIEW фирмы National Instruments, которое обеспечивает максимальную визуализацию процесса анализа и моделирования временных рядов на основе построения фазовых портретов корреляционных функций временных рядов. В результате исследования экспериментальных данных на предмет динамического поведения с помощью разработанного программного модуля были получены основные разновидности фазовых портретов, соответствующие различным стадиям состояния системы, генерирует неопределенные временные ряды. Осуществлена предварительная группировка, основаная на топологической идентичности фазовых портретов на различных временных сегментах. Проведен анализ и интерпретация результатов группировки, составлена диаграмма перехода с одной упорядоченного состояния в другое. Построена математическая модель сигнала, спрофилированного под заданную маску фазового портрета, за счет комбинирования отдельных компонент, «ответственных» за отдельные особенности фазового портрета, и определены ее параметры. На примерах исследования экспериментальных данных доказано жизнеспособность предложенного метода и дееспособность инженерной методики установления связи между видом процесса в системе и фазовой траектории. **Выводы**. Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: предложен метод выявления скрытых закономерностей поведения сложных систем с использованием фазовых портретов корреляционной функции, основанный на темпоральных паттернах поведения, и методах классификационного анализа; предложено инженерную методику построения математической модели сигнала, спрофилированного под заданную маску фазового портрета.

Ключевые слова: скрытые закономерности; фазовый анализ; классификационный анализ; выявление неординарных событий; восстановления зависимостей; неопределенные временные ряды; аномальные события.

Identification of regularities in time series by the method of software engineering

V. Sinitsa, M. Podrubailo

The **subject** of the study in the article are the processes of revealing hidden models of behavior of complex systems for solving applied problems of analysis and identification of anomalous events occurring in the process of functioning of the investigated object: the manifestation of the moment and localization the occurrence of an anomalous event, the length of stay in a certain numerical range and the causes of its occurrence. **The purpose** is to investigate the possibility of using nonlinear dynamics methods to identify and evaluate patterns of behavior of complex systems that generate indefinite time series. The **tasks** to be solved are: to develop a method for identifying hidden patterns of behavior of complex systems, based on temporal patterns of behavior, to develop an intelligent module of the diagnostic system in the form of software and algorithmic support; to develop an engineering technique for constructing a mathematical model of a signal, profiled for a given mask of a phase portrait; on the examples of the research of experimental data, to prove the viability of the proposed method and the ability of the engineering technique to establish the relationship between the type of process in the system and the phase trajectory. The **method** used is a combined approach based on methods of nonlinear dynamics (phase analysis), time patterns of behavior reflecting fragments of relationships in data and methods of classification analysis. The following **results** are obtained. Software is developed in the LabVIEW graphical programming environment of National Instruments, which provides maximum visualization of the process of analyzing and modeling time series based on the construction of phase portraits of correlation functions of time series. As a result of researching experimental data on dynamic behavior with the help of the developed software module, the main types of phase portraits corresponding to different stages of the system state were generated, generating non-definite time series. A preliminary grouping of phase portraits based on the topological identity of phase portraits at various time segments was carried out. The analysis and interpretation of grouping results are carried out, the diagram of transition from one ordered state to another is made. A mathematical model of a signal configured for a given mask of a phase portrait is constructed, by combining individual components "responsible" for individual features of the phase portrait, and its parameters are determined. On the examples of the research of experimental data, the viability of the proposed method and the ability of the engineering technique to establish the connection between the type of process in the system and the phase trajectory are proved. **Conclusions**. The scientific novelty of the results obtained is as follows: a method is proposed for revealing the hidden regularities in the behavior of complex systems using phase portraits of the correlation function, based on temporal patterns of behavior, and methods of classification analysis; an engineering technique for constructing a mathematical model of a signal, configured for a given mask of the phase portrait, was proposed.

Keywords: hidden regularities; phase analysis; classification analysis; revealing of extraordinary events; restoration of dependencies; indefinite time series; anomalous events.

UDC 004. 056.53 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.11**

R. Tomashevskyi [1], T. Sokol [2], Z. Dotsenko [1]

[1] National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
[2] Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine.

OPPORTUNITY AND PLANNING BIM-ANALYSIS FOR MONITORING BLOOD

Results of the study of the possibility of using the results of the bioimpedanceometry method for monitoring hidden and spontaneous bleeding are presented. The current problem of accounting for blood loss during resuscitation, surgery and rehabilitation activities is shown. The use, as informative parameters, of the spectral properties of the bioimpedance signal, namely, the coefficient of inter-spectral correlation of the original measurement signal and its linear transformation is proposed. In work, the existing models substantiating the prospects of using the bioimpedance method for such problems are considered in detail, and the calculated empirical expressions for determining the volume of liquid segments of the human body are given. The mathematical substantiation of the method of inter-spectral correlation based on the calculation of the correlation coefficients of the wavelet-decomposition coefficients of the original signal and its linear transformation is given. The results of experimental studies on the approbation of this method for fixed venous blood sampling are presented in the work. Using criterial T-statistics, a quantitative evaluation of the effectiveness of the options for choosing the spatial placement of measuring electrodes in bioimpedanceometry was carried out. The obtained results allow to draw a conclusion about the possibility and prospects of the proposed method for real-time monitoring of the onset of latent and spontaneous hemorrhages, and also make it possible to formulate recommendations for placement of measuring electrodes on the patient's body.

Keywords: blood loss; active monitoring; bioimpedance analysis; wavelet transformation; inter-spectral correlation; T-statistics.

Introduction

Statement of problem. The problem of taking into account the volume of blood loss is of exceptional importance not only for choosing a strategy for any resuscitation in traumatic amputations, but also for diagnosing closed trauma and postoperative complications. The existing methods [1-2] of monitoring such blood loss are imperfect and exclude the possibility of monitoring in real time, which is critical, especially for cases of acute blood loss.

The analysis of literature sources [3-4] showed great promise of using the bioimpedancometry method for studying the state of the vascular bed and liquid media of the organism, which gives definite hopes for the effective application of this method to control hidden blood loss.

The aim of work is development of a method for active monitoring of hidden and spontaneous blood loss in the process of postoperative rehabilitation based on bioimpedance analysis of the patient's body.

Analysis of literature sources and recent research. According to the generally accepted classification, three degrees of blood loss are distinguished: mild, moderate and severe [2, 5]. Their main characteristics are given in Table 1.

Usually, when calculating the estimated volume of blood loss, a shock index is calculated that is equal to the ratio of the heart rate value to the systolic blood pressure value. Table 2 shows the correspondence of the calculated indices to the estimated values of blood loss.

The method of assessing the volume of blood loss, based on a comprehensive approach that takes into account both the nomogram for determining hemorrhagic hemorrhage, is more accurate (table 3).

With gastrointestinal bleeding, the deficit of volume of circulating blood can be determined by the parameters of hematocrit (table 4).

The bioimpedance method is based on measuring the impedance Z of the whole body or individual body segments using special instruments - bioimpedance analyzers [6-10]. The electrical impedance of biological tissues has two components: active R and reactive resistance X.

The component of the active resistance R in the biological object are liquids (cellular and extracellular), which possess the ionic conduction mechanism [11-15]. The component of reactive resistance X_C are cell membranes.

Table 1. **Blood loss rates**

Rate of blood loss	The degree of hemorrhage		
	mild	moderate	severe
Volume deficit,% due	Up to 20	21 to 30	More than 30
Number of eryth-rocytes, $x10^{12}$ / l	3.5 or higher	2,5-3,5	Less than 2.5
Hemoglobin level, g / l	More than 100	80-100	Less than 80
Pulse rate, number of beats per minute	Up to 80	80-100	More than 100
Systolic blood pressure, mmHg	100 or higher	80-100	Less than 80
Hematocrit,%	More than 30	25-30	Less than 25

Table 2. **Correspondence of shock indices to estimated values of blood loss**

Index	Blood loss volume,%
0,4	0
0,78	10-20
0,99	20-30
1,11	30-40
1,38	40-50
More than 1,5	More than 50

Table 3. **Assessment of the volume of blood loss**

The volume of blood loss (in dm^3) with body weight kg			Volume of circulating blood %	Systolic blood pressure, mmHg	Shock index	Systolic blood pressure, mmHg	Volume of circulating blood %	The volume of blood loss (in dm^3) with body weight kg		
60	70	80						60	70	80
2,8	2,5	2,1	50	40	3,0	0	55	2,3	2,7	3,1
1,5	2,2	1,9	45	50	3,5	40	50	2,1	2,5	2,8
2,1	1,9	1,6	38	70	2,0	50	45	1,9	2,2	2,5
1,7	1,5	1,3	30	80	1,5	70	38	1,6	1,4	2,1
1,0	0,9	0,8	18	90	1,0	90	0	0,8	1,0	1,1
injury						surgery				

Table 4. **Volume of circulating blood shortage estimation**

Hematocrit value,%	12	16	20	24	28	32	36
Deficiency of volume of circulating blood, ml/kg	50	35	25	21	17	14	12

Bioimpedance analysis of the body composition is to estimate the amount of fluid in the bioobject, since it is the liquid medium that creates the active constituent of conductivity [3-4, 16-18].

Equivalent scheme of the bioobject, also called the Fricke-Morse model, contains the resistance of the extracellular fluid R_E, the resistance of the cell fluid R_C and the capacity C_M of the membranes. To determine the volume of extracellular fluid, it is necessary to measure the impedance at a constant current, since in this case the cell membranes remain impermeable, and the intracellular fluid does not affect the measurement result. To determine the total body fluid, it is necessary to measure the impedance at an infinitely large frequency when the current passes through the cell [19-25].

In the classical representation for bioimpedancometry (BIM), there are several physical models of the body composition (Fig. 1), the main ones of which are the model of a homogeneous body (Fig. 1, a) and the model of the mixture (Fig. 1, b) [14, 26-27].

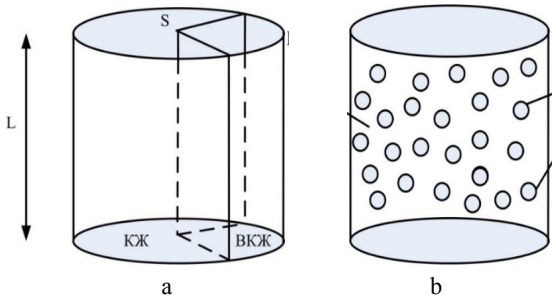


Fig. 1. Electrophysical models of the human body for the bioimpedanceometry method:
a – a cylindrical model of a homogeneous body;
b – a cylindrical model of mixture (Hanai).

The basic element of the homogeneous model (Fig. 1, a) of the human body for evaluating the liquid content in the body is a cylinder with a cross-sectional area S and a height L and a constant specific resistance - ρ [28-30].

The cylinder is divided into two sectors, one of which fills all cells of the body, the other - a conductive electrolyte of extracellular fluid.

The resistance of a cylindrical body is given by

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{\rho L^2}{V}, \quad (1)$$

$$V = \frac{\rho L^2}{R}. \quad (2)$$

The homogeneous body model does not take into account the fact that nonconducting components are distributed inside the volume of the conducting medium and therefore the current density is spatially nonuniform. Hanai (1968) proposed a model for a mixture in which biological tissue is represented as a suspension of nonconducting particles in a liquid conducting medium (Fig. 1, b) [31]. This model is valid only if the organism is sensed by currents of low frequency.

The average resistivity ρ in the mixture model is described by the expression:

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1-P)^{3/2}}, \quad (3)$$

where ρ_0 – resistivity of liquid conducting medium, P – percentages of nonconducting particles in the total body volume.

Bioimpedance measurement is of three types:

local - the measurement of the impedance of an individual part of the body;

segmental - measurement of bioimpedance of a separate part of the body;

integral - the measurement of the bioimpedance of the whole organism.

In addition, according to the number of frequencies used in measuring the bioimpedance of the body, there are: single-frequency BIM, two-frequency, multifrequency and spectroscopy [32].

It is of interest to use the time-frequency properties of BIM signals correlated with the dynamics of the blood supply to the organism [33]. Such signals make it possible to obtain control information in real time, monitoring the time-dependent nonstationarity of the blood flow with random factorial influence (change in the volume of the vascular bed).

Mathematical justification of the method of inter-spectral correlation

Consider the result of measuring bioimpedancometry at several frequencies as random processes. It is known that when the harmonics of the original processes are correlated, the latter become spectrally nonstationary [34]. Such non-stationarity can be identified by calculating the coherence function [35], which is determined by the expression [36].

$$\gamma_{xy}(\omega)=\frac{\left|f_{xy}(\omega)\right|}{\left[f_x(\omega)\cdot f_y(\omega)\right]^{1/2}}, \quad (4)$$

$f_{xy}(\omega)$ – mutual spectral density of stationary coupled signals $x(t)$ и $y(t)$; $f_x(\omega)$; $f_y(\omega)$ – spectral densities of nonstationarity of any of the processes $x(t)$ and $y(t)$. Hence, a condition is obtained

$$0<\gamma_{xy}(\omega)<1 \quad (5)$$

Let us now consider some random measuring signal existing on a finite interval T of its observation time. To reveal the spectral properties of such a signal, we use its two-dimensional time-frequency (on the scale "a" and the shift "b") wavelet transform, carrying out the convolution of the signal $x(t)$ with a certain basis wavelet function $\psi(t)$ [36].

$$W_x(a,b)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\int_{-\infty}^{\infty} x(\mathrm{t})\cdot\psi(\frac{t-b}{a})\,\mathrm{dt} \quad (6)$$

For a discrete continuous wavelet transform, the convolution results will be represented by a set of wavelet coefficients $W_x(a_j,b_i)=\eta_{ji}$, $j=\overline{1,h}$, $i=\overline{1,m}$ [36], where h is the number of scales, m is the number of shifts. It is known. that such a model of a continuous wavelet transform increases the mutual correlation of the wavelet coefficients obtained [35]. To reduce the latter, we differentiate (for example, k times) the analyzing wavelet $W\left[x(t)\right]$, which is equivalent, based on the properties of the wavelet transform, to differentiating the realization of the signal $X(t)$.

$$\frac{d^K}{dt^K}W\left[x(t)\right]=W\left[\frac{d^K}{dt^K}x(t)\right]. \quad (7)$$

We denote the wavelet coefficients obtained with this differentiation as $W_y(a_j,b_i)$. We will consider the basic and differentiated spectra, both realizations $V_{ji}=W_y(a_j,b_i)$ и $U_{ji}=W_y(a_j,b_i)$ of system (V,U) for random variables V and U.

For processes $x(t)$ and $y(t)$, condition (5) for the coherence function (4) leads to the condition

$$0<\left|R_{VU}\right|<1, \quad (8)$$

where $$R_{VU}=\left|K_V\right|\Big/\left[\sigma_V^2\cdot\sigma_U^2\right]^{1/2}, \quad (9)$$

K_{VU} – covariance (a joint second-order central moment) between the spectra V_{ji} and U_{ji};

σ_V^2, σ_U^2 – dispersion of spectra V_{ji} and U_{ji}.

Taking into account that the coefficient of linear pair correlation R_{VU} normalized $\left(-1<R_{VU}<1\right)$, It makes sense to remove the modulus constraint for this coefficient.

In this case, the restriction on the sign of covariance K_{VU}, which is defined by expression

$$K_{VU}=(N-1)^{-1}\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m}(V_{ji}-\overline{V})(U_{ji}-\overline{U}), \quad (10)$$

where $N=h\cdot m$, $\overline{V},\overline{U}$ – average values of wavelet spectra $V_{j,i}=W_x(a_j,b_i)$ и $U_{j,i}=W_y(a_j,b_i)$.

Taking into account the two-dimensionality of the wavelet spectrum with respect to the frequency ω (given by the scale) and in time t (given by a shift), we introduce factor models of the spectral nonstationarity of the process $x(t)$.

1. Frequency nonstationarity (in scale)

$$V_{ji}^{(\omega)}=\overline{V}+\delta_j^{(\omega)}+z_{ji}^{(t)}, \quad (11)$$

where $\delta_j^{(\omega)}$ – functional spectrum change V_{ji} along the scale axis, caused by the influence of the spectral nonstationarity factor (for a fixed observation time);

$z_{ji}^{(t)}$ – random (residual) changes in harmonics $W_x\left(a_j,b_i\right)$ spectrum over time (for a fixed scale).

2. Temporary non-stationarity (by shift):

$$V_{ji}^{(t)}=\overline{V}+\delta_j^{(t)}+z_{ji}^{(\omega)}, \quad (12)$$

where $\delta_i^{(t)}$ – functional change in the spectrum along the shift axis (due to the nonstationarity factor);

$z_{ji}^{(\omega)}$ – random (residual) changes in the spectrum V_{ji} by frequency (shift - fixed).

In the models (11) and (12) for deviations $\delta_j^{(\omega)}$, $\delta_i^{(t)}$, $z_{ji}^{(\cdot)}$ can impose conditions $\sum_{i=1}^{h}\delta_j^{(\omega)}=\sum_{i=1}^{m}\delta_j^{(t)}=0$; $\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m}z_{ji}^{(\omega)}=\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m}z_{ji}^{(t)}=0$, and the conditions for the constancy of residual dispersions $M\left[z_{ji}^{(\omega)^2}\right]=\sigma_{(\omega)}^2$ и $M\left[z_{ji}^{(t)^2}\right]=\sigma_{(t)}^2$ ($M[\cdot]$ – sign of mathematical expectation.

With respect to the spectra $v(a, b)$ и $\upsilon(a, b)$ of signal $U(t)$ and its linear transformation $V_U(t)$, the coherence function can be transformed into a coefficient of normalized inter-spectral correlation (as an analog of the auto-coherence function [35]):

$$R_{\nu\upsilon} = \frac{M\left[\overset{o}{\nu}(a,b)\cdot\overset{o}{\upsilon}(a,b)\right]}{M\left[\overset{o}{\nu}(a,b)^2\right]^{1/2}\cdot M\left[\overset{o}{\upsilon}(a,b)^2\right]^{1/2}} \quad (13)$$

Actually, $R_{\nu\upsilon}$ – this is the normalized joint second-order moment of random variables $\nu(a, b)$ and $\upsilon(a, b)$.

In the case of active monitoring of blood loss, that is, the receipt and processing of informative parameters of the organism's state (in this case, the circulatory system), the indicators of nonstationarity in time (in the case of wavelet transforms by shift) will be of particular interest.

Use of inter-spectral correlation coefficients (ISCC) for active monitoring of blood loss

The input signal when using **ISCC** for active monitoring of blood loss will be a sampled BIM signal x_k at several frequencies, for example, $x20_k$, $x100_k$ и $x500_k$, at frequencies 20,100 и 500 kHz. In this case, k is the time reference number, i = 0..n. The linearly transformed signal, in our case the first derivative, is denoted by dx_i.

We perform a wavelet transformation of a signal with a window of width b. The choice of the parent wavelet and the width of the window will be carried out in subsequent work. In this paper we used a Morley wavelet with a window width of 30. The results of the wavelet transform of the signal and its linear transformation will be two coefficient matrices $X_{i,j}$ and $dX_{i,j}$. The coefficient of spectral nonstationarity by the shift will have the form:

$$RSM_j = \frac{\sum_{i=0}^{a-1}\left[\left(X_{i,j}-Mx_i\right)\cdot\left(dX_{i,j}-Mdx_i\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(X_{i,j}-Mx_i\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(dX_{i,j}-Mdx_i\right)^2}} \quad (14)$$

where $Mx_i = \frac{1}{b}\cdot\sum_{j=0}^{b-1} X_i$, $Mdx_i = \frac{1}{b}\cdot\sum_{j=0}^{b-1} dX_i$ – mathematical expectations on the scale of the wavelet coefficients of the signal $X_{i,j}$ and its linear transformation $dX_{i,j}$.

The developed method makes it possible to obtain additional information on the nonstationarity of higher-order spectra.

For example, for a second-order spectrum (a power spectrum), the spectral non-stationarity by shift will have the form

$$RSD_j = \frac{\sum_{i=0}^{a-1}\left[\left(X_{i,j}-Ddx_i\right)\cdot\left(dX_{i,j}-Ddx_i\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(X_{i,j}-Ddx_i\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(dX_{i,j}-Ddx_i\right)^2}} \quad (15)$$

where $Dx_i = \frac{1}{b}\cdot\sum_{j=0}^{b-1}\left(X_i - Mx_i\right)$,

$$Ddx_i = \frac{1}{b}\cdot\sum_{j=0}^{b-1}\left(dX_i - Mdx_i\right).$$

As an integral indicator, we can use the average value of the correlation coefficient on the observation window for the spectrum of the first

$$RSM = \frac{\sum_{i=0}^{a-1}\left[\left(Mx_i - Mx1\right)\cdot\left(Mdx_i - Mdx2\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(Mx_i - Mx1\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(Mdx_i - Mdx2\right)^2}} \quad (16)$$

and of the second order

$$RSD = \frac{\sum_{i=0}^{a-1}\left[\left(Dx_i - Bx1\right)\cdot\left(Bdx_i - Bdx2\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(Bx_i - Bx1\right)^2}\cdot\sqrt{\sum_{i=0}^{a-1}\left(Bdx_i - Bdx2\right)^2}} \quad (17)$$

A significant change in the hemodynamics of the vascular bed, which can be interpreted as an external factorial effect of the blood-vessel system, can be estimated from a significant change in the coefficient of inter-spectral correlation (in the temporal region). Checking the significance of the differences in the coefficients is possible according to one of the standard statistical tests (for example, T-statistics) taking into account the given level of risk.

Approbation of the developed method. The discussion of the results.

To achieve this goal, a series of test active (with deterministic moments of the beginning and end of the selection of a fixed volume of blood) experiments was carried out. The experiment was conducted on the basis of the Military Medical Clinical Center of the Northern Region. A series of 9 measurements with different patients was performed. Selection of blood was carried out by medical personnel, volume fixed - 450 ml. Measurements of the BIM signals were carried out at 2 frequencies – 20 and 500 kHz. To obtain the primary signal, we used a four-electrode circuit for obtaining a BIM signal with four different electrode deposition options. Fig. 2 shows typical implementations of BIM signals for frequencies of 20, 100 and 500 kHz. This figure shows the boundaries separating the complete period of the patient's observation into three phases: phase 1 - absence of blood loss (initial phase); phase 2 - the presence of blood loss (active phase); phase 3 - no blood loss (end phase).

Fig. 3 shows the results of estimating ISCC (RSM, RSD) for 20 kHz, calculated from Eqs. (14, 15).

Table 5 presents the results of **ISCC** (RSM and RSD) estimation for the four spatial arrangements of the BIM transducers on the patient's body.

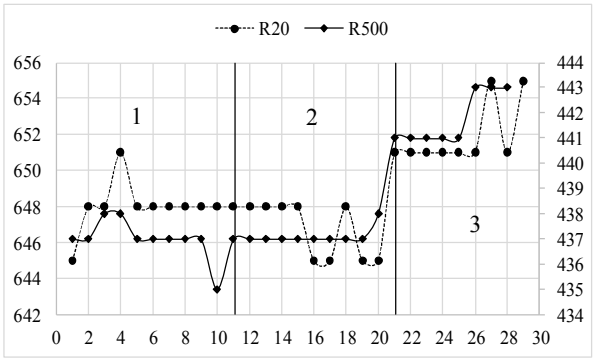


Fig. 2. Typical implementations of BIM signals for frequencies of 20 and 500 kHz

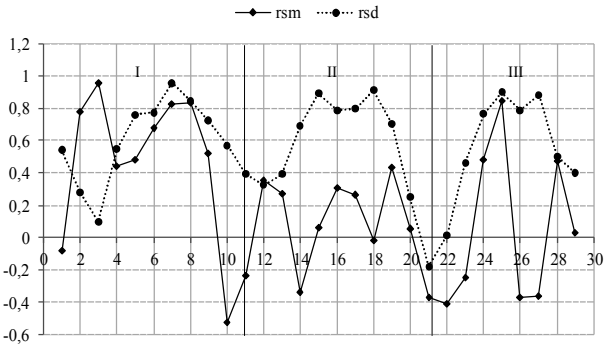


Fig. 3. Results of ISCC (RSM, RSD) estimation for 20 kHz

Table 5. **Values of ISCC (RSM и RSD) for four electrode locations**

Variant	Phase	Number of BIM signal samples	ISCC	
			RSM	RSD
A third of the left forearm is the middle of the shoulder of the left arm	1	6	-0,11017	0,661
	2	13	-0,20723	0,352
	3	8	-0,11288	0,626
Palm-the middle of the shoulder of the left hand	1	6	0,29983	0,931
	2	7	0,14814	0,931
	3	12	-0,17992	0,9296
Wrist of left hand - left ankle	1	10	0,4902	0,6089
	2	12	0,0315	0,4976
	3	7	0,121143	0,6704
Wrist of left hand - ankle of right foot	1	6	0,424833	-0,0988
	2	8	0,1735	0,21
	3	5	0,0548	0,3982

To test the differences in the correlation coefficients RSM, RSD for the adjacent phases of the experiment (phases 1-2 and 2-3), a standard significance test was selected [37], whose criterion T-statistics can be used to quantify the effectiveness of the options for selecting certain components of the total plan of the experiment. Table 6 gives the T-statistic values for four patients with different variants of installation of BIM-signal primary converters (pairs of electrodes installed in different spatially separated parts of the patient's body).

Table 6. **Values of T-statistics for four options for spatial separation of electrodes on the patient's body (frequency - 20 kHz, RSM)**

Patient	1	2	3	4
Electrode location	A third of the left forearm is the middle of the shoulder of the left arm	Palm-the middle of the shoulder of the left hand	Wrist of left hand - left ankle	Wrist of left hand - ankle of right foot
Conditional distance	d1	d2	d3	d4
The value of T-statistics. Phase 1-2	0,5711	0,8139	3,3348	4,4575
The value of T-statistics. Phase 2-3	-0,6101	**1,9693**	-0,5372	-0,5974

Table 6 clearly shows the decrease in ISCC for phase 2 with respect to phase 1 (T-statistics is positive). This indicates an increase in the dynamics of the spectral nonstationarity of the BIM signal over a time interval corresponding to this phase. In fact, the onset of blood loss is accompanied by a decrease in ISCC with respect to the previous phase (phase 1), and the end of blood loss leads to an increase in ISCC with respect to phase 2. In Table 6, only one (smoothed) T-statistics can be considered a miss, since its sign for phase 2-3 is positive. For Table 6, the RSM coefficient was used, because it was for him, in contrast to the RSD coefficient, of Table 5, that there was a qualitative dynamics of the change in the ISCC during the transitions from phase 1 to phase 2 and from phase 2 to phase 3. Table 6 is compiled taking into account the ranking (by increasing the value) of the geometric distances between the electrodes, which corresponds to the condition

$$d1 < d2 < ... < d4. \quad (18)$$

It can be seen from Table 6 that the maximum value of the T-statistic carrying information on the change in the ISCC at the boundary of the two phases is maximal for the distance d4 (T = 4.4575). This distance is geometrically maximized and allows us to justify the choice of the sensor placement option on the patient's body. In fact, this is the task of planning the metrological component, associated with the conditional optimization of the variant with the maximum of the objective function in the form of T-statistics. This optimization is conditional, since the number of initial conditions is limited in this variant by the number of patients, although the total number of variants tends to infinity. However, any restriction of the options makes it possible, for example, on the basis of Table 6 to choose a variant that is close to known biophysical models, supported by maximizing T-statistics. Analysis of the results presented in the second line of Table 6 indicates their ambiguity, which allows us to conclude that the use of ISCC is effective only in problems of detecting the beginning of blood loss. Table 6 gives the possibility of not only a qualitative (on the sign of T-statistics), but also a quantitative (by its magnitude) analysis of the options for choosing one of the two solutions:

γ0: there is no difference between the ISCC of the compared phases; (19)

γ1: ISCC of neighboring phases are statistically different. (20)

In the case of a positive T-statistic, the validity of the choice of the solution $\gamma 1$ (the onset of hemorrhage) is based on the normative requirements of the theory of statistical decisions [37, 38], When T-statistics exceed the critical value for a given level of significance. For the level of significance $\alpha = 0,05$ The value of the critical statistics is 1,645.

Thus, the planning of an experiment for active monitoring of the appearance of blood loss should provide the maximum length of the path for the passage of the scanning current of the BIM signal, by selecting the locations for fixing the electrodes according to the variant "left hand-right foot".

Conclusions

The conducted studies indicate the prospects of an information-measuring procedure for monitoring dynamic parameters of non-stationarity of BIM signals in problems of detecting hidden bleeding. Particularly important is the possibility of automating active monitoring in the framework of already existing computerized medical information systems. Such automation is based on the construction of a plan for a biomedical experiment in which a sliding observation of the BIM signal using a dual observation window is used. This window represents two consecutive time intervals for each of which an independent value of the **ISCC** is calculated (for example RSD), and a comparison of these **ISCCs** is performed using T-statistics. If in the course of the comparison a solution $\gamma 1$ is obtained according to the models (19, 20), then the beginning of the blood loss corresponds to the positive sign of the T-statistic. In this case, the statistical significance of a reliable solution will not be less than 0.95.

REFERENCE

1. Aslanyan, S.A. (2014), *Guidelines for Military Field Surgery*, Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, 400 p.
2. Jovenko, I.A., Kobelyatsky, Yu.Yu. and Tsarev, A.V. (2016), “Intensive therapy for blood loss, coagulopathy and hypovolemic shock in polytrauma”, *Emergency Medicine*, No. 4, pp. 64-71.
3. Moissl, U.M., Wabel, P., Chamney, P.W., Bosaeus, I. and Levin N.W. (2006), “Body fluid volume determination via body composition spectroscopy in health and disease”, *Physiol Meas*, No. 27, pp. 921-933.
4. Sergi, G., Bussolotto, M., Perini, P. and Calliari, I. (1994), “Accuracy of bioelectrical bioimpedance analysis for the assessment of extracellular space in healthy subjects and in fluid retention states”, *Ann Nutr Metab*, No. 38 (3), pp. 158-165.
5. Hartig V. (1982), *Modern infusion therapy. Parenteral nutrition*, Publishing House "Medicine", Moscow, 469 p.
6. Earthman, Mass Carrie, Traughber, Diana, Jennifer, Dobrat and Howell Wanda (2007), “Bioimpedance Spectroscopy for Clinical Assessment of Fluid Distribution and Body Cell”, *Nutr Clin Pract*., August, 2007; 22 (4), pp. 389-405.
7. Jaffrin, M.Y. and Morel, H. (2008), “Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods”, *Med Eng Phys*, No. 30(10), pp. 1257-1269.
8. Kushner, R.F and Schoeller, D.A. (1986), “Estimate of total body water by bioelectrical impedance analysis”, *Am J Clin Nutr*, No. 44, pp. 417-424.
9. Gudivaka, R., Schoeller, D.A., Kushner, R.F. and Bolt M.J.G. (1999), “Single - and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments”, *J Appl Physiol*, No. 87, pp. 1087-1096.
10. Grimnes, S. and Martinssen O.G. (2000), *Bioimpedance and electricity basics*, Academic Press, 471 p.
11. Lukaski, H.C., Bolonechuk, W.W., Hall, C.B. and Siders W.A. (1987), “Validation of the bioelectrical impedance method to assesshuman body composition”, *J Appl Physiol*, No. 60, pp. 1327-1332.
12. Matthie, J.R. (2008), “Bioimpedance measurements of human body composition: critical analysis and outlook”, *Expert Review of Medical Devices,* March 2008, Vol. 5, No. 2, pp. 239-261.
13. Sun, S.S, Chumlea, W.C., Heymsfield, S.B., Lukaski, Henry C., Schoeller, Dale, Friedl, Karl, Kuczmarski and Hubbard Van S. (2003), “Development of bioelectric impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys”, *The American Journal of Clinical Nutrition*, No. 77, pp. 331-340.
14. Nikolaev, D.V., Pushkin, S.V., Gvozdikova, E.A. and Smirnov A.V. (2004), “Polysegment methods in BIA. Review on the materials of foreign publications”, *Sixth Scientific and Practical Conference*, Main Clinical Hospital of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, pp. 115-127.
15. Heymsfield, S.B., Wang, Z.M. and Withers R.T. (1996), “Multicomponent molecular level models of body composition analysis”, Champaign, Human Kinetics, pp. 129-148.
16. Matthie, J.R. (2005), “Second generation mixture theory equation for estimating intracellular water using bioimpedance spectroscopy”, *J. Appl. Physiol*, No. 99, pp. 780-781.
17. Jaffrin, M.Y., Fenech, M., Moreno, M.V. and Kieffer, R. (2006), “Total body water measurement by a modification of the bioimpédance spectroscopy method”, *MedBioEng Comput*, No. 44, pp. 873-882.
18. Hannan, W.J., Cowen, S.J., Fearon, K.C., Plester, C.E. J.S. and Richardson R.A. (1994), “Evaluation of multi-frequency bioimpedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients”, *Clin Sci.*, No. 86, pp. 479-485.
19. Seoane, Fernando, Shirin, Abtahi and Farhad, Abtahi (2015), “Mean Expected Error in Prediction of Total Body Water. A True Accuracy Comparison between Bioimpedance Spectroscopy and Single Frequency Regression Equations”, *BioMed Research International*, No. 11.
20. Zink, M.D., Weyer, S., Pauly, K. and Napp A. (2015), “Feasibility of bioelectrical impedance spectroscopy measurement before and after thoracentesis”, *BioMed Research International*, p. 9.
21. Ward, L.C., Czerniec, S. and Kilbreath S.L. (2009), “Quantitative bioimpedance spectroscopy for the assessment of lymphedema”, *Breast Cancer Res treat*, No. 117, pp. 541-547.
22. Ward, L.C. (2006), “Bioelectrical impedance analysis: proven utility in lymphedema risk assessment and therapeutic monitoring”, *Lymphat Res Biol*, No 4, pp. 51-56.
23. Ward, L.C., Czerniec, S. and Kilbreath S.L. (2009), “Operational equivalence of bioimpedance indices and perometry for the assessment of unilateral arm lymphedema”, *Lymphat Res Biol*, No. 7, pp. 81-85.
24. King, R.J., Clamp, J.A., Hutchinson, J.W. and Moran C.G. (2007), “Bioelectrical impedance: a new method for measuring post-traumatic swelling”, *J Orthop Trauma*, No. 21, pp. 462-468.

25. Halter, R.J., Hartov, A., Heaney, J.A., Paulsen, K.D. and Schned, A.R. (2007), "Electrical impedance spectroscopy of the human prostate", *IEEE Trans Biomed Eng*., No. 54 (7), pp. 1321-1327.
26. Pekker, Ya.S., Brasilovsky, K.S. and Usov, V.Yu. (2004), *Electrical Impedance Tomography*, NTL, Tomsk 2004, 192 p.
27. Danilov, A.A., Nikolaev, D.V., Rudnev, S.G., Salamatova, V.Yu. and Vassilevski, Yu.V (2012), "Modelling of bioimpedance measurements: unstructured mesh application to real human anatomy", *Numer. Anal. Math. Modelling*, Vol. 27, No. 5, pp. 431-440.
28. Martinsen, O.G., Nordbotten, B., Grimnes, S., Fossan, H. and Eilevstjønn J. (2014), "Bioimpedance-Based Respiration Monitoring With a Defibrillator", *Biomedical Engineering, IEEE Transactions*, pp. 1858-1862.
29. Danilov, A.A., Kramarenko, V.K., Nikolaev, D.V., Rudnev and Vassilevski, Yu.V. (2013), "Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy", *J. Phys*., Conf. Series, pp.434-437.
30. Deurenberg, P., Tagliabue, A.and Schouten F.J.M. (1995), "Multifrequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water", *Brit. J. Nutr*., No. 3, pp. 349-358.
31. Hanai, T. (1960), "Theory of the dielectric dispersion due to the interfacial polarization and its application to emulsions", *Kolloid-Zeitschrift 171*, pp. 23-31.
32. Nikolaev, D.V., Smirnov, A.V., Bobrinskaya, I.G. and Rudnev, S.G. (2009), *Bioimpedance analysis of human body composition*, Nauka, Moscow, 392 p.
33. Shchapov, P.F., Tomashevsky, R.S., Tkachuk, B.V. and Pavlyuk V.M. (2018), "Information technology of statistical control of the procedure of ultrafiltration in software hemodialysis", *Control, navigation and communication systems* [*Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zvyazku*], PNTU, Poltava, No. 1 (47), pp. 153-159.
34. Merry, R.J.E., Steinbuch, M. and van de Molengraft, M.J.G. (2005), *Wavelet Theory and Applications a literature study*, Eindhoven Univer of Technol. Dep. of Mechanical Engin. Control Systems Technol. Group, 41 p.
35. Lee, D.T.L. and Yamamoto, A. (1994), *Wavelet analysis theory and application*, Hewlett-Packard Company, pp. 44-52.
36. Voskoboynikov, Yu.E., Gochakov, A.V. and Kolker, A.B. (2010), *Filtratsii signalov i izobrazheniy: Fure i veyvlet algoritmyi (s primerami v Mathcad)* [Filtering signals and images: Fourier and wavelet algorithms], NGASU (Sibstrin), 188 p.
37. Pollard, J. (1982), *Handbook of Computational Statistics*, Finance and Statistics, Moscow, 344 p.
38. Johnson, N. and Lyon, F. (1981), *Statistics and experiment planning*, Mir, Moscow, 520 p.

Received (Надійшла) 22.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Можливості застосування і планування бім-аналізу для моніторингу крововтрати

Р. С. Томашевський, Т. В. Сокол, З. О. Доценко

В роботі наведені результати дослідження можливості застосування результатів методу біоімпедансометрії для моніторингу прихованих і спонтанних крововтрат. Показана існуюча проблема обліку крововтрат при реанімаційних, операційних і реабілітаційних заходах. Запропоновано використання, в якості інформативних параметрів, спектральних властивостей біоімпедансного сигналу, а саме, коефіцієнта міжспектральної кореляції вихідного вимірювального сигналу і його лінійного перетворення. У роботі детально розглянуті існуючі біофізичні моделі, що обґрунтовують перспективність використання біоімпедансного методу для подібних завдань, і наведені розрахункові емпіричні вирази для визначення обсягу рідинних сегментів людського організму. Наведено математичне обґрунтування методу міжспектральної кореляції, засноване на обчисленні кореляційних показників коефіцієнтів вейвлет-розкладу вихідного сигналу і його лінійного перетворення. У роботі наведені результати експериментальних досліджень по апробації даного методу при фіксованих зборах венозної крові. З використанням критеріальної Т-статистики була проведена кількісна оцінка ефективності варіантів вибору просторового розміщення вимірювальних електродів при біоімпедансометрії. Отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість і перспективність запропонованого методу для моніторингу в режимі реального часу початку прихованих і спонтанних крововтрат, а також дозволяють сформувати рекомендації щодо розміщення вимірювальних електродів на тілі пацієнта.

Ключові слова: крововтрата; активний моніторинг; біоімпедансний аналіз; вейвлет-перетворення; міжспектральна кореляція,; Т-статистика.

Возможности применения и планирование бим-анализа для мониторинга кровопотерь

Р. С. Томашевский, Т. В. Сокол, З. А. Доценко

В работе приведены результаты исследования возможности применения результатов метода биоимпедансометрии для мониторинга скрытых и спонтанных кровотечений. Показана существующая проблема учета кровопотерь при реанимационных, операционных и реабилитационных мероприятиях. Предложено использование, в качестве информативных параметров, спектральных свойств биоимпедансного сигнала, а именно, коэффициента межспектральной корреляции исходного измерительного сигнала и его линейного преобразования. В работе детально рассмотрены существующие биофизические модели, обосновывающие перспективность использования биоимпедансного метода для подобных задач, и приведены расчетные эмпирические выражения для определения объема жидкостных сегментов человеческого организма. Приведено математическое обоснование метода межспектральной корреляции, основанное на вычислении корреляционных показателей коэффициентов вейвлет-разложения исходного сигнала и его линейного преобразования. В работе приведены результаты экспериментальных исследований по апробации данного метода при фиксированных заборах венозной крови. С использованием критериальной Т-статистики была проведена количественная оценка эффективности вариантов выбора пространственного размещения измерительных электродов при биоимпедансометрии. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности и перспективности предложенного метода для мониторинга в режиме реального времени начала скрытых и спонтанных кровотечений, а также позволяют сформировать рекомендации относительно размещения измерительных электродов на теле пациента.

Ключевые слова: кровопотеря; активный мониторинг; биоимпедансный анализ; вейвлет-преобразование; межспектральная корреляция; Т-статистика.

УДК 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.12**

А. В. Шостак

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков, Украина

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОКРЫТИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Предметом изучения в статье являются процессы синтеза топологической структуры беспроводной сенсорной сети (БСС). **Целью** является разработка имитационной модели для оценки коэффициента покрытия случайно расположенными узлами БСС. **Задача:** выполнить оценку коэффициента покрытия случайно расположенными узлами БСС. Используемыми **методами** являются**:** имитационное моделирование, метод Монте-Карло. Получены следующие **результаты.** Согласно разработанной имитационной модели выполнена оценка коэффициента покрытия случайно расположенными узлами БСС в зависимости от длины стороны квадрата плоской территории расположения БСС, числа сенсорных узлов сети, радиуса чувствительности и радиуса связи узла, с учетом и без учета граничного эффекта. Разработанная имитационная модель также позволяет определять связность БСС. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: усовершенствована имитационная модель для оценки коэффициента покрытия БСС при случайном расположении сенсорных узлов и контроле связности сети. Результаты проведенного вычислительного эксперимента позволяют выполнять оценку коэффициента покрытия беспроводной сенсорной сети при различном числе узлов сети, радиусе чувствительности и радиусе связи узла с учетом и без учета граничного эффекта.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть; коэффициент покрытия; связность сети; радиус действия сенсора; радиус чувствительности сенсора.

Введение

Под беспроводной сенсорной сетью (БСС) понимается распределенная, самоорганизующаяся сеть множества сенсоров и исполнительных устройств, взаимодействующих между собой посредством радиоканала. Как правило, БСС применяется для сбора данных с устройств, оснащенных сенсорами: датчиком рентгеновского излучения, влажности, температуры, освещенности и т.п. По организации БСС относятся к самоорганизующимся сетям, т.е. к сетям, состоящим из случайного, постоянно меняющегося числа узлов и связей между узлами, которые должны адаптивно подстраиваться для выполнения своих функций [1].

Обычно сенсорные узлы имеют ограниченные ресурсы – емкость источника питания, объем памяти, радиус чувствительности, радиус действия и вычислительные возможности процессора.

Наряду с такими характеристиками как время жизни БСС и связность сети сенсоров важную роль играет коэффициент покрытия R_{cov} сетью из n сенсорных узлов территории расположения БСС [2-5]. Очевидно, что заданное покрытие сетью территории является одним из основных требований, предъявляемых к размещению сенсоров БСС. В статье оценивается коэффициент покрытия сетью территории в зависимости от радиуса чувствительности сенсоров и количества покрывающих территорию сенсоров.

Основная часть

Рассмотрим множество одинаковых по своим характеристикам сенсорных узлов на плоской территории в виде квадрата со стороной L. Пусть R – радиус зоны обслуживания (или радиус чувствительности) сенсора, т.е. сенсор узла в центре окружности радиуса R обнаруживает изменение измеряемых характеристик внутри этой окружности. r – радиус связи узла, т.е. сенсорные узлы, расстояние между которыми меньше r, являются связанными и могут непосредственно взаимодействовать друг с другом.

На рис. 1 показан один сенсорный узел i, находящийся в центре квадрата со стороной L. Если радиус чувствительности этого сенсора равен R=L/2, то в этом случае коэффициент покрытия квадрата со стороной L таким сенсором $R_{cov}=\pi/4=0{,}7854$.

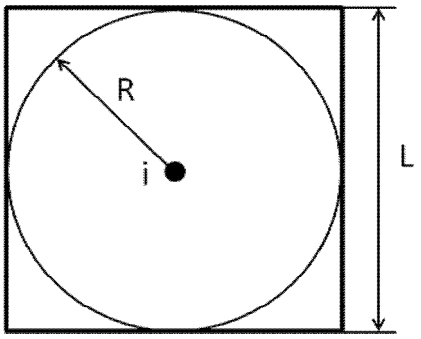


Рис. 1. Сенсорный узел i
в центре квадрата со стороной L

В общем случае под коэффициентом покрытия R_{cov} территории n сенсорными узлами будем понимать отношение площади, формируемой на территории зонами покрытия n сенсоров с радиусом чувствительности R, к общей площади территории.

Существует два основных способа размещения сенсорных узлов на покрываемой территории – детерминированный и случайный [3, 6]. В первом случае узлы размещаются в заранее определенных точках области покрытия. При этом степень покрытия и связность сети обеспечивается за счет выбора координат этих точек. При случайном размещении узлов последние находятся в случайных точках области, при этом степень покрытия области сетью одинаковых сенсоров зависит от числа сенсоров n, радиуса чувствительности сенсора R и площади области.

В табл. 1 в соответствии с [3] и на основании результатов имитационного моделирования для различных размеров квадратной области L и для радиуса чувствительности R = 20 приведена зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия сети R_{cov}. Первый столбец табл. 1 соответствует расчетным коэффициентам покрытия R_{cov} из [3] в зависимости от числа сенсоров сети n (столбец 3) для квадратной области с L=100. 2-й, 4-й, 6-й столбцы табл. 1 соответствуют рассчитанным с помощью имитационного моделирования оценкам коэффициента покрытия R_{cov} в зависимости от числа сенсоров сети n (столбцы 3, 5, 7) для различных размеров квадратной области L.

Т.е., например, для L =100 и R=20 сеть из n=11 узлов обеспечит коэффициент покрытия 0,695. При размере области L =100 32 узла обеспечивают коэффициент покрытия 0,957. Для L=200 136 сенсоров обеспечат коэффициент покрытия 0,974, а для L =300 314 сенсоров обеспечат коэффициент покрытия 0,980.

Таблица 1. **Зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия R_{cov} (R=20)**

	L =100		**L =200**		**L =300**	
1	2	3	4	5	6	7
R_{cov}	R_{cov}	n	R_{cov}	n	R_{cov}	n
0,1	0,104	1	0,110	4	0,100	8
0,2	0,198	2	0,184	7	0,189	16
0,3	0,281	3	0,274	11	0,280	25
0,4	0,358	4	0,353	15	0,368	35
0,5	0,424	5	0,453	21	0,467	48
0,6	0,534	7	0,541	27	0,562	63
0,7	0,623	9	0,642	36	0,655	82
0,8	0,695	11	0,745	48	0,762	110
0,9	0,817	16	0,852	68	0,867	157
0,99	0,957	32	0,974	136	0,980	314

На рис. 2 приведена зависимость числа узлов n (ось OY) от коэффициента покрытия сетью R_{cov} (ось OX) для различных L, построенная на основании данных из табл. 1.

Оценка коэффициента покрытия R_{cov} в таблице 1 выполнялась на основании вычислительного эксперимента.

Для оценки каждого значения коэффициента покрытия 1000 раз генерировалась сеть из n узлов с координатами, равномерно распределенными в квадрате со стороной L. Для каждого варианта размещения n узлов с помощью метода Монте-Карло считался коэффициент покрытия. Оценка коэффициента покрытия R_{cov} в табл. 1 соответствует результату усреднения коэффициентов покрытия для 1000 вариантов размещения n узлов в квадрате со стороной L.

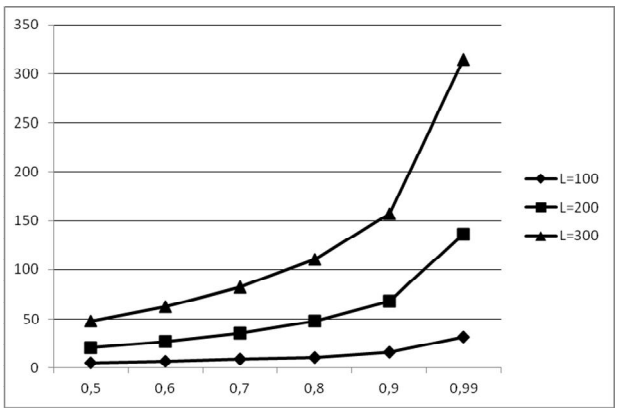


Рис. 2. Зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия Rcov

В табл. 2 для размера области L=200 и различных радиусов чувствительности сенсора R приведена зависимость коэффициента покрытия R_{cov} от числа узлов сети n. Так для обеспечения R_{cov} = 0,5 в области L=200 при R=10 потребуется 94 сенсора, при R=20 потребуется 24 сенсора, а при R=30 потребуется 11 сенсоров.

Таблица 2. **Зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия Rcov для различных R (L=200)**

	R=10	**R=20**	**R=30**
R_{cov}	n	n	n
0,5	94	24	11
0,6	125	32	15
0,7	164	42	19
0,8	220	56	26
0,9	317	80	38
0,99	650	173	83

На рис. 3 приведена зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия R_{cov} для размера сети L=200 при различных радиусах чувствительности сенсора R, построенная в соответствии с данными табл. 2.

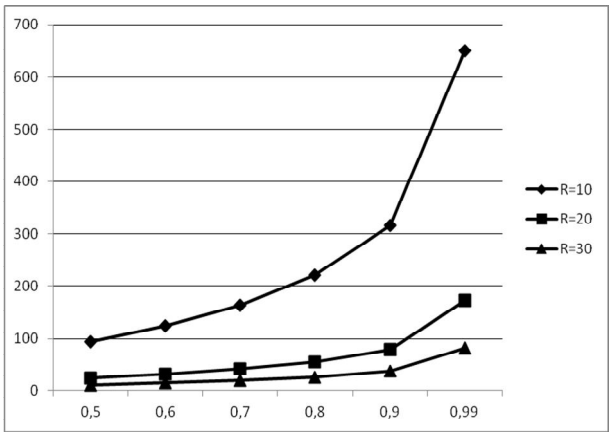


Рис. 3. Зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия Rcov при различных радиусах R

В табл. 3 для размера области L=200 и радиуса чувствительности сенсора R=20 приведена зависимость коэффициента покрытия R_{cov} от числа узлов сети n для двух случаев – без учета граничного эффекта (столбец 2) и с учетом (столбец 3).

При учете граничного эффекта сенсоры реально размещаются в квадратной области со стороной (L-R), а без учета – в квадратной области со стороной L [3].

На рис. 4 приведена зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия R_{cov} для размера сети L=200 и радиуса чувствительности сенсора R=20 с учетом и без учета граничного эффекта, построенная в соответствии с данными табл. 3.

Таблица 3. **Зависимость между числом узлов n и коэффициентом покрытия Rcov без учета и с учетом граничного эффекта (L=200, R=20)**

R_{cov}	n	n
1	2	3
0,5	24	25
0,6	32	36
0,7	42	53
0,8	56	91
0,9	80	270
0,95	110	900

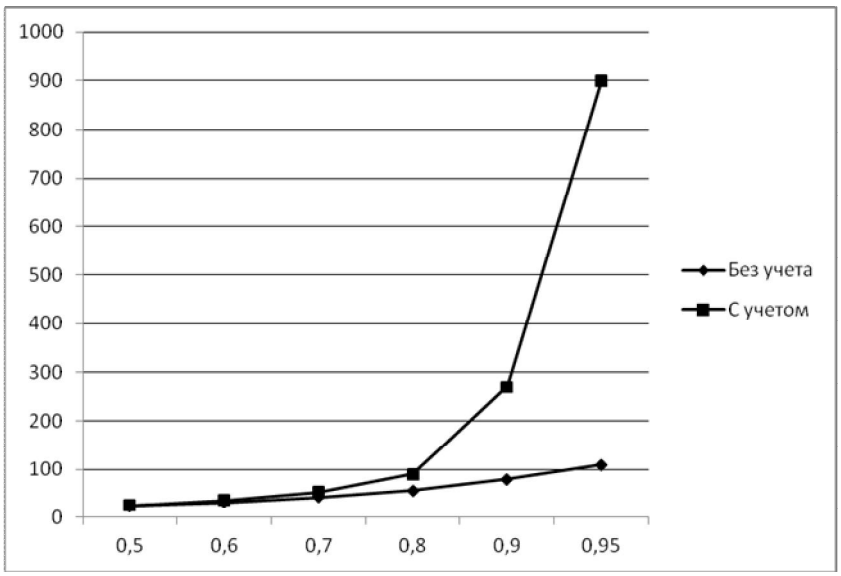


Рис. 4. Зависимость между числом узлов n и покрытием сети Rcov с учетом и без учета граничного эффекта

В приведенных выше оценках коэффициента покрытия R_{cov} (табл. 1-3) связность сети не контролировалась, т.е. сеть сенсоров могла быть как связной так и не связной.

В табл. 4 для стороны квадрата L=200, радиуса чувствительности узла R=20, радиуса связи узла r=40 и без учета граничного эффекта приведена зависимость коэффициента покрытия R_{cov} от числа узлов n с оценкой числа связных БСС на 10000 сгенерированных случайным образом вариантов.

Так для обеспечения R_{cov} = 0,501 при R=20 и r=40 потребуется 24 сенсора, причем из 10000 сгенерированных вариантов БСС только 14 оказались связными.

Таблица 4. **Зависимость коэффициента покрытия Rcov от числа узлов n с оценкой числа связных БСС**

R_{cov}	n	Связных БСС из 10000 вариантов
1	2	3
0,501	24	14
0,602	32	140
0,700	42	940
0,797	56	4062
0,894	80	8092
0,990	173	9978

Выводы

Результаты проведенного вычислительного эксперимента позволяют выполнять оценку коэффициента покрытия БСС при различном числе узлов сети n, радиусе чувствительности R и радиусе связи узла r с учетом и без учета граничного эффекта.

Перспективным направлением дальнейших исследований может являться разработка алгоритмов построения связных БСС с детерминированным распределением координат узлов сети на произвольной территории с заданным коэффициентом покрытия.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети / А. Е. Кучерявый, А. В. Прокопьев, Е. А. Кучерявый. – СПб.: Любавич, 2011. – 312 с.

2. Шостак А.В. Оценка вероятности связности беспроводной сенсорной сети / А. В. Шостак // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава, ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 158-160.
3. Xing X. A square-based coverage and connectivity probability model for WSNs / X. Xing, G. Wang, J. Li // International Journal of Sensor Networks. – 2015. – Vol. 19, No. 3/4. – P. 161-170.
4. Sun Z. Optimization coverage of wireless sensor networks based on energy saving / Z. Sun, H. Li, H. Chen, W. Wei // International Journal of future generation communication and networking. – 2014. – Vol. 7, No. 4. – P. 35-48.
5. Ruban, I. Перерозподіл навантаження базових станцій в мобільних мережах зв'язку / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – № 1 (1). – С. 75-81, режим доступу : http://dx.doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075.
6. Денисенко В. С. Модификация алгоритма построения кратчайшего остовного дерева для беспроводной сенсорной сети / В. С. Денисенко, А. В. Шостак // Системи обробки інформації. – Харків : ХНУПС, 2010. – Вип. 2 (83). – С. 75-77.

REFERENCES

1. Kucheryavy, A.E., Prokopiev, A.V. and Kucheryavy, A.V. (2011), *Self-organizing networks*, Lubavitch, St.P., 312 p.
2. Shostak, A.V. (2017), "Evaluation of the probability of connectivity of a wireless sensor network", *Control, navigation and communication systems*, No. 2 (42), pp. 158-160.
3. Xing, X., Wang, G. and Li, J. (2015), "A square-based coverage and connectivity probability model for WSNs", *International Journal of Sensor Networks*, Vol. 19, No. 3/4, pp.161-170.
4. Sun, Z., Li, H., Chen, H. and Wei W. (2014), "Optimization coverage of wireless sensor networks based on energy saving", *International Journal of future generation communication and networking*, Vol. 7, No. 4, pp. 35-48.
7. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 1(1), pp. 75-81, available at: : http://dx.doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075.
5. Denisenko, V.S. and Shostak, A.V. (2010), "Modification of the algorithm for constructing the shortest spanning tree for a wireless sensor network", *Information processing systems*, No. 2 (83), pp. 75-77.

Received (Надійшла) 02.04.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Оцінка коефіцієнта покриття бездротової сенсорної мережі

А. В. Шостак

Предметом вивчення в статті є процеси синтезу топологічної структури бездротової сенсорної мережі (БСМ). **Метою** є розробка імітаційної моделі для оцінки коефіцієнта покриття випадково розташованими вузлами БСМ. **Завдання**: виконати оцінку коефіцієнта покриття випадково розташованими вузлами БСМ. Використовуваними **методами** є: імітаційне моделювання, метод Монте-Карло. Отримані наступні **результати**. Згідно з розробленою імітаційної моделі виконано оцінку коефіцієнта покриття випадково розташованими вузлами БСМ в залежності від довжини сторони квадрата плоскою території розташування БСМ, числа сенсорних вузлів мережі, радіусу чутливості і радіуса зв'язку вузла, з урахуванням і без урахування граничного ефекту. Розроблена імітаційна модель також дозволяє визначати зв'язність БСМ. **Висновки**. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: вдосконалена імітаційна модель для оцінки коефіцієнта покриття БСМ при випадковому розташуванні сенсорних вузлів і контролі зв'язності мережі. Результати проведеного обчислювального експерименту дозволяють виконувати оцінку коефіцієнта покриття бездротової сенсорної мережі при різній кількості вузлів мережі, радіусі чутливості і радіусі зв'язку вузла з урахуванням і без урахування граничного ефекту.

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, коефіцієнт покриття, зв'язність мережі, радіус дії сенсора, радіус чутливості сенсора.

Estimation of coverage factor of a wireless sensor network

A. V. Shostak

The **subject matter** of the study in the article are the processes of synthesis of the topological structure of the wireless sensor network (WSN). The **goal** is to develop a simulation model for estimating the coverage factor of randomly located WSN nodes. The **task**: to carry out an estimation of the coverage factor by randomly located WSN nodes. The **methods** used are: simulation modeling, Monte Carlo method. The following **results** are obtained. According to the developed simulation model, the coverage factor of randomly located WSN nodes is evaluated depending on the side length of the flat area of the WSN location, the number of sensor nodes of the network, the radius of sensitivity and the communication radius of the node, taking into account and without taking into account the boundary effect. The developed simulation model also allows to determine the connectivity of the WSN. **Conclusions**. The scientific novelty of the results obtained is as follows: the simulation model for estimating the coverage factor of the WSN with a random arrangement of sensory nodes and monitoring the connectivity of the network has been improved. The results of the computational experiment make it possible to evaluate the coverage coefficient of a wireless sensor network for a different number of network nodes, the radius of sensitivity and the radius of communication of a node with and without the boundary effect.

Keywords: wireless sensor network; coverage factor; network connectivity; radius of the sensor; radius of sensitivity of the sensor.

Intelligent information systems

UDC 510.635 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.13**

Areej Adnan Abed

Al-Maaref University College, Republic Iraq

FUNCTIONAL STRUCTURE OF COMPARATOR'S PREDICATE IN THE COMPARTMENT IDENTIFICATION METHOD

Intelligence theory studies the connection between the subjective and objective worlds perceived and analyzed by human intellect. Therefore, on the one hand, intelligence theory must correspond to the objective requirements adopted in physical sciences as science; on the other hand, it is compelled to rely on introspective intelligence data. Like other exact sciences, intelligence theory needs a special mathematical language corresponding to the intelligence theory object; special methods suitable for objective study of human intelligence. The basic method of objective analysis and modeling of human intelligence is comparative identification method. In the method the subject realizes a certain final predicate by his behavior. In accordance with the method, an experimental study of this predicates' properties is conducted, then, basing on the results a mathematical the subject's reactions model subjective states of its intelligence is constructed. Comparative identification method accurate of isomorphism allows t find a function transforming physical situations into subjective images generated by them. In this article a comparator predicate decomposition is performed and its functional structure is analyzed, the process of the human intellect subjective states multiplicities factorization is studied.

Keywords: intelligence theory; algebra of finite predicates; comparative identification.

Introduction

This work is a continuation of articles [1-4] which deals with comparative identification apparatus is developed. The main predecessors of this article were the following: monograph [5], which deals with algebra of finite predicates was developed – intelligence theory mathematical basis; articles [6, 7] where some special comparative identification issues, created within intelligence theory framework for person psychological states modeling were considered.

Here comparator predicate decomposition is performed and its functional structure is analyzed, the process of person subjective states set factorization is studied.

1. Analysis of the comparator predicate functional structure

Let's consider f function definition method on a concrete example according to existing P predicate. Let $A=\{a_1,...,a_7\}$, $B=\{b_1,...,b_7\}$. P predicate is set up by the following formula:

$$P(X,Y)=X^{a_1}Y^{b_3}\vee X^{a_1}Y^{b_4}\vee X^{a_2}Y^{b_1}\vee X^{a_2}Y^{b_2}\vee \vee X^{a_3}Y^{b_1}\vee X^{a_3}Y^{b_2}\vee\vee X^{a_4}Y^{b_5}\vee X^{a_4}Y^{b_6}\vee \vee X^{a_5}Y^{b_3}\vee X^{a_5}Y^{b_4}\vee X^{a_6}Y^{b_3}\vee X^{a_7}Y^{b_3}. \quad (1)$$

We find R partition layers of A set by calculating corresponding to them predicates $V_{a_1}(X)+V_{a_7}(X)$ from the formula (8) [4]. Find predicate

$$V_{a_1}(X)=(P(X,b_1)\sim P(a_1,b_1))...(P(X,b_6)\sim \sim P(a_1,b_6))=(X^{a_2}\vee X^{a_3}\sim 0)(X^{a_2}\vee X^{a_3}\sim \sim 0)(X^{a_1}\vee X^{a_5}\vee X^{a_6}\vee X^{a_7}\sim 1)(X^{a_1}\vee \vee X^{a_5}\sim 1)(X^{a_4}\sim 0)(X^{a_4}\sim 0)=\overline{X^{a_2}\vee X^{a_3}}\wedge \wedge(X^{a_1}\vee X^{a_5}\vee X^{a_6}\vee X^{a_7})(X^{a_1}\vee X^{a_5})\overline{X^{a_4}}= =X^{a_1}\vee X^{a_5}.$$

Finally obtain:

$$V_{a_1}(X)=X^{a_1}\vee X^{a_5}. \quad (2)$$

Analogical define the other predicates:

$$V_{a_2}(X)=X^{a_2}\vee X^{a_3}, \quad (3)$$

$$V_{a_3}(X)=X^{a_2}\vee X^{a_3}, \quad (4)$$

$$V_{a_4}(X)=X^{a_4}, \quad (5)$$

$$V_{a_5}(X)=X^{a_1}\vee X^{a_5}, \quad (6)$$

$$V_{a_6}(X)=X^{a_6}\vee X^{a_7}, \quad (7)$$

$$V_{a_7}(X)=X^{a_6}\vee X^{a_7}. \quad (8)$$

We see found division layers repeated. Selecting all different classes' pairs we form partition

$$R=\{\{a_1,a_5\},\{a_2,a_3\},\{a_4\},\{a_6,a_7\}\}.$$

Introduce notations for adjacent layers: $\alpha_1=\{a_1,a_5\}$, $\alpha_2=\{a_2,a_3\},,$ $\alpha_3=\{a_4\},,$ $\alpha_4=\{a_6,a_7\}$ connection between the entered layers and their names is written by the following predicate:

$$F(X,x)=(X^{a_1}\vee X^{a_5})x^{\alpha_1}\vee(X^{a_2}\vee \vee X^{a_3})x^{\alpha_2}\vee X^{a_4}x^{\alpha_3}\vee(X^{a_6}\vee X^{a_7})x^{\alpha_4}. \quad (9)$$

x variable meanings serve as R partition layers names. Relation corresponding to the predicate F binds variables X and x, it follows that it implies $x=f(X)$ implicit function. F predicate is bound with f function as follows: if $F(X,x)=1$, then $x=f(X)$, if

$F(X,x)=0$, then $x \neq F(X)$. Express f function in an explicit form [4]:

$$x^{\alpha_1} = X^{a_1} \vee X^{a_5}, \quad (10)$$

$$x^{\alpha_2} = X^{a_2} \vee X^{a_3}, \quad (11)$$

$$x^{\alpha_3} = X^{a_4}, \quad (12)$$

$$x^{\alpha_4} = X^{a_6} \vee X^{a_7}. \quad (13)$$

R set of all partition layers names serve as M set, i.e. $M=\{\alpha_1,...,\alpha_4\}$. Formally describe M set with a predicate:

$$M(x) = x^{\alpha_1} \vee x^{\alpha_2} \vee x^{\alpha_3} \vee x^{\alpha_4}. \quad (14)$$

Analogically find g function form. S partition layers of B set are found by calculating $W_{b_1}(Y)+W_{b_6}(Y)$ predicates from the formula (9) [4]. As a result we obtain

$$W_{b_1}(Y) = Y^{b_1} \vee Y^{b_2}, \quad (15)$$

$$W_{b_2}(Y) = Y^{b_1} \vee Y^{b_2}, \quad (16)$$

$$W_{b_3}(Y) = Y^{b_3}, \quad (17)$$

$$W_{b_4}(Y) = Y^{b_4}, \quad (18)$$

$$W_{b_5}(Y) = Y^{b_5} \vee Y^{b_6}, \quad (19)$$

$$W_{b_6}(Y) = Y^{b_5} \vee Y^{b_6}. \quad (20)$$

We form $S=\{\{b_1,b_2\},\{b_3\},\ \{b_4\},\{b_5,b_6\}\}$ partition. We introduce partition layers notation of the

$$S:\beta_1=\{b_1,b_2\},\beta_2=\{b_3\},\beta_3=\{b_4\}.$$

Connection between names and S is written in the form of the following predicate:

$$G(Y,y) = (Y^{b_1} \vee Y^{b_2})y^{\beta_1} \vee Y^{b_3} y^{\beta_2} \vee \vee Y^{b_4} y^{\beta_3} \vee (Y^{b_5} \vee Y^{b_6})y^{\beta_4}. \quad (21)$$

Y variable values serves as S partition layers names. The relation corresponding to G, predicate binds variables Y and y, consequently it implies $y=g(Y)$. G predicate is bound with g function as follows: if $G(Y,y)=1$, then $y=g(Y)$, if $G(Y,y)=0$, то $y \neq g(Y)$. Equation (21) is replaced with a set of equations, which expresses $y=g(Y)$ in an explicit form:

$$y^{\beta_1} = Y^{b_1} \vee Y^{b_2}, \quad (22)$$

$$y^{\beta_2} = Y^{b_3}, \quad (23)$$

$$y^{\beta_3} = Y^{b_4}, \quad (24)$$

$$y^{\beta_4} = Y^{b_5} \vee Y^{b_6}. \quad (25)$$

The role of N set is represented by S set of all partition layers, i.e. $S=\{\beta_1,...,\beta_4\}$. Formally N set is described by the predicate:

$$N(y) = y^{\beta_1} \vee y^{\beta_2} \vee y^{\beta_3} \vee y^{\beta_4}. \quad (26)$$

Consider L predicate definition method which appears in the expression (1) [4]. Such predicate exists for any P. It is possible to calculate L predicate by existing P predicate and existing f and g functions by the following formula:

$$L(x,y) = \exists X \in A Y \in B(P(X,Y)F(X,x)G(Y,y)). \quad (27)$$

In our example, we get the formula for L predicate, inserting (15) P, F and G predicates according to expressions (1), (9) and (21):

$$L(x,y) = x^{\alpha_1} y^{\beta_2} \vee x^{\alpha_1} y^{\beta_3} \vee x^{\alpha_2} y^{\beta_1} \vee x^{\alpha_3} y^{\beta_4} \vee x^{\alpha_4} y^{\beta_2}. \quad (28)$$

Definition of L predicate due to existing P, f and g can be also performed for the formula

$$L(x,y) = P(f^{-1}(x), g^{-1}(y)), \quad (29)$$

which is shortened dependence formula (27). Expression $f^{-1}(x)$ one of $X \in A$ elements (no matter what definitely), meeting $x=f(X)$ condition. $g^{-1}(y)$ record analogically stands for. Congruence (29) directly follows from (1) [4].

Also from (1) [4] congruence follows dependence

$$P(X,Y) = \exists x \in M \exists y \in N(L(x,y)F(X,x)G(Y,y)), \quad (30)$$

with the help of which P predicate can be calculated from existing L predicate and existing f and g functions. Dependence (30) is a congruence complete logical notation (1) [4]. In our example, substituting in (30) L, F and G predicates according to (28), (15), (21) expressions formula (1) is obtained. It is also possible to define P predicate by L, f and g by the formula (1) [4]. Pay attention to that important fact that variable values x and y serve not R and S partition layers, but their names. These names can be arbitrary chosen in an way, if only the condition is fulfilled: each partition class must correspond exactly to one name. Let M and M' be two situations name perception systems, x and x' are element of these systems. Name the first name systems as old, the second – new. Bijection

$$x' = \varphi(x), \quad (31)$$

reflecting M set for M' set, by which you can replace old notation x for new x' exists.

Similarly, if N and N' are two texts sence meaning name systems, y and y' are elements of these systems, then bijection $y'=\psi(y)$ (e), reflecting N set for N' set, which can replace old names with new y' names exists. Let old name systems P predicate is written in (1) [4] form, and in new – in the form

$$P(X,Y) = L'(f'(X), g'(Y)) = L'(x', y'). \quad (32)$$

Then f, f' and g, g' functions isomorphism, as well as L, L' predicate isomorphisms :

for $\forall X \in Af'(X) = \varphi(f(X))$;

for $\forall Y \in Bg'(Y) = \psi(g(Y))$;

for $\forall x \in M, y \in NL(x,y) = L'(\varphi(x), \psi(y))$ exists.

It is important to note that in f and g practical functions form determination it is necessary to distinguish many partition layers from these layers names (i.e. to distinguish R and M multiplicities, as well as S and multiplicities N), although, essentially, it seems to be the same. Formerly, in the question theoretical analysis, we did not distinguish these multiplicities. The same have to be done also at meaningful interpretation of these multiplicities and namely to distinguish situations perception as subjective formations from situation layers which formally represent them, characterizing perceptions as physical entities, as well as to distinguish text meanings as subject's subjective thoughts from the corresponding texts classes as objective characteristics of the same thoughts. Texts perceptions of situations and meanings are subjective, texts and situations layers are objective. We can say that situations and texts layers names, which we had to introduce in the example considered above are situations subjective layers analogues and texts layers. This suggests that the subjective states of a person play the role of class names that are revealed to them in the surrounding physical world. It can be assumed that human subjective states are referred to ideal formations only for the reason that they are used in the role of physical objects names.

Subjective states as physical objects names are ideal. But they can be considered as physical objects if taken separately. There is no doubt, that subjective states in humans' brain are realized in the form of some material structures and processes that have not been studied so far. Having been materialized (in accordance with its mathematical description) in a computer, Subjective states will also be embodied in quite definite physical objects and processes (for example, into magnetic dipoles fixed in a computer memory). And yet, even in the "soulless" machine, these human subjective states artificial copies will not cease to be ideal formations, because even there they act as the names of physical objects surrounding the world machine. Thus, those philosophers who warn against putting an insurmountable barrier between the material and the ideal [5] are right. The "doubling" of the world occurs only for the reason that any mechanism analyzing physical reality, whether it be a person or a "soulless" computing device, is forced to operate in the process of this analysis not by the classes of material objects themselves, but by their names. A physical object used in the role another physical object name must be considered in its quality as something ideal.

However, if you change the point of view and treat the name simply as an object existing in itself, it will immediately turn into a material entity. In this respect, object's assignment to the category of material or idea entirely depends on the role that this object plays. If this object acts as the name of another object, this quality it is ideal; what is the root cause of the world "doubling", it's dividing into material and ideal? Apparently, the fact is that when there is a predicates set, then if you do not enter names for these predicates included into this set, then there is no possibility formally to express it.

Disjunction operation is not appropriate for this. For example, excluding from the right-hand side of equation (1) predicates names (along with recognition predicates, in which these names appear in the role of indicators), obtain the formula:

$$X^{a_1} \vee X^{a_5} \vee X^{a_2} \vee X^{a_3} \vee X^{a_4} \vee X^{a_6} \vee X^{a_7}.$$

It is impossible to isolate the original predicates from it since they disappeared, having completely dissolved into their disjunction. If predicate names are not introduced, then initial predicates obtainment is entirely possible. For example, assume $x = \alpha_1$. Substituting this value into the right-hand side of (9) equation, obtain $X^{a_1} \vee X^{a_5}$ predicate, corresponding to α_1 name.

Perhaps here we meet some fundamental nature limitation: if some mechanism that produces effective signal processing deals with systems (in other words, with a set of systems), then introduction of the names of for the predicates (multiplicities) of these systems becomes inevitable. If you dismantle such a mechanism, then it will necessarily reveal physical structures that actually reproduce these names. It is very likely, that without using predicates names effective operation of any indicated assignment mechanism is impossible. Namely in this respect ideal objects appear in fairly complex systems (i.e. names) appear. Operating ideal states is not exclusive human privilege. In any "soulless" machine, which performs the same work so a human does. Thus, there is no reason to believe that only people can feel and think (i.e., operate ideal states), but never machines.

2. Awareness predicate as membership

In the first part of the article we decomposed comparator predicate $t = P(X,Y)$ into three parts: perception function $x = f(X)$, understanding function $y = g(Y)$ and awareness predicate $t = L(x,y)$. Along with this we also introduced intermediate signals x and y, correspondently characterizing situation perception X and text sense Y. Formulating P predicate decomposition problem, we were guided by the conviction of each person, based on self-observation, about the presence of perceptions and thoughts in his mind arising from the action of situations and texts. This problem is solved by a purely physical method without subjective data involving. M set of all x signals, N set of all y signals, f and g functions, as well as predicate are uniquely determined by the well-known predicate P, set at $A \times B$, except for the choice of notation.

The researcher has a right to choose sets A and B of situations and texts arbitrarily, at our discretion with a set task. Knowledge of the internal structure of situations and texts is not required, they are considered as simple elements (points) of sets A and B. It is assumed only that the researcher is able to identify or distinguish any two situations from the set and any two

texts from the set. In other words, it is postulated that on P and P sets equality predicates are defined. Any predicate P, set on $A \times B$, without any exceptions can be successfully decomposed; it is important only that it is a predicate, and not something else. To perform the last condition it is sufficient that the subject reacts to any pair of signals $x \in A$ and $y \in B$ every time with t double answer (0 or 1), and that this answer is uniquely determined by the pair (X, Y).

The structure of signals described by the decomposition method described above is not opened, they are still introduced only as simple elements (points) of sets M and N. On M and N multiplicities equality predicates D_1 and D_2 ((2), (3) [4]), which are uniquely introduced (up to the notation of M and N sets elements) are determined by the predicate P. Emphasize that predicates D_1 and D_2 are introduced by considerations of an objective nature, based only on physically observed facts. Predicates values $D_1(x_1, x_2)$ and $D_2(y_1, y_2)$ can be pre-computed for any $x_1, x_2 \in M$ and $y_1, y_2 \in N$ without reference to the subjective experience of the subject.

At the same time, predicates D_1 and D_2 allow a psychological commentary (interpretation), consistent with the witness's consciousness of the subject. If as a result of the calculations it turned out that $D_1(x_1, x_2) = 1$, then perceptions x_1 and x_2 should be identified by the subject; if $D_1(x_1, x_2) = 0$, then the subject should discover their difference from each other. Similarly, when $D_2(y_1, y_2) = 1$, then the subject should find out that y_1 and y_2 thoughts are identical; when $D_2(y_1, y_2) = 0$, then they must be realized by the subjects as different. If it turns out that there is no such consistency between objective and subjective data, then such results of the mathematical description of the intellectual activity of the subject should be considered inadequate. This means that something in the investigation of the intellect was done in a wrong way, and performed work needs to be improved. If you follow this technique also in the intelligence theory (which seems natural and reasonable, and you cannot see other ways), you will have to guess the formula predicate representing and then formulate a system of its properties from which such representation admissibility would logically follow. Any formula divides the function described by it into parts, represents it in the form of some other functions superposition. This process is called function decomposition. Decomposition of any function can be performed in many different ways. But where should one stop?

During the decision of the last question it is extremely important not to be mistaken. It is natural to expect that the predicate, which characterizes very complex perception processes, understanding and awareness will have an equally complex structure, revealed in decomposition process. Almost certainly, the functions obtained as a result of the first decomposition act will have to be subjected to further decomposition. And maybe it should be performed many times. If we conduct P predicate decomposition from the very beginning in a wrong way, then very soon we will get into a deadlock. This problem that helps to solve introspective information reported to the subject about his subjective experiences. Having the opportunity to learn something about the signals inside the "black box" of his psyche, the subject can tell the researcher the correct way of P predicate decomposing. At the same time, physical response experimental definition results $t = P(X, Y)$ subject to signals X and Y, are surely not dependent on the subject's subjective experience. Witnessing the emergence of x perception in his mind of X situation and Y text meaning, the subject leads the researcher to a thought to introduce intermediate signals x and y and decompose the predicate $t = P(X, Y)$ into three functions: $x = f(X)$, $y = g(Y)$ and $t = L(x, y)$.

Let us return to the problem of P predicate decomposition. Previously it was divided into three parts – f, g and L predicate function. Now the object of consideration will be L predicate. We defined the form of this predicate for a case, when elements numbers in P and P sets is small. The method considered there is based on the "force reception" of all possible variants sorting. However, as it was mentioned above this technique does not allow us to obtain a mathematical description of the tested object under the conditions when P and P sets are immensely large, and namely this case is applied in practice. Now during decoding of L predicate type we go a different way, namely – the way of such its properties formation, from which it would be possible to extract additional information about the structure of L predicate.

When solving this problem we will proceed from the working hypothesis that predicate $L(x, y)$ corresponds to $x \in y$ ratio membership. Call this type of predicate as membership. Consider those heuristic considerations that incline us to this hypothesis. Each $y \in N$ text sense corresponds to a completely definite set S of situations perception $x \in M$, such that $L(x, y) = 1$. This leads to a thought of considering the meanings of texts as situations perceptions corresponding sets names. However, it is possible to object that with the same result for each $x \in M$ situation perception to introduce T sense meanings $y \in N$, such that $L(x, y) = 1$, and consider the situations perceptions as meaning sets corresponding names in the texts.

However there is one circumstance, which does not allow doing this. If perceptions could act as sets, then they could be applied to operation of union, intersecting and adornment. But is it possible, for example, to combine two any perceptions? It is not, since different perceptions mutually exclude each other. A new perception can only arise in the place of the old, giving way to it. Two or more perceptions cannot exist simultaneously. At every time point only one perception can exist. Similar considerations make us reject the possibility of intersection and complementary operations perceptions conduct.

It is completely different with the meaning of the texts. Take, for example, thought x_1 and x_2, expressing by the phrases «It is raining» и «The sun is shining». Each of them corresponds to a quite definite set of situations. Let thoughts x_1 correspond T_1 set, and x_2 thoughts – T_2 set. Is it possible to form x thought from x_1 and x_2, which would correspond to the union of sets T_1 and T_2? It is possible, it is enough to combine initial phrases with the union "or", being understood in the unified sense "or also" (there is another meaning of the union "or" – separating "or-or"). In the result we obtain phrase «It is raining, or the sun is shining ». The intersection of thoughts is expressed by the union «and», addition of thought with the particle «not», in words « false that …». It is clear, that unification operations of intersections and additions, in principle, can be applied to any thoughts.

Now let's try to formulate a system of conditions, which would characterize predicate $L(x,y)$, set on $M \times N$, as a membership predicate. In accordance with the abovementioned we formulate a non-intersectability postulate that reads: sets M and N do not intersect. Formally, this postulate can be written as follows:

$$\forall x \in M \forall y \in N D(x,y). \quad (33)$$

In the theory of sets the axiom of bulk or continuity is used: if the elemental composition of the sets coincides, then the sets coincide themselves. In psychological interpretations, the axiom of bulk means that if the meaning of the text y_1 corresponds to many perceptions of situations S_1, but the sense of the text y_2 corresponds to many perceptions of situations S_2, and these sets coincide with each other, then sense of texts as subjective states of the subject also coincide. In accordance with the above stated we formulate the postulate of bulk:

$$\forall y_1, y_2 \in N(\forall x \in M(L(x,y_1) \sim L(x,y_2) \supset D(y_1,y_2)). \quad (34)$$

Further, we will need a postulate of the existence of contradictions that assert the existence of such a thought $y \in N$ which does not correspond to any of the perceptions $x \in M$. In other words, according to the contradiction of the postulate, there must be an idea which corresponds to the empty set of situation perceptions. The text expressing such an idea is easy to form, for example, «It is raining, and it is not raining». Any statement, which does not go with any set situations M, call it contradiction. Formally, the postulate of the existence of contradictions is as follows

$$\exists y \in N \forall x \in M L(x,y). \quad (35)$$

The next condition is called the postulate of exhaustiveness. According to this postulate for any situation perception $x \in M$ should exist such sense of the test $y \in N$, which goes with this perception, but does not go with any other. In other words, for each predetermined perception there should be such a text that exhaustively describes it. The word "exhaustive" is used here in those sense, that according to the text, describing this perception, it can be distinguished from any perception, containing in M perception. According to such text the subject should be able to choose from all sorts of M set situations perceptions the only perception, corresponding to this text. The postulate of exhaustiveness is formally recorded in the form of the following expression:

$$\forall x \in M \forall y \in N(L(x,y) \wedge \forall x_1 \in M(L(x_1,y) \supset D(x,x_1))). \quad (36)$$

Finally, formulate the last condition, which we call the unity of the postulate. Let y_1 and y_2 be senses of texts, which correspond to the set of situations perceptions T_1 and T_2. Unity postulate states: for any $y_1, y_2 \in N$ it is such sense of the text $y \in N$, which corresponds to many situations $T = T_1 \cup T_2$. This means that any pair of thoughts can be affected by the operation of their disjuncture. The integrity postulate is formally written as follows:

$$\forall y_1, y_2 \in N \forall y \in N \forall x \in M \\ (L(x,y_1) \vee L(x,y_2) \sim L(x,y)). \quad (d)$$

Conclusions

In mathematics it goes without saying that subsets of any universe do not coincide with any of the elements of this universe. Thoughts are abstract, disbeliever, their source is not the external world, but human mind. Any person easily distinguishes perceptions from thoughts. Perceptions are characterized by objectivity, each of them represents the image of external world fragment.

In the developing method of identification subjective data is used to control the subject intelligence study results quality, which has just been characterized as purely physical. Is it possible for physical knowledge to be substantiated by the subjective evidence of introspection? Is not it more correct to approve the opposite? Sure, it is correct. Scientific results of a physical nature are therefore called objective, which do not require recognition of the truth of reinforcement by considerations of a subjective nature. Nevertheless, not everything is as simple and straightforward as it may seem at first sight.

Objectively observable behavior of the subject is studied by physical methods in the theory of intelligence. Exhaustive information about P predicate should be eventually obtained as a result of this study. Everything has been safe if it was possible to build up a dependency table $t = P(X,Y)$ from all sorts of signal values X and Y. Then the problem of human intelligence study aspect observed here could be considered completely solved. However, the set of all situations and the set of all texts that can be presented in the experiment to the subject are almost invisible. In fact, it is impossible to take all the situations and the texts in turn and for all possible pairs to experimentally determine the binary reaction of the subject. To complete all such experiments, not only the entire life of the subject will suffice but also solar system existence time is not enough.

That is why it is necessary to act differently, to go a compass. Exactly the same problem exists in physics. There are no positive results if using «power take» of all possible cases complete research. Physicists overcome this difficulty in the following way: they try to guess a formula, describing process of the study, and look for conditions (i.e. postulates, laws), from which this formula could be logically deduced. The formulated conditions are subjected to a selective pilot test. If they are performed in all experiments and namely experiments are sufficiently diverse, then, even in spite of their small number the theory is recognized as fair. Exactly according to this method Newton built and sustained celestial mechanics and since that time this method is accepted as imitation model for all serious physical researches.

REFERENCES

1. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu. and Abed Tamer Kudhair (2015), "Construction of predicate prototypes of structured objects on the basis of the conceptual approach", *Uralskiy Nauchnyiy Vestnik*, No. 15 (146), pp. 5-12.
2. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu., Kudkhayr Abed Tamer and Leshchynskaia, Y.A. (2013), "The predicative approach to non-obvious knowledge formalization", *Information Processing Systems*, No. 9 (116), pp. 113-116.
3. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu. and Kudkhayr Abed Tamer (2015), "Development of the predicate model of structured objects prototype forming methods", *Information Processing Systems*, No. 9 (134), pp. 83-87.
4. Shabanov-Kushnarenko, S.Yu., Kudkhayr Abed Tamer and Leshchynskaia, Y.A. (2013), "Development of concepts logical connections predicative models", *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4 (37), pp. 144-147.
5. Bondarenko, M.F. and Shabanov-Kushnarenko, Yu.P. (2007), *Teoryia yntellekta* [*Theory of Intelligence*], SMIT, Kharkiv, 576 p.
6. Bondarenko, M.F., Shabanov-Kushnarenko, Yu.P. and Shabanov-Kushnarenko, S.Iu. (2011), "Models of comparative identification in the form of families of integral one- and two-parameter operators", *Bionika intellekta*, No. 2, pp. 86-97.
7. Bondarenko, M.F., Shabanov-Kushnarenko, S. Yu. and Shabanov-Kushnarenko, Yu. P. (2009), "Practical applications of comparative identification of linear finite-dimensional objects]", *Bionika intellekta*, No. 2(71), pp. 5-12.
8. Bondarenko, M.F. and Shabanov-Kushnarenko, Yu.P. (2011). "*Brain-like structures*", Naukova dumka, Kyiv, 460 p.
9. Khudayr Tamer Abed and Shabanova-Kushnarenko, L.V. (2018), "Comparative model of texts and their described objective situations conformity", *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(31), pp. 131-136, available at: https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.17.

Received (Надійшла) 28.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Функціональна структура прогнозування компаратора в методі ідентифікації комутації

Абед Ерііч Аднан

Теорія інтелекту вивчає зв'язок суб'єктивного і об'єктивного світів, які сприймаються і аналізуються інтелектом людини. Тому, з одного боку, теорія інтелекту як наука повинна відповідати об'єктивним вимогам, прийнятим в фізичних науках, з іншого боку - вимушена спиратися на інтроспективні дані інтелекту. Як і інші точні науки, теорія інтелекту потребує спеціальної математичної мови, яка б відповідала об'єкту теорії інтелекту; особливих методів, придатних для об'єктивного вивчення інтелекту людини. Основним методом об'єктивного аналізу і моделювання роботи інтелекту людини є метод компараторної ідентифікації. У методі людина, що досліджується, своєю поведінкою реалізує деякий кінцевий предикат. Відповідно до методу проводиться експериментальне вивчення властивостей цього предиката, потім за результатами будується математична модель реакцій людини, суб'єктивних станів її інтелекту. Метод компараторної ідентифікації дозволяє з точністю до ізоморфізму знайти функцію, що перетворює фізичні ситуації в суб'єктивні образи, які породжуються ними. У розроблюваному методі ідентифікації суб'єктивні дані використовуються для контролю якості предметних результатів дослідження інтелекту, що тільки що характеризувалися як суто фізичні. Чи можливо обгрунтування фізичних знань суб'єктивними свідченнями самоаналізу? Чи правильніше не схвалити зворотнє? Звичайно, це правильно. Тому наукові результати фізичної природи називаються об'єктивними, що не вимагають визнання істинності підкріплення міркуваннями суб'єктивного характеру. Проте, не все є настільки простим і зрозумілим, як це може здатися з першого погляду. **У статті** виконано декомпозицію предиката компаратора і проаналізовано його функціональну структуру, вивчено процес факторизації множин суб'єктивних станів інтелекту людини.

Ключові слова: теорія інтелекту; алгебра кінцевих предикатів; порівняльна ідентифікація.

Функциональная структура прогнозирования компаратора в методе идентификации коммутации

Абед Эриич Аднан

Теория интеллекта изучает связь субъективного и объективного миров, воспринимаемых и анализируемых интеллектом человека. Поэтому, с одной стороны, теория интеллекта, как наука, должна соответствовать объективным требованиям, принятым в физических науках, с другой стороны – вынуждена опираться на интроспективные данные интеллекта. Как и другие точные науки, теория интеллекта нуждается в специальном математическом языке, соответствующем объекту теории интеллекта; особых методах, пригодных для объективного изучения интеллекта человека. Основным методом объективного анализа и моделирования работы интеллекта человека является метод компараторной идентификации. В методе испытуемый своим поведением реализует некоторый конечный предикат. В соответствии с методом проводится экспериментальное изучение свойств этого предиката, затем по результатам строится математическая модель реакций испытуемого, субъективных состояний его интеллекта. Метод компараторной идентификации позволяет с точностью до изоморфизма найти функцию, преобразующую физические ситуации в порождаемые ими субъективные образы. **В настоящей статье** выполнена декомпозиция предиката компаратора и проанализирована его функциональная структура, изучен процесс факторизации множеств субъективных состояний интеллекта человека.

Ключевые слова: теория интеллекта; алгебра конечных предикатов; сравнительная идентификация.

УДК 004.89 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.14**

Я. Рахими, Е. И. Феоктистова

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

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО МАРШРУТА ТРАНСПОРТИРОВКИ СУХОФРУКТОВ В УКРАИНУ

Цель статьи состоит в описании процесса разработки специализированной экспертной системы, с реализацией нечеткого вывода на знаниях, для поддержки принятия решений по выбору рационального маршрута в рамках создания полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину, в режиме ‘just-in-time’. Применение такой системы при формировании ЦПС даст возможность повысить эффективность бизнес процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат. **Результаты.** Описан процесс разработки экспертной системы для поддержки принятия решений участниками полной логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину. Показано, что одним из наиболее важных факторов, определяющих эффективность функционирования ЦПС, является выбор рациональных маршрутов доставки сырья, сопутствующих материалов и готовой продукции в рамках рассматриваемой цепи. Проанализированы показатели, которые необходимо учитывать при подборе транспортного средства – расположение конечных пунктов доставки, габаритов и веса груза, других его характеристик, а также показатели, определяющие рациональность маршрута – возможные остановки для питания и ночлега водителей, наличие пунктов таможенного контроля и дорожные условия (состояние покрытия, ширина дорожного полотна, погодные условия, влияющие на состояние дороги, ограничения скоростного режима на отдельных участках маршрута). В результате анализа установлен нечеткий характер указанной информации, предложено разработать специализированную экспертную систему, реализующую нечеткий вывод на знаниях. Для разработки экспертной системы использована среда MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox). В техническом аспекте, для формирования решений в экспертной системе применено правило Мамдани, а для дефаззификации результата – метод центра тяжести. Приведен пример обоснованного выбора наиболее рационального маршрута из двух возможных вариантов.

Ключевые слова: поставки сухофруктов; логистическая система; цепи поставок; экспертная система; нечеткий вывод; правило Мамдани; рациональный маршрут.

Введение

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 цепи поставок сухофруктов в Украину (ЦПС).

Одним из главных факторов, определяющих эффективность функционирования ЦПС, является рациональная организация перевозок внутри цепи. При этом возникает важная задача определения рационального маршрута доставки грузов в рамках ЦПС, с учетом большого числа разнородных факторов, влияющих на себестоимость перевозок и четкого выполнения их графика.

Для анализа эффективности логистических маршрутов в настоящее время имеется большое количество различных моделей и методов, выбор конкретных средств зависит от факторов, описывающих динамичность функционирования конкретного варианта реализации цепи [1, 2].

Концепция построения ЦПС предполагает комплексное представление процессов, начиная от производства сырья (свежих фруктов) и охватывает всех поставщиков товаров, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц. 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 является минимизация производственных издержек в том числе, и за счет снижения стоимости перевозок, при соблюдении принципа ‘just-in-time’ [3, 5].

Цель статьи состоит в описании процесса разработки специализированной экспертной системы, с реализацией нечеткого вывода на знаниях, для поддержки принятия решений по выбору рационального маршрута в рамках создания полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину, в режиме ‘just-in-time’. Применение такой системы при формировании ЦПС даст возможность повысить эффективность бизнес процессов в цепи за счет снижения финансовых и временных затрат, в частности, обеспечения своевременной доставки сухофруктов для реализации украинским потребителям. Указанный эффект будет достигнут за счет снижения риска принятия ошибочных решений логистами при организации перевозок в рамках ЦПС.

Основная часть

Решение задачи выбора вида транспорта само по себе не обеспечивает эффективность процессов транспортировки сухофруктов в рамках логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) в Украину; на качество и скорость перевозки напрямую влияет рациональный выбор маршрута. Сохранность груза и извлечение максимальной прибыли на практике достигают с помощью составления рационального пути следования [1, 2, 6]. При составлении рационального маршрута необходим учет расположения

конечного пункта доставки, габаритов и веса груза, а также его характеристик. С учетом перечисленных параметров подбирается транспортное средство, необходимое для перевозки.

В ходе проектирования ЦПС должен быть составлен маршрут следования, в котором учтены возможные места остановок для питания и ночлега водителя, так и рассматриваются пункты таможенного контроля. Кроме того, необходим учет состояния дорожного покрытия и пересечение границ других государств. Кроме того, принимаются во внимание особенности каждого региона на пути следования груза. Необходимо учитывать также ширину дороги и качество покрытия дорожного полотна и погодные условия, влияющие на состояние дороги. Для обеспечения доставки в режиме just-in-time должны быть учтены ограничения скоростного режима на отдельных участках маршрута.

Принято выделять три основных способа перевозки груза [2]: маятниковый способ (осуществляется между двумя пунктами); кольцевой (загрузка-выгрузка осуществляется на протяжении всего пути следования); развозной (разгрузка осуществляется в нескольких местах).

Развозные и кольцевые способы перевозки являются самыми выгодными, поскольку на всем пути следования автотранспортное средство практически не остается порожним. При этом маршрут окупается, а значит, снижается себестоимость перевозок. Для маятниковых маршрутов необходим специальный расчет, чтобы машина не оставалась на обратном пути порожней. В этом случае можно просчитать варианты возврата автотранспорта другим путем с тем, чтобы догрузить транспорт и окупить расходы на обратную дорогу.

В транспортной логистике любой маршрут может быть отнесен к одной из четырех категорий [2]: городские маршруты – осуществляются в пределах одного города или населенного пункта и пределы городской черты не пересекаются; пригородные маршруты, которые призваны обеспечить связь между городом и пунктами, находящимися в радиусе до 50 км от городской черты; междугородние маршруты, охватывающие всю территорию страны; международные маршруты, предполагающие пересечение границ государства. Городской маршрут планируется с учетом утренних и вечерних пробок в определенных районах города, наличия светофоров на пути, ведущихся дорожно-строительных работ. Пригородные маршруты должны учитывать плотность автомобильного потока на выезде из города. При планировании маршрута международных грузоперевозок необходимо просчитать время, которое может быть потрачено при прохождении таможенного поста, состояние дорожного полотна и правила пользования автотрассами за рубежом (за границей многие дороги являются платными).

При транспортировке грузов в рамках ЦПС, важным критерием выступает время доставки сырья, сопутствующих материалов и готовой продукции. Стоимость перевозки грузов включается в себестоимость товара, исходя из этого, имеет место прямая зависимость между продолжительностью маршрута и стоимостью товара

Для выбора рационального маршрута транспортировки целесообразно построить нечеткую модель в среде MATLAB и разработать экспертную систему, функционирование которой будет осуществляться на основе нечеткого вывода. Интерактивный режим обеспечен за счет применения пакета Fuzzy Logic Toolbox, входящего в состав среды MATLAB [4].

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода, для определения рационального маршрута международной транспортировки, рассмотрим четыре нечеткие лингвистические переменные: погодные условия; качество покрытия дорожного полотна; количество встречающихся ограничений скоростного режима; время прохождения таможенного поста. При этом выходными переменными будут: время транспортировки; стоимость транспортировки.

В качестве схемы нечеткого вывода применяем метод Мамдани, следовательно, методом активации будет MIN [5]. В качестве метода дефаззификации полученного результата используем метод центра тяжести.

Для построения нечеткой модели выбора рационального маршрута транспортировки предположим, что все рассматриваемые входные переменные измеряют в баллах в интервале действительных чисел от 0 до 10, где самая низкая оценка значения каждой из переменных – 0, а самая высокая — 10.

Терм-множество для первой входной лингвистической переменной “Погодные условия” (Pogoda): T_1 ={“удовлетворительная”, “хорошая”, “превосходная”}. Для второй входной переменной “Качество покрытия” (Pokrutie): T_2 ={“плохое”, “среднее”, “отличное”}. Для третьей входной лингвистической переменной “Ограничения скорости” (Ogran_skorosti) T_3 ={“очень много”, “много”, “мало”}. Для четвертой входной лингвистической переменной “Прохождение таможенных постов” (Tamozhen_postu): T_4 ={“медленно”, “быстро”, “очень быстро”}.

В качестве терм-множества первой выходной лингвистической переменной “Время транспортировки” (Vrema): T_5 ={“отличное”, “хорошее”, “среднее”, “плохое”, “очень плохое”}.

В качестве терм-множества второй выходной лингвистической переменной “Стоимость транспортировки” (Stoimost): T_6 ={“очень низкая”, “ низкая ”, “средняя”, “высокая ”, “очень высокая”}.

Задача нечеткого моделирования решена на основе правила Мамдани. При этом оставлены без изменения параметры разрабатываемой нечеткой модели, предложенные системой MATLAB по умолчанию: логические операции (min - для нечеткого логического «И», max - для нечеткого логического «ИЛИ»), метод импликации (min), метод агрегирования (max) и метод дефаззификации (centroid). Затем, в ходе решения задачи, были определены функции принадлежности термов для каждой из четырех входных и одной выходной переменных рассматриваемой системы нечеткого вывода. Далее,

для разрабатываемой экспертной системы, была сформирована база знаний из 30 правил. На рисунке 1 показан редактор правил, входящих в состав нечеткой базы знаний экспертной системы, вызываемый функцией ruleedit ('marschrut'). Затем проведен анализ построенной системы нечеткого вывода для рассматриваемой задачи выбора рационального маршрута транспортировки партии сухофруктов по международному маршруту. Путем ввода значения входных переменных для первого варианта маршрута, получено значение входной переменной «погодные условия» - 5 баллов, значение входной переменной «качество покрытия» – 4 балла, значение входной переменной «ограничения скорости» – 6,8 баллов, значение входной переменной «Прохождение таможенных постов» – 7 баллов.

Рис. 1. Редактор правил базы нечетких знаний экспертной системы по выбору рациональных маршрутов перевозок в рамках ЦПС

В результате процедура нечеткого вывода, выполненная с помощью системы MATLAB для разработанной нечеткой модели, выдает значение выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки», равное 41,5 часов и 12,7 тысяч гривен соответственно. Для второго маршрута значение входной переменной «погодные условия» было оценено в 5 баллов, значение входной переменной «качество покрытия» – в 7 баллов, значение входной переменной «ограничения скорости» – в 4,5 балла, значение входной переменной «Прохождение таможенных постов» – в 3,5 балла. В результате процедура нечеткого вывода дала возможность получить значения выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки», равное 49,2 часа и 15,6 тысяч гривен соответственно.

Проанализировав полученные результаты значение выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки», можно сделать вывод, что осуществлять транспортировку грузов в рамках ЦПС выгоднее производить по первому варианту маршрута.

На рис. 2 показан процесс визуализации поверхности нечеткого вывода рассматриваемой модели для входных переменных «Ограничения скорости» и «Прохождение таможенных постов». Данное средство визуализации дает возможность установить зависимость значений выходной переменной от значений отдельных входных переменных нечеткой модели. Анализ этих зависимостей служит основанием для изменения функций принадлежности входных переменных или нечетких правил в целях повышения адекватности системы нечеткого вывода.

Рассмотренная нечеткая модель обладает достаточной адекватностью. Однако для ее более тонкой настройки необходимо использование дополнительных методик балльной оценки отдельных количественных значений входных и выходных лингвистических переменных.

Системы нечёткого вывода, созданные с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox, допускают интеграцию с инструментами пакета Simulink [4, 7], что позволяет выполнять моделирование систем в рамках последнего. В качестве примера, на рис. 3 показана модель системы управления выбора рационального маршрута транспортировки внутри ЦПС для параметров {5, 4, 6.8, 7.2}, подобная же модель была построена для параметров {5, 7, 4.5, 3.5}. В результате сравнения результатов моделирования было установлено, что значения выходных переменных «Время транспортировки» и «Стоимость транспортировки» составляют: для первого варианта маршрута 41,54 часа и 12,75 тысяч гривен, для второго варианта маршрута 49,33 часа и 15,62 тысяч гривен. Указанные результаты подтверждают, что для транспортировки сухофруктов целесообразно использовать первый вариант маршрута.

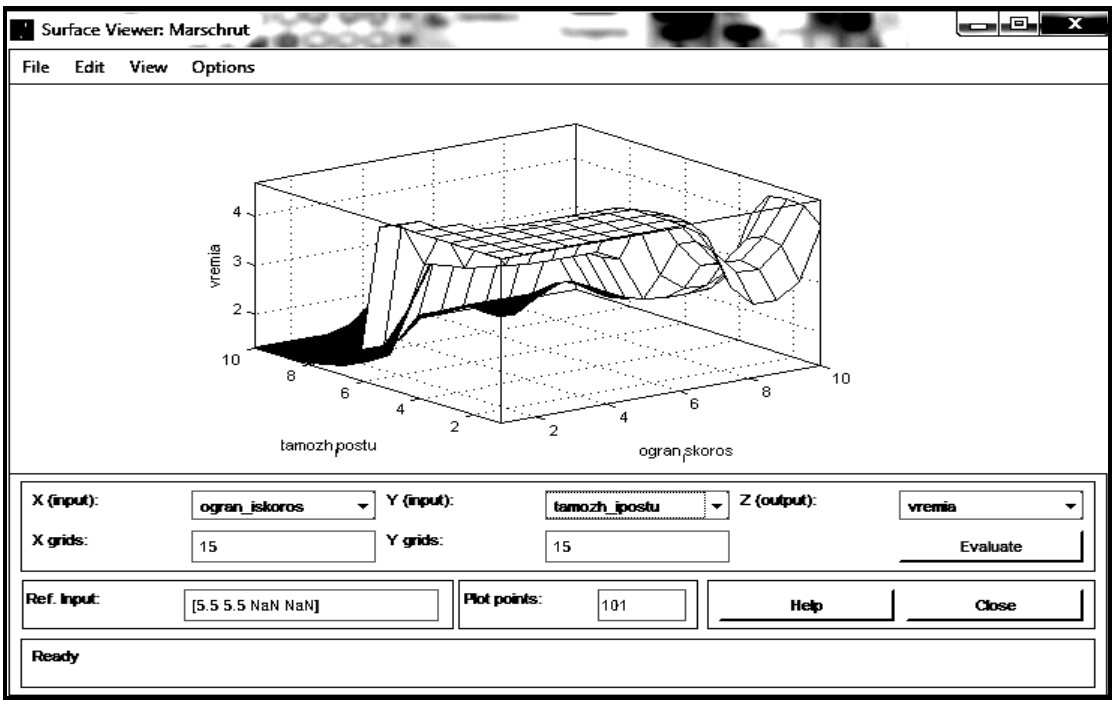


Рис. 2. Визуализация поверхности нечеткого вывода для выходной переменной «Время транспортировки»

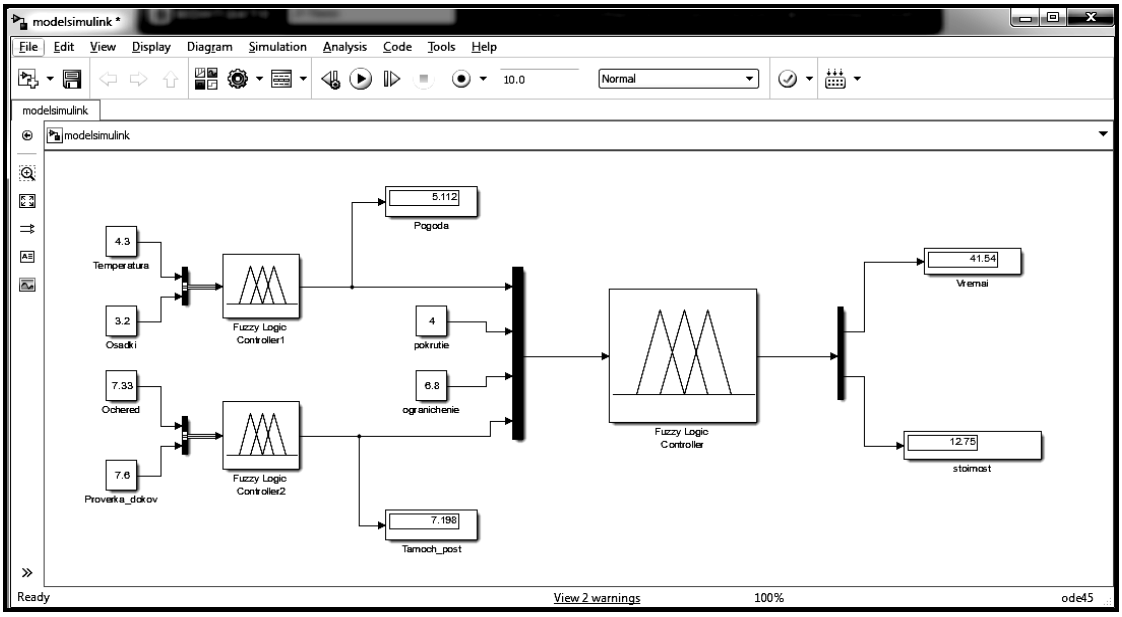


Рис. 3. Модель системы управления для первого варианта маршрута транспортировки в рамках ЦПС

Выводы

Для эффективного функционирования полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину необходимо решение задачи выбора рациональных маршрутов транспортировки грузов. Предложен вариант решения указанной задачи путем разработки специальной экспертной системы с нечетким выводом на знаниях, для поддержки принятия решений логистами при организации перевозок. В качестве средства доставки грузов в ЦПС выбран автомобильный транспорт. Инструментарием для разработки экспертной системы послужил пакет Fuzzy Logic Toolbox, входящий в состав среды MATLAB.. Рассмотрен пример обоснования с помощью разработанной экспертной системы, выбора рационального маршрута, по длительности и стоимости транспортировки, из двух возможных вариантов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сток Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Джеймс Р. Сток, Дуглас М. Ламберт. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 831 с.
2. Бауэрсокс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д.Дж. Бауэрсокс, Д.Дж. Клосс. – М., 2008. – 640 с.
3. Рахими Я. Знаниеориентированный подход к организации поддержки принятия решений по формированию полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину/ Я. Рахими // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 197-201.

4. Дьяконов В.П. MATLAB6/6/1/6/5 + SIMULINK 4/5 / В.П. Дьяконов. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 768 с.
5. Crainic T.G. Tools for Tactical Freight Transportation Planning / T.G. Crainic, J.O.R. Roy // European Journal of Oper. Res. – 1988. – 33(3). – P. 290-297.
6. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E. Ruchkov // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2016. –P. 1-6, available at : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

REFERENCES

1. Stock, J.R. and Lambert, Douglas M. (2005), *Strategic Logistics Management*, INFRA-M, Moscow, 831 p.
2. Bowersox, D.J. and Closs, D.J. (2008), *Logistics: integrated supply chain*, Olimp-Business CJSC, Moscow, 640 p.
3. Rakhimi, Ya. (2017), "Knowledge of an oriented approach to the organization of decision-making support for the formation of a complete logistic chain of supply of dried fruits to Ukraine", *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 6(46), pp. 197-201.
4. Dyakonov, V.P. (2002), *MATLAB6 / 6/1/6/5 + SIMULINK 4/5*, Solon-Press, Moscow, 768 p.
5. Crainic, T.G. and Roy, J.O.R. (1988), "Tools for Tactical Freight Transportation Planning", *European Journal of Oper. Res.*, 33 (3), pp. 290-297.
6. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov, E.(2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems*", East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, pp. 1-6, available at : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
7. Pegat, A. (2013), *Fuzzy modeling and control*, BINOM. Laboratory of Knowledge, Moscow, 798 p.

Received (Надійшла) 29.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

Розробка експертної системи для вибору раціонального маршруту транспортування сухофруктів в Україну

Я. Рахімі, О. І. Феоктистова

Мета статті полягає в описі процесу розробки спеціалізованої експертної системи з реалізацією нечіткого виведення на знаннях для підтримки прийняття рішень по вибору оптимального маршруту в рамках створення повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україну, в режимі 'just-in-time ". Застосування такої системи при формуванні ЦПС дасть можливість підвищити ефективність бізнес процесів в ланцюзі за рахунок зниження фінансових і тимчасових витрат. **Результати.** Описано процес розробки експертної системи для підтримки прийняття рішень учасниками повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів (ЛПС) в Україну. Показано, що одним з найбільш важливих факторів, що визначають ефективність функціонування ЛПС, є вибір раціональних маршрутів доставки сировини, супутніх матеріалів і готової продукції в рамках даного ланцюга. Проаналізовано показники, які необхідно враховувати при підборі транспортного засобу - розташування кінцевих пунктів доставки, габаритів і ваги вантажу, інших його характеристик, а також показники, що визначають раціональність маршруту - можливі зупинки для харчування та ночівлі водіїв, наявність пунктів митного контролю та дорожні умови (стан покриття, ширина дорожнього полотна, погодні умови, що впливають на стан дороги, обмеження швидкісного режиму на окремих ділянках маршруту). В результаті аналізу встановлено нечіткий характер зазначеної інформації, запропоновано розробити спеціалізовану експертну систему, що реалізовує нечіткий виведення на знаннях. Для розробки експертної системи використане середовище MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox). В технічному аспекті, для формування рішень в експертній системі застосовано правило Мамдані, а для дефазифікації результату - метод центру тяжіння. Наведено приклад обгрунтованого вибору найбільш раціонального маршруту з двох можливих варіантів.

Ключові слова: поставки сухофруктів; логістична система; ланцюги поставок; експертна система; нечітке виведення; правило Мамдані; раціональний маршрут.

Development of expert systems for election of a rational transportation route of dried fruits to Ukraine

Ya. Rahimi, O. Feoktystova

The purpose of the article is to describe the process of developing a specialized expert system, implementing a fuzzy conclusion on knowledge, to support decision making on the selection of a rational route in the creation of a complete logistics chain of supplies of dried fruits to Ukraine, in the 'just-in-time' mode. The use of such a system in the formation of the CPC will make it possible to improve the efficiency of business processes in the chain by reducing the financial and time costs. **Results.** The process of developing an expert system to support decision-making by participants in a complete logistics chain of deliveries of dried fruits (DDF) to Ukraine is described. It is shown that one of the most important factors determining the efficiency of the DDF, is a rational choice of delivery routes of raw materials, related materials and finished products in the framework of this chain. Analyzed parameters that must be considered when selecting a vehicle - the location of the final destination, size and weight, its other characteristics, as well as indicators that determine the route rationality - possible stops for food and accommodation of drivers, the presence of customs checkpoints and road conditions (state cover, width of the roadway, weather conditions affecting the state of the road, speed limits on certain sections of the route). As a result of the analysis, the fuzzy nature of this information is established, it is proposed to develop a specialized expert system that implements an unclear conclusion on knowledge. To develop an expert system used in MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox package). In the technical aspect, to form solutions in the expert system, rule applied Mamdani, and for defuzzification result - the center of gravity method. An example of an informed choice of the most rational route from two possible variants is given.

Keywords: delivery of dried fruits; logistics system; supply chain; expert system; fuzzy inference rule Mamdani; a rational route.

УДК 004.415:621.39:510.589 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.15**

С. Г. Семенов, О. В. Ліпчанська

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК ЗАЛІЗНИЧНОГО ШЛЯХУ

Актуальність. Залізничний транспорт є одним з найважливіших об'єктів критичної інфраструктури України і для забезпечення його безпеки потребує вдосконалення система управління безпекою руху поїздів шляхом впровадження сучасних комп'ютерних інформаційних технологій і засобів. Одним з таких шляхів є використання інтелектуальної системи контролю стану небезпечних ділянок залізничного шляху, зокрема на залізничних переїздах. Вирішення даної проблеми набуває ще більшої актуальності в разі, якщо мобільна мережа перенавантажується та машиніст втрачає зв'язок із камерою відеоспостереження на переїзді, в результаті чого не в змозі спостерігати стан переїзду. У статті запропоновано використання інтелектуальної системи для контролю стану небезпечних ділянок залізничного шляху, зокрема на залізничному переїзді. **Результати.** Розглянуто загальну архітектуру згортальної нейронної мережі. Запропоновано оптимізовану архітектуру згортальної нейронної мережі для розпізнавання небезпечних ситуацій на залізничному шляху. Надано рекомендації щодо налаштування параметрів, які варіюються, при побудові та навчанні згортальної нейронної мережі. Наведені результати тестування роботи мережі при розпізнаванні вільного шляху та при наявності критичної ситуації за різних умов. **Висновки.** Одержала подальшого розвитку інтелектуальна система контролю стану небезпечних ділянок залізничного шляху, яка відрізняється від відомих використанням оптимізованої архітектури для зменшення часу обробки зображень, що дозволило підвищити точність та оперативність розпізнавання ситуацій на зображеннях та, як слідство, підвищити рівень безпеки залізничного транспорту на окремих небезпечних ділянках.

Ключові слова: інтелектуальна система; відеоспостереження; згортальна нейронна мережа.

Вступ

Завдання забезпечення захисту критичної інфраструктури України від різних видів загроз є на даний час найбільш актуальним. [1]. Залізничний транспорт є одним з найважливіших об'єктів критичної інфраструктури України і для забезпечення його безпеки потребує вдосконалення система управління безпекою руху поїздів шляхом впровадження сучасних комп'ютерних інформаційних технологій і засобів [2, 3]. Одним з таких шляхів є використання інтелектуальної системи контролю стану небезпечних ділянок залізничного шляху, зокрема на залізничних переїздах.

Актуальність. Проведений аналіз [4 – 7] показав, що в даний час системами відеоспостереження облаштована лише невелика доля небезпечних ділянок залізничного шляху, переїздів в тому числі. Даний відео контроль здійснюється для фіксації порушень правил дорожнього руху при пересіченні залізничних переїздів, а саме при переїзді залізничної колії під час горіння червоного кольору світлофора або об'їзді шлагбауму. Відео з камер відео спостереження зберігається на серверах. В Росії для підвищення безпеки на залізничних шляхах використовують різноманітні системи фото- та відео фіксації [8], деякі з них використовують нейронні мережі для розпізнавання правопорушення та номерів автомобілів правопорушників. Недоліком систем відео спостереження, що використовуються на даний час на залізничних переїздах, є відсутність обробки даних в режимі реального часу для виявлення критичної ситуації, наприклад виїзді автомобіля на залізничну колію при наближенні поїзда або застряганні автомобіля між шлагбаумами. Тому актуальним є використання інтелектуальної системи, яка проводить попередній аналіз поточної обстановки на переїзді. Контроль стану небезпечних ділянок залізничного шляху забезпечується в реальному часі завдяки розпізнаванню критичної ситуації на залізничному переїзді нейронною мережею. При виявленні автомобіля на залізничних шляхах машиніст поїзда, що наближується до переїзду, сповіщується червоним індикатором про виникнення критичної ситуації. Вирішення даної проблеми набуває ще більшої актуальності в разі, якщо мобільна мережа перенавантажується та машиніст втрачає зв'язок із камерою відео спостереження на переїзді, в результаті чого не в змозі спостерігати стан переїзду.

Виклад основного матеріалу

Схема передавання сигналу про критичну ситуацію на залізничному переїзді до кабіни машиніста запропонованої інтелектуальної системи контролю стану небезпечних ділянок приведена на рис. 1.

Камера відео спостереження КВС веде неперервну зйомку залізничного переїзду. Дане відео через обчислювальний пристрій ОП та прийомо-передавальну апаратуру ППА (модем) передається на дисплей машиніста поїзда, що наближується, на сервер та диспетчеру на пункт керування. Нейронна мережа реалізована в ОП. При спрацюванні сигнальної системи на опускання шлагбауму нейронна мереж, яка навчена на розпізнання пустого переїзду (при різних умовах), включається в режим розпізнавання. В разі виявлення перешкоди на залізничному переїзді або присвоєнні ситуації на переїзді статусу «невизначено», тобто переїзд не вважається пустим, але й не визначений, як з перешкодою, ОП посилає сигнал на рейкові ланцюги автоматичної локомотивної сигналізації неперервної РЛАЛСН. Даний тривожний сигнал поступає по залізничному полотну на локомотивний пристрій ЛПАЛСН в кабіну машиніста та включає червоний Ч індикатор.

Для попереднього аналізу стану на залізничному переїзді інтелектуальною системою пропонується використання загортальних нейронних мереж [9 – 11]. Їх використання обґрунтоване типом даних, які поступають на вхід нейронної мережі, та специфікою поставленого завдання. Даний тип мереж володіє кращим алгоритмом по розпізнаванню та класифікації зображень в режимі реального часу, має відносну стійкість до повороту і зсуву зображення, яке розпізнається, що є важливим аспектом у випадку, коли зображення подаються з камери відеоспостереження. Згортальні нейронні мережі мають набагато меншу кількість вагів для настроювання, якщо порівнювати з нейронними мережами, що використовуються в відомих системах відео спостереження [8].

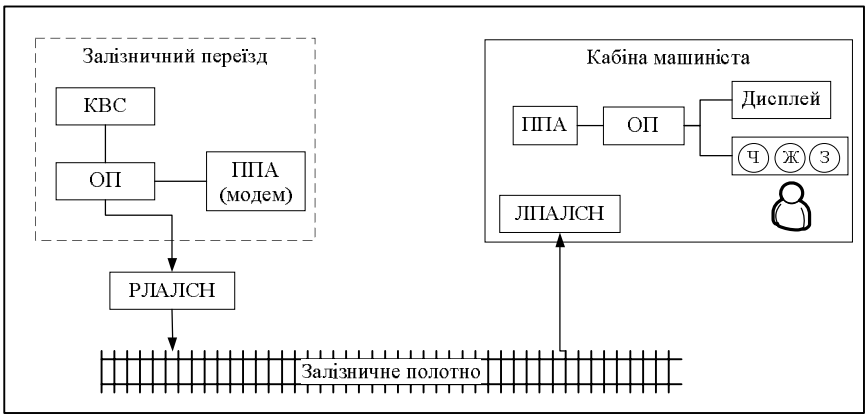


Рис. 1. Схема передавання сигналу тривоги про ситуацію на залізничному переїзді

Загальна архітектура згортальної нейронної мережі приведена на рисунку 2.

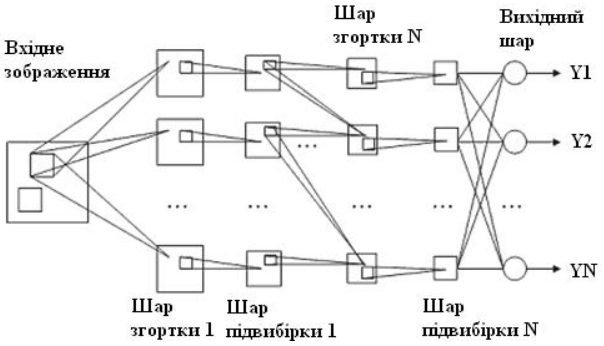


Рис. 2. Загальна архітектура згортальної нейронної мережі

Запропонована оптимізована архітектура. Так як архітектура загортальних нейронних мереж може змінюватися в залежності від поставленого завдання шляхом зміни кількості шарів, їх розмірів, кількості карт з характерними рисами для кожного шару і т.і., то для рішення завдання розпізнавання стороннього об'єкту на залізничному переїзді в критичний час, тобто в період часу, коли шлагбаум опущений, була запропонована архітектура загортальної мережі, зображена на рисунку 3.

Із даного рисунка видно, що на вхід подається зображення з камери відео спостереження, розміром 640*480 пікселів. Вхідні дані представляють собою матрицю, елементи якої містять значення відтінку сірого кольору відповідного пікселя.

Дана нейронна мережа складається із 4 шарів згортки ШЗ, 4 шарів підвибірки ШП. Для кожного шару використовуються ядра підібраного оптимального розміру, рис. 3. На початку обробки зображення має велику надмірність через свій розмір 640*480, тому для зменшення розмірності доцільно використовувати велику рецепторну область. У даній мережі для першої згортки використовуються три фільтри з ядром 13*13, тому перший шар згортки складається з трьох карт характерних рис КХР. Фільтри першого шару згортки виявляють властивості базового рівня, такі як межі та криві, тому карти характерних рис першого шару згортки показують області, де велика ймовірність присутності кривих та меж. Щоб не підвищувати обчислювальної складності, у даній архітектурі використовується 3 КХР на першому шарі згортки. Повнозв'язний шар ПШ складається із 462 нейронів. Вихідний шар Y містить один нейрон. Сигнал з вихідного нейрона відповідає наступним ситуаціям: 1) 0 – переїзд вільний; 2) 1 – переїзд зайнятий об'єктом.

Розмір КХР обчислюється за такою формулою:

$$(Wid, Hig) = (ImWid - KerWid + 1, ImHig - KerHig + 1),$$

де Wid, Hig – відповідно ширина та довжина КХР; $ImWid, ImHig$ – відповідно ширина та довжина вхідного зображення; $KerWid, KerHig$ – ширина та довжина ядра згортки.

Скалярний результат кожної згортки потрапляє на функцію активації, яка представляє собою довільну нелінійну функцію.

Скалярний результат кожної згортки потрапляє на функцію активації, яка представляє собою довільну нелінійну функцію. У даній роботі були досліджені такі нелінійні функції, як гіперболічного тангенса, сігмоїди, ReLU (rectified linear unit) та Leaky ReLU [14]. У результаті було зроблено вивід, що використання функції активації Leaky ReLU (1) дозволило прискорити процес навчання за рахунок спрощення розрахунків:

$$f(x) = \begin{cases} 0.01\,x, & при\ x < 0; \\ x, & при\ x => 0. \end{cases} \quad (1)$$

Пропонується нормалізувати вхідні дані в діапазоні від 0 до 1. Функція нормалізації

$$f(pic, \min, \max) = (pic - \min)/(\max - \min), \quad (2)$$

де pic – значення кольору пікселя, min – мінімальне значення кольору (0), max – максимальне значення кольору (255).

Дана нейрона мережа навчається методом зворотнього розповсюдження помилки, як одним з найбільш простих і популярних способів навчання з учителем [12, 13].

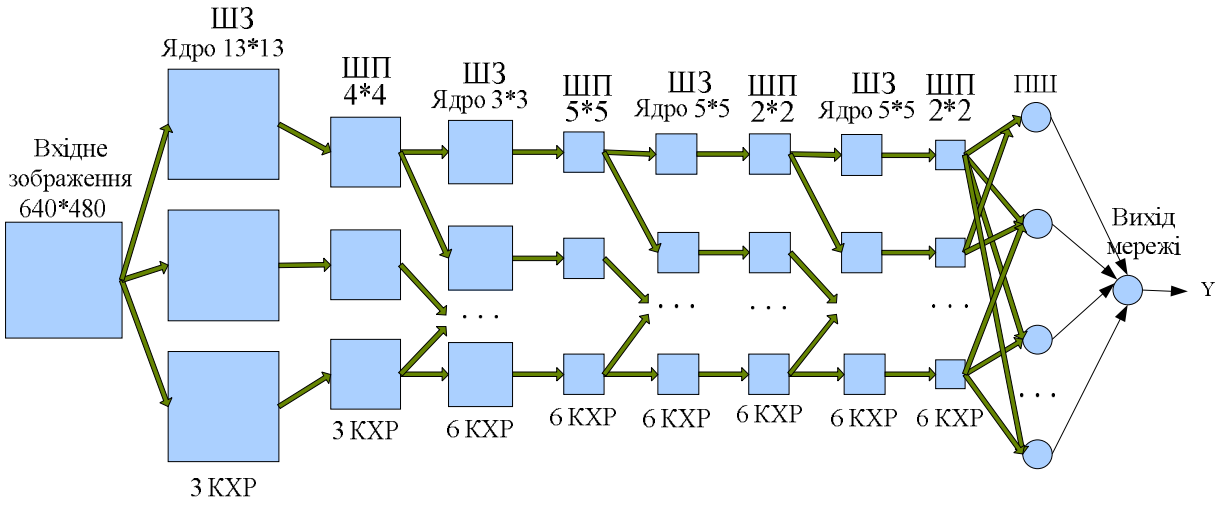


Рис. 3. Запропонована архітектура нейронної мережі

Засобом вимірювання якості розпізнавання пропонується використовувати функцію середньоквадратичної помилки [15], вирази 3, 4.

$$E^p = \frac{1}{2}(D^p - M(Z^p, W))^2, \quad (3)$$

$$E_{train} = \frac{1}{P}\sum_{p=1} E^p, \quad (4)$$

де E^p – помилка розпізнавання для р-ої навчальної пари, D^p – бажане значення вихідного сигналу мережі, $M(Z^p, W)$ – вихід мережі, що залежить від р-ого входа та вагових коефіцієнтів W, куди входять ядра згортки, зміщення, вагові коефіцієнти шарів нейронів.

Навчання та тестування нейронної мережі. Для навчання нейронної мережі застосовані зображення ділянки дороги безпосередньо перед залізничним переїздом, які отримані з відеокамери за різних зовнішніх умов. Загалом при навчанні застосовувалось 10 зображень вільної ділянки дороги.

Також було встановлено, що при конвертації кольорового зображення в чорно-біле (відтінки сірого) втрачаються розбіжності зображень вдень та вночі (рис. 4, 5). Після етапу навчання виконано тестування нейронної мережі за допомогою зображень, які відображають реальні ситуації, що виникають на дорозі. Деякі зображення наведені на рис. 6 – 10, в табл. 1 наведені результати роботи нейронної мережі, при поданні на вхід тестових зображень. Етап навчання займає від 1 до 10 годин в залежності від кількості навчальних зображень та заданої помилки розпізнавання. Час обробки вхідного зображення становить < 1 сек.

Рис. 4. Зображення ділянки дороги вдень

Рис. 5. Зображення ділянки дороги вночі

Рис. 6. Зображення ділянки дороги вдень під час дощу

Рис. 7. Зображення ділянки дороги вдень з плямами під час висихання асфальту

Рис. 8. Зображення ділянки дороги з пішоходом вдень

Рис. 9. Зображення ділянки дороги з автомобілем вдень

Рис. 10. Зображення ділянки дороги з автомобілем вночі

Таблиця 1. **Результати роботи нейронної мережі**

Опис зображення	Сигнал на виході нейронної мережі
Вільна ділянка дороги вночі, навчальне зображення (рис. 4)	0,935
Вільна ділянка дороги вдень, навчальне зображення (рис. 5)	0,982
Вільна ділянка дороги вранці, навчальне зображення	0,973
Вільна ділянка дороги ввечері, навчальне зображення	0,968
Вільна ділянка дороги вдень під час дощу (рис. 6)	0,951
Вільна ділянка дороги вдень з плямами під час висихання асфальту (рис. 7)	0,918
Зайнята ділянка дороги з пішоходом вдень (рис. 8)	0,659
Зайнята ділянка дороги з автомобілем вдень (рис. 9)	0,214
Зайнята ділянка дороги з автомобілем вночі (рис. 10)	0,327

Висновки

Одержала подальшого розвитку інтелектуальна система контролю стану небезпечних ділянок залізничного шляху, яка відрізняється від відомих використанням оптимізованої архітектури для зменшення часу обробки зображень, що дозволило підвищити точність та оперативність розпізнавання ситуацій на зображеннях.

Як слідство, це дозволило підвищити рівень безпеки залізничного транспорту на окремих небезпечних ділянках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні / Д. С. Бірюков, С. І. Кондратов, О. І. Насвіт, О. М. Суходоля. – Київ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2015. – 30 с.
2. Верховна Рада України. Наказ про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України [Електронний ресурс] / Міністерство Інфраструктури України. – 2011. – Режим доступу до наказу: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11.
3. Верховна Рада України. Постанова про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. –2009.– Режим доступу до постанови: http://zakon3.rada.gov.ua /laws/show/1390-2009-%D0%BF.
4. Новости ЮЖД. По пути обновления [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://gortransport.kharkov.ua/news/4013.
5. Південна залізниця. Новини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.pz.gov.ua.
6. Уніан. ДТП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://economics.unian.net/transport/874848-na-yujnoy-jeleznoy-doroge-za-god-proizoshlo-11-dtp.html.
7. TSN. Смерть на железнодорожных переездах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.tsn.ua/ukrayina/smert-na-zheleznodorozhnyh-pereezdah-pochemu-proishodyat-tragedii-i-pochemu-tak-malo-shlagbaumov-1003960.html.
8. CARS : глаз да глаз [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://www.cars.ru/articles/first-hand/21268656.
9. Optimal Brain Damage / Y. LeCun, J. S. Denker, S. Solla, R. E. Howard and L. D. Jackel // Advances in Neural Information Processing Systems. 1990.
10. Marc'Aurelio R. Efficient Learning of Sparse Representations with an Energy-Based Model / Ranzato Marc'Aurelio, Christopher Poultney, Sumit Chopra and Yann LeCun // Advances in Neural Information Processing Systems, MIT Press, 2006.
11. LeCun Y. Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series. / Y. LeCun and Y. Bengio // The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995.
12. Nielsen M. [Електронний ресурс]: Neural Networks and Deep Learning. – 2017. – Режим доступу: http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap2.html.
13. Goodfellow I. Deep Learning. / Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. // – 2017. – Режим доступу: http://www.deeplearningbook.org/front_matter.pdf.
14. Nair V. Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines / V. Nair, G.E. Hinton // Proceedings of the 27Th International Conference on Machine Learning, Haifa, Israel. – 2010 – P. 1 – 8.
15. Efficient BackProp. / Y. LeCun, L. Bottou, G. Orr, K. Muller // Neural Networks: tricks of the trade. –1998. – 44 p.

REFERENCES

1. Biryukov, D.S., Kondratov, S.I., Nasvit, O.I. and Sukhodolya O.M. (2015), *Green Book on Critical Infrastructure Protection in Ukraine*, National Institute for Strategic Studies, Kyiv, 30 p.
2. The Verkhovna Rada of Ukraine. Orders, available at : http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11 (last accessed March 7, 2018).
3. The Verkhovna Rada of Ukraine. Regulations, available at : http://zakon3.rada.gov.ua /laws/show/1390-2009-%D0%BF (last accessed March 7, 2018).
4. News of YuzhD, available at : http://gortransport.kharkov.ua/news/4013 (last accessed March 07, 2018).
5. Southern Railway, available at : http://www.pz.gov.ua (last accessed March 07, 2018).
6. Unian. Road accident, available at : https://economics.unian.net/transport/874848 (last accessed March 07, 2018).
7. TSN. Death at railway crossings, https://ru.tsn.ua/ukrayina/smert-na-zheleznodorozhnyh-pereezdah (last accessed March 7, 2018).
8. CARS, available at : https://www.cars.ru/articles/first-hand/21268656 (last accessed March 7, 2018).
9. LeCun, Y., Denker, J.S., Solla, S., Howard, R.E. and Jackel, L.D. (1990), Optimal Brain Damage, *Advances in Neural Information Processing Systems*.
10. Marc'Aurelio R., Christopher, Poultney, Sumit, Chopra and Yann, LeCun (2006), "Efficient Learning of Sparse Representations with an Energy-Based Model", *Advances in Neural Information Processing Systems*, MIT Press.
11. LeCun, Y. and Bengio, Y. (1995), "Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series", *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, MIT Press.
12. Nielsen, M. (2017), Neural Networks and Deep Learning, available at : http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap2.html (last accessed March 07, 2018).
13. Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville A. (2017), Deep Learning, available at : http://www.deeplearningbook.org/front_matter.pdf (last accessed March 07, 2018).
14. Nair, V. and Hinton, G.E. (2010), "Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines", *Proceedings of the 27Th International Conference on Machine Learning*, Haifa, Israel, pp. 1-8.
15. Le Cun, Y., Bottou, L., Orr, G. and Muller K. (1998), "Efficient BackProp", *Neural Networks: tricks of the trade*, 44 p.

Received (Надійшла) 21.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

Интеллектуальная система контроля состояния опасных участков железнодорожного пути

С. Г. Семенов, О.В. Липчанская

Актуальность. Железнодорожный транспорт является одним из важнейших объектов критической инфраструктуры Украины и для обеспечения его безопасности нуждается в совершенствовании системы управления безопасностью движения поездов путем внедрения современных компьютерных информационных технологий и средств. Одним из таких путей является использование интеллектуальной системы контроля состояния опасных участков железнодорожного пути, в частности на железнодорожных переездах. Решение данной проблемы приобретает еще большую актуальность в случае, если мобильная сеть перегружается и машинист теряет связь с камерой видеонаблюдения на переезде, в результате чего не в состоянии наблюдать состояние переезда. В статье предложено использование интеллектуальной системы для контроля состояния опасных участков железнодорожного пути, в частности на железнодорожном переезде. **Результаты.** Рассмотрена общая архитектура сверточной нейронной сети. Предложенная оптимизированная архитектура сверточной нейронной сети для распознавания опасных ситуаций на железнодорожном пути. Даются рекомендации по настройке параметров, которые варьируются, при построении и обучении сверточной нейронной сети. Приведены результаты тестирования работы сети при распознавании свободного пути и при наличии критической ситуации в разных условиях. **Выводы.** Получила дальнейшее развитие интеллектуальная система контроля состояния опасных участков железнодорожного пути, которая отличается от известных использованием оптимизированной архитектуры для уменьшения времени обработки изображений, что позволило повысить точность и оперативность распознавания ситуаций на изображениях и, как следствие, повысить уровень безопасности железнодорожного транспорта на отдельных опасных участках.

Ключевые слова: интеллектуальная система; видеонаблюдение; сверточная нейронная сеть.

Intelligent system of the railway dangerous land control

S. Semenov, O. Lipchanska

Topicality. Railway transport is one of the most important objects of critical infrastructure of Ukraine and in order to ensure its safety it is necessary to improve the system of safety management of trains by introducing modern computer information technologies and tools. One of these ways is the use of an intelligent system for monitoring the condition of dangerous sections of the railroad, in particular at railway crossings. The solution to this problem becomes even more urgent in the event that the mobile network is overloaded and the driver loses contact with the video surveillance camera on the move, resulting in the inability to observe the state of migration. The article proposes the use of an intelligent system for monitoring the condition of railway dangerous sections, in particular on the railway crossing. We discuss the description of the work and architecture of convolutional neural networks that are used in this system. **Results.** The optimized architecture of the neural network is proposed for solving the problem of identifying dangerous situations on the railroad. The recommendations for setting up variable parameters during construction and training of the convolutional neural network are given. The results of testing the work of the network are given when recognizing the free path and in the presence of a critical situation in different conditions. **Conclusions.** The intelligent system for controlling the state of dangerous sections of the railway has been further developed, which differs from the known use of optimized architecture to reduce the processing time of images, which allowed to improve the accuracy and efficiency of the recognition of situations in the images and, consequently, increase the safety level of rail transport in different dangerous areas.

Keywords: intelligent system; video surveillance; convolutional neural network.

Methods of information systems protection

УДК 651.34 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.16**

I. Mamusiĉ [1], D. Lysytsia [2], A. Lysytsia [2]

[1] University of Zagreb, Zagreb, Croatia
[2]National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv

MODEL OF DATA PREPARATION FOR ALLOCATION OF ALGORITHM FROM BINARY CODE FOR THE SAFETY ANALYSIS OF THE SOFTWARE

The **subject** of the study in the article is the use of technology of recovery of the algorithm for the allocation of binary attractors in the machine-independent form for the safety analysis of the software. **The purpose** is the first stage of the method of allocation of the algorithm from the binary code with the use of additional attractors - preparatory, which includes the task of allocating a set of attractors with simillar features and synthesis of information about the studied system. The following **results** are obtained. During the cource of the research the analysis of specialized simulators was performed. Such simulators allow to solve the problems of allocation (removal) of some algorithms from binary code. It was determined that additional attractors of the binary code of the program are required in order to increase he accuracy of software security testing. The general structure of the algorithm extraction from binary code is presented. A set of algorithms were developed. **Conclusions**. When combined they create the model of the first stage of data allocation of the algorithm from binary code for the analysis of software security. The key feature of development of this stage is the possibility of constructing a graph for arbitrary attractors, without restriction of the static nature of the code. This will allow a significant expansion of the spectrum of the program code under investigation, including codes with signs of a dynamic change. The further development of this research is to study the whole scheme and develop an appropriate method for allocating a binary code algorithm for software security analysis.

Keywords: software security testing; binary attractor; ethical hacking.

Introduction

Formulation of the problem. An analysis of recent world-wide events related to information security has shown that virtually every modern IT structure has certain vulnerabilities to cyberattacks. At the same time, there is a certain tendency to increase cyberattacks that have succeeded in their malicious purpose. In the opinion of the authors, this is largely due to the lack of attention to the testing of software security (SOA), as well as the discrepancy in opinions of software developers of the very essence of the term and functions of software security testing.

The analysis of popular information sources on the Internet [1, 2, 4, 6] showed that most authors connect the issue of software security testing to the purpose of finding and neutralizing existing risks which present a clear threat to the quality functioning of computer or computerized systems of various purposes.

It is stated that the basic principles of software security are confidentiality, integrity and accessibility [5].

Without diminishing the importance of these principles and without limiting the main strategic goal of software security testing indicated in these sources, it should be noted that some software development organizations, when testing security, focus only on known external factors and simulate various situations that use, for example, the same methods of hacking [2,4]:

– attempts to find out the password using external means;

– attacking the system using special tools that analyze software protection;

– suppression, overloading of the system (with the assumption that it will refuse to serve other clients);

– purposeful introduction of errors in the hope of penetrating the system during the recovery;

– reviewing and analyzing unclassified data in hopes of finding a key for logging into the system.

But at the same time, due to some objective and subjective reasons, testers often ignore the wide possibilities of reverse engineering technology, unfortunately. At the same time, in opinion the authors, some of these technologies can significantly improve the quality of software security testing, reduce the risk of successful cyberattacks, and generally improve the information security.

One of such technologies is the technology of recovery of the algorithm for the allocation of binary attractors in the machine-independent form [3, 9]. This technology helps to solve complex issues of search for non-declared features of the software (mostly malicious ones), as well as errors in implementation and detects the malicious code (computer virus), etc.

The analysis of literature [7, 8, 10] showed that at present times there are a number of specialized simulators which allow solving the issues of selection (removal) of some algorithms from binary code**.** But these programs mostly reaserch only that part of the program that is used during the launche of the analysis process and leave certain "traces" - attractors. An increase in the volume of the researched code is possible with the use of additional code execution attractors, which combine more application execution scenarios.

This determines the actuality of developing a method for allocating an algorithm from a binary code using additional attractors for software security analysis. The overall structure of the allocation of the algorithm from the binary code is schematically presented in fig. 1.

Studies conducted [3, 6] have shown that when analyzing simple programs it is often enough to apply the procedure once. In complex cases, it should be applied iteratively.

As can be seen on the picture, the restoration of the algorithm begins with the preparation of the initial data and the allocation of a set of attractors with simillar features. Then follows a synthesis of information about the researched system from source attractors using the graph approach of representation in the system. After that, the code is exported to a machine-independent representation on the basis of the part of the code that relates to the investigated algorithm. During this operation, optimization solutions are used to simplify the received presentation and, finally, the result is presented in a form suitable for viewing by the analyst and using in the decision support system which uses artificial intelligence. During this moment, the analyst takes a decision whenever the next iteration of the analysis sould be performed.

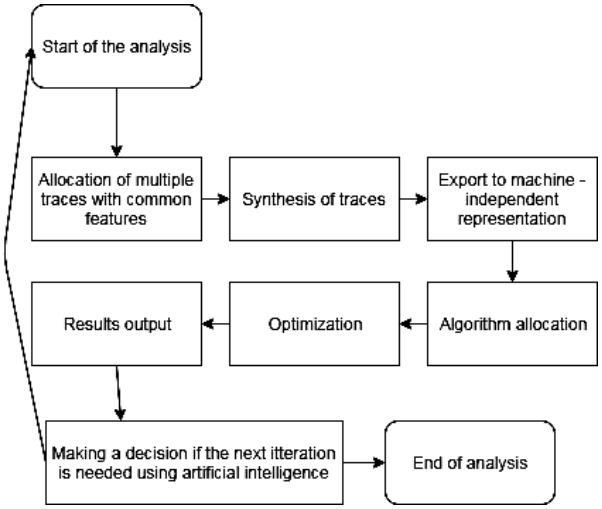


Fig. 1. Scheme of algorithm allocation

In the article we will review the first stage of the method of allocation of the algorithm from the binary code with the use of additional attractors - preparatory, which includes the task of allocating a set of attractors with simillar features and synthesis of information about the studied system.

1. Selection of attractors set with simillar features

A binary attractor of execution, obtained using an attractor simulator (hereinafter - just attractor), represents a sequence of steps. Each step contains the code for the executed instruction and the value of some of the main registers before it is executed.

Due to the full-system nature of the formation attractors contain actions regarding all programs active in the system during removal of attractors, including the kernel and other components of the operating system. It is assumed that the attractor steps according to their belonging to different processes and execution threads. In this case, the low-level components of the operating system, such as interrupt handlers, must be matched with separate processes and / or execution threads. The symbols associated with attractors, steps, instructions, and auxiliary data are summed-up in the table 1.

It should also be noted that sets *read* [$t^{(i)}$] and *write* [$t^{(i)}$] are associated with attractor's step, not the instruction, i.e. they may differ for different values of operands. Size attributes and attributes of belonging to a class of control instructions, on the contrary, are constant for a given instruction.

In addition to the set of attractors, which describes some of the scenarios of the behavior of the researched program, for analysis, the information on how these attractors correlate with each other is needed. In the framework of the proposed method, the relations are given using the following definitions:

Table 1: **Key notation for the attractor**

Notation	Description
$len[t]$; $t^{(i)}$	Number of steps in the attractor t; step to the attractor t with the number $i \in \overline{\{1, len[t]\}}$
$addr\left[t^{(i)}\right]$; $inst\left[t^{(i)}\right]$	Address that was executed on the step $t^{(i)}$ of instruction; instruction which was executed on the step $t^{(i)}$
$process\left[t^{(i)}\right]$ $thread\left[t^{(i)}\right]$	Process ID on step $t^{(i)}$; Run Flow Id on step $t^{(i)}$
$read\left[t^{(i)}\right]$; $write\left[t^{(i)}\right]$	A set of memory addresses that are read on step $t^{(i)}$; a set of memory addresses written on step $t^{(i)}$
$size[j]$; $branch[j]$	The size of the bytes of the instruction code j; Idnetifier of whenever instruction j is the control transmission.

Under the related attractors we mean the set of attractors obtained from the same initial state of the system (i.e., from the same image of the state of the simulator).

Such attractors will differ by scenarios they have been implemented in the analyzed system, which, in turn, is determined by the input data. In the case of interactive applications, the input data can be considered a sequence of actions in the graphical interface.

The basic initial data for the proposed algorithm restoration procedure, thus, will be a set of related attractors.

2. Synthesis of related attractors

The first step in the procedure for restoring the algorithm is to combine a set of related attractors into a general $G = (V, C)$ representation-oriented graph with loops, corresponding to the set of interprocedural graphs of the flow of control of individual execution streams with additional marks. In the general, when attractors include multiple threads of execution, this graph will be unconnected, and each flow of execution will match its component of connectivity.

In the graph G, as in the usual control flow graph, the vertices V correspond to the base blocks (the linear sections of the code of this execution thread), and the

edges C are possible control transmissions between these parts. Since in the proposed approach the only source of knowledge about the control flow of the program is its attractors, the graph will include only those edges whose transitions were actually observed.

In addition to the usual vertices of the base blocks, for each flow of execution in the graph G are defined those which are guaranteed not to contain any instructions incoming and outgoing vertices, the first of which is dominant, and the second post-dominate over all other base blocks of this execution flow.

At each vertex are stored: initial address, sequence of instructions and generation number. Generation number is an integer that represents the state of the code of the program and allows you to correctly represent the code that is changed during execution. Within each separate flow of execution, the generation number will increase by one when rewriting the code of the given stream. The symbols to be used further are given in table 2.

Table 2. **Key notation**

Notation	Description
$entry[G]_T$; $exit[G]_T$	The input vertex of the flow of execution T in the graph G; output vertex of the flow of execution T in the graph G
$start[B]$; $end[B]$; $insn[B]$; $gen[B]$	Primary address of the base unit B; the address of the end of the base unit B, not enabled; sequence of instructions in the base unit B; generation number of the base unit B
$succ[B]$; $pred[B]$	The set of base blocks in which the edges of B; the set of base blocks from which the edges B start
$from[e]$; $to[e]$	The basic block from which the edge e starts; base unit, to which an edge e leads

he address of the end of the base unit $end[B]$ is calculated on the basis of $start[B]$ and $insn[B]$:

$$end[B] = start[B] + \sum_{j \in insn[B]} size[j].$$

In addition to the symbols from the table 2, in the pseudocode of the following algorithms the following functions will be considered available, the implementation of which depends on the selected method of storing the graph.

1. F1 function creates and returns a new empty graph.

2. The function F2 (G, T, n, a) creates a new base unit in the graph G belonging to a generation with the number n of the runtime T, and assigns it the initial address a. The list of instructions for the newly created base unit is initially set to blank. The address a may have a special meaning, that corresponds not to the addresses of the start and end vertices.

3. Function F3 (G, B) removes the base unit B from graph G along with all edges adjacent to it.

4. The function F4 (G, T, n) returns the ordered list of base generators with the number n of the flow of T in the graph G.

5. The function F5 (G, T, n, a) finds the base unit B in the graph G, which belongs to a generation with the number n of the runtime T, such that it belongs to the address a: . If no such block is found, a special value is returned.

6. The function F6 (G, B, a) produces the division of the base unit B into two so that part of the instructions B, whose addresses are smaller than the address a, fall into the first block, and the rest - in the second. The address a must belong to the base block B. The function returns a pair of received blocks, where the addresse b is less than a, and b - more or equal.

7. Function F7 (G, B, B ') connects the base blocks B and B' in the graph G by the edge. If such an edge already exists, then the new one is not added. The function F8 (G, T, n) returns an unregulated set of edges connecting base generating units with the number n of the flow of T in graph GIf only one of the incident edges of the base blocks belongs to a given generation, and the second one is not, then such an edge is not included in the set of returned.

If this set is empty, then a graph is empy as well. The graph has the following properties.

1. Each component of the connectivity describes the flow of control of one flow of execution.

2. Each edge connects either one-generation base units or from a base unit with a lower generation number to a base unit with a larger.

3. Within a single generation, one flow of execution, the base units do not intersect at the addresses. When a control is found in a given generation, there is no overwrite of executable code. In aggregate, this means that within a single generation of one stream of execution, the method of static analysis is applied without change

4. The transformation of graph G, squeezing within each component of the connection all the vertices with the same generation number into one vertex, allows us to obtain an acyclic graph describing the code modification episodes in each flow of execution. Such a graph will be called an evolution graph. The type of evolution graph allows you to get an idea of the nature of the code transformations carried out in the system of the language being studied. The number of vertices and / or edges in it can be considered one of the metrics of complexity of the system.

Further, we describe the algorithms that implement the initial construction of the representation G on the first iteration of the procedure for the restoration of the algorithm and its replenishment in subsequent iterations.

Firstly, let's review the simplified situation, when in the processed attractor there is no modification of the code in the process of execution. This situation is possible in practice, when the attractor presents the work of the main part, mostly unprotected by the mechanisms of self-modification of the program: loading the program image and dynamic libraries has already been carried out and carried out the binding of all the functions used.

The pseudo code for the "static graph restoration" algorithm is shown on fig. 2. The algorithm receives at the input of the attractor t and issues the graph G for it

at the output. For each execution stream, the method called "continue the static reproduction of the graph" is called (fig. 3).

1: **function** Static graph construction (t)
2: $G \leftarrow$ F1
3: **for** $T \in \bigcup_{i=1}^{len[t]} \{thread[t^{(i)}]\}$ **do**
4: $entry[G]_T \leftarrow$ F2 (G, T , 1, 0)
5: $exit[G]_T \leftarrow$ F2 (G, T , 1, 0)
6: $E \leftarrow$ Static graph construction funiculus (t)
7: $G \leftarrow$ F1
8: ($G, entry[G]_T$, t , 1, $len[t]$, T , 1)
9: F7 ($G, E, exit[G]_T$)
10: **end for**
11: **return** G
12: **end function**

Fig. 2. Pseudo-code for the algorithm of "static graph creation"

1: **function** Static graph construction funiculus (G , S, t, a, b, T, n)
2: $E \leftarrow S$; $m \leftarrow 0$
3: **for** $i = a, a+1, ..., b$ **do**
4: **if** $thread[t^{(i)}] = T$ **then**
5: **if** $m = 0$ **then**
6: $B \leftarrow$ F5 $(G, T, n, addr[t^{(i)}])$
7: **if** $B = 0$ **then**
8: $B \leftarrow$ F2 $(G, T, n, addr[t^{(i)}])$
9: $i \leftarrow i - 1$
10: **else if** $start[B] \neq addr[t^{(i)}]$ **then**
11: $\langle B', B \rangle \leftarrow$ F6 (G , B , $addr[t^{(i)}]$)
12: **end if** F7 (G , T E , B)
13: $E \leftarrow B$; $m \leftarrow |insn[B]| - 1$
14: **else if** $m > 0$ **then**
15: $m \leftarrow m - 1$
16: **else if** $m < 0$ **then**
17: $B \leftarrow$ F5 (G, T , n , $addr[t^{(i)}]$)
18: **if** $B = 0$ **then**
19: $insn[E] \leftarrow insn[E] \cup insn[t^{(i)}]$
20: **if** $branch[insn[t^{(i)}]]$ **then**
21: $m \leftarrow 0$
22: **end if**
23: **else**
24: F7 (G , E , B)
25: $E \leftarrow B$; $m \leftarrow |insn[B]| - 1$
26: **end if**
27: **end if**
28: **end if**
29: **end for**
30: **if** $(E \neq S) \wedge (addr[t^{(b)}] + size[insn[t^{(b)}]] \neq end[E])$ **then**
31: $\langle E, E' \rangle \leftarrow$ F6 (G , E , $addr[t^{(b)}] + size[insn[t^{(b)}]]$)
32: **end if**
33: **return** E
34: **end function**

Fig. 3. Pseudo-code for the algorithm "Continuation of static graph restoration"

Its parameters are as follows: G is the graph to be built, S is the start vertex, t is the attractor, [a, b] is the range of attractor steps considered, T is the execution flow identifier, n is the generation number assigned to the created base blocks.

The value of most of these parameters during the call on the "static graph" algorithm is fixed, but they will start to change with the addition of dynamic code support in the algorithm. The algorithm returns the base unit in which check was performed last.

The algorithm implements a successive passage through the steps of the attractor belonging to the flow of execution T. At the same time it tracks, in which base block the execution is performed. The variable m describes the state of the algorithm: for m = 0, in the previous step under consideration, a control transfer took place, or this step was first revised; When m > 0 the control is located inside a known base unit, it remains to see m sequential instructions before it is finished; When m < 0 the control is located inside the base unit, it has never been seen before.

When considering the transfer of control from the current block E, the following three situations are possible:

1. The control is transmitted to the address of the beginning of a known base unit B. If it does not already exists, the edge corresponds to this transition.

2. The control is transmitted to the address in a known base unit B, but not at the beginning. A division of the base unit B is carried out for this address, after which an edge E is added in the second set of the base units received.

3. The control is transmitted to an address that does not belong to any known base unit. Then a new base unit B with this address is created as the start address, an edge is added from E to B, and the algorithm switches to the new block view mode $(m < 0)$.

When you look at the instructions of the newly created base unit in situation 3, each subsequent instruction is added to its insn list. This procedure continues until one of the following conditions for the completion of the base unit is completed.

1. The last instruction of the flow of T in the range of steps is revised $[a, b]$.

2. Revised management transfer instruction. By definition of the base unit, this is its last instruction. The algorithm returns to the control transfer control mode $(m = 0)$.

The address of the next instruction corresponds to the beginning of the known base unit B. An appropriate edge is added, and the algorithm goes into the skip mode of the known base unit .

Finally, when all the instructions for the flow of T in the range of steps are revised $[a, b]$, if necessary, separation of the last considered base unit E is carried out. This need arises if the instruction of the last of the revised steps to the attractor is not the last instruction in $insn[E]$. Separation is carried out at the end of this instruction.

Then the first of the blocks obtained after the separation of the base units can be marked as finite,

since the flow of control at reaching its end may stop. In addition, this property is used in the next section when adding support for the dynamic code.

3. Dynamic code

The presence of dynamically changing code can be caused by various reasons. Here are a few options, from the most common and unrelated to the intentional counteraction to the analysis, to the purposeful (creating difficulties), especially for static analysis.

Usage of dynamic editor for linking uploads and outloads in dynamic libraries. The address range of the newly downloaded library can cross the address range that was already uploaded. Thus at different periods of time there will be a different code in the same memory addresses.

Use of "springboards" and delayed bindings. When you first go to the address of dynamically linked function control can be transferred to a subroutine that performs deferred binding. Once the binding is performed, the routine will correct the "springboard" in such a way that during the subsequent calls the function is called directly and will give control to it for the first time.

The program contains mechanisms of decryption, decompression, dynamic code generation, which overwrite or do not require and reject fragments of the program; or if such mechanisms work with the program in parts, then use one rewritable buffer for the next decrypted, unpacked or generated part of the program.

Polymorphic nature of the program or its parts. This case differs from the previous one, because most often the next version of the program code is based on the previous, which further complicates the analysis. Most often, such mechanism is embedded in malicious code, especially in viruses, in order to prevent signature analysis in antivirus software.

The method proposed in this article does not distinguish the causes of the dynamic change of the code. All possibilities are treated in the same way, which on the one hand has the advantages of the universality of the method, but on the other hand ignores additional "hints" about the behavior of the program contained in these reasons. However, a certain idea of the nature of the dynamic code in this program gives the evolutionary graph described above.

Regardless of the content that falls into an episode of dynamic program code changes, it passes through one of the following two scenarios.

The program executed on this system records the values in memory. This memory may belong to this program, as well as any other (for this operating system should support the ability to connect the flow of one process to the address space of another). Recorded values either change the code which is already executed, or generate code that will be executed in the future. One way or another, the entry is made to addresses that also appear in the attractor as being executed.

One or more pages of physical memory change as a result of executing a DMA transaction by any computer device (often a hard disk controller). In this case, the attractor does not observe the fact of direct recording, since such transactions are initiated by the device itself, and they do not meet any instructions. Recorded addresses, as in the first scenario, have either been used previously or will be used later as executable.

Summarizing all of the foregoing, one can formulate the criterion for the presence of a dynamic code in the part of the attractor. For example, attractor t has the range of step numbers and any process is recorded P, and in the given segment there are steps, belonging to P. Let's mark the set of these steps through . We construct the following two sets:

$$\Re(R_P) = \bigcup_{r \in R_P} read[t^r]; \quad (1)$$

$$W(R_P) = \bigcup_{r \in R_P} write[t^r]; \quad (2)$$

$$X(R_P) = \bigcup_{r \in R_P} [addr[t^r], addr[t^r] + size[insn[t^r]] - 1]. \quad (3)$$

As we can see the set contains all the addresses by which the instruction was recorded in the steps , while set - All addresses from which you selected in steps instructions for execution. Let's assume that a known set of virtual memory addresses is overwritten in a process as a result of DMA transactions in the range R. We note this set through.

In the following notation, the set will not contain the dynamic of the code if and only if completed

$$(\Re(R_P) \cup W(R_P) \cup D_P(R)) \cap X(R_P) = 0. \quad (4)$$

In this case, the code relating to the process in the range of steps is static and can be analyzed by methods of static analysis. We also apply the algorithm of "static graph creation" to the steps. The above reaserch allow us to construct the graph "CTG" for for an arbitrary attractor, without limitations of the static code. The full algorithm "CTG-Full" will consist of the following two steps.

1. Split the attractor into segments of static code in each process. At this stage, we will use a greedy algorithm: we will build segments from smaller step numbers in the attractor to larger ones, and each increment will be expanded until 3 are executed.
2. Application of the algorithm "Continuation of static graph restoration" in each received interval of static. At the same time, with each regular segment, the next generation number will be confirmed within this flow of execution.

The pseudo-code for the "CTG-Full" algorithm is shown on fig. 4, and the algorithm for splitting the attractor into segments of the static code "CTG-Full-Partition" on fig. 5. The CTG-Full algorithm receives attractor t on input and outputs a graph G built for it The "CTG-Full-Partition" algorithm returns an ordered sequence of static segments S long the attractor t and identifier of the process P. The segments in the sequence do not intersect, and their association corresponds to the entire range of steps in the attractor t, which means S sets the breaker to the attractor t.

In some doubtful situations, the algorithm built may require additional refinements.

Such situations are possible in programs provided with certain types of hinged protection, as well as in the

operating system code. Therefore, in the future there is a need for the practical adaptation of the developed algorithms to possible casuist deviations in the programs.

1: **function** CTG-Full (t)
2: $G \leftarrow$ F7
3: **for** $T \in \bigcup_{i=1}^{len[t]} \{thread[t^i]\}$ **do**
4: $entry[G]_T \leftarrow$ F2 (G, T, 1, 0)
5: $n_T \leftarrow 1$; $E_T \leftarrow entry[G]_T$;
6: **end for**
7: **for** $P \in \bigcup_{i=1}^{len[t]} \{process[t^i]\}$ **do**
8: **for** $\langle a,b \rangle \in$ CTG-Full-Розбиття (t,P) **do**
9: **for** $T \in \bigcup_{i=a}^{b} \{thread[t^i]\}$ **do**
10: $E_T \leftarrow$ Static graph construction funiculus (G, E_T t, a, b, T, n_T)
11: $n_T \leftarrow n_T + 1$
12: **end for**
13: **end for**
14: **end for**
15: **for** $T \in \bigcup_{i=1}^{len[t]} \{thread[t^i]\}$
16: $exit[G]_T \leftarrow$ F2 (G, T, n_T, 0)
17: F7 (G, E_T, $exit[G]_T$)
18: **end for**
19: **return** G
20: **end function**

Fig. 4. "CTG-Full" algorithm

Conclusion

Thus, a set of algorithms for allocating a set of attractors with related features and synthesizing information about the investigated system was developed, which is the first stage of the method of allocation of the algorithm from the binary code with the use of additional attractors.

A distinctive feature of development of this phase is the possibility of constructing a graph for an arbitrary attractor, without limiting the static nature of the code. This will allow a significant expansion of the spectrum of the program code under investigation, including codes with signs of a dynamic change.

1: **function** «CTG-Full-Розбиття» (t,P)
2: $W, X \leftarrow 0$; $S \leftarrow \{\}$; $a \leftarrow 1$
3: **for** $i \in 1,2,...,len[t]$ **do**
4: **if** $process[t^{(i)}] = P$ **then**
5: $\omega \leftarrow read[t^{(i)}] \cup \Re_P(\{i\})$
6: $\omega 1 \leftarrow write[\omega] \cup D_P(\{i\})$
7: $x \leftarrow [addr[t^i], addr[t^i] + size[insn[t^i]] - 1]$
8: **if** $(W \cap x = 0) \wedge (X \cap \omega = 0)$ **then**
9: $W \leftarrow W \cup \omega$
10: **else**
11: $W \leftarrow \omega 1$;
12: $S \leftarrow S \cup \langle a, i-1 \rangle$; $a \leftarrow i$
13: **end if**
14: **end if**
15: **end for**
16: **return** $S \cup \langle a, len[t] \rangle$
17: **end function**

Fig. 5. Algorithm for splitting the attractor into segments of the static code "CTG-Full-Partition"

The further development of this research is to study the whole scheme and develop an appropriate method for allocating a binary code algorithm for software security analysis.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абушинов О. Особенности тестирования безопасности ПО [Электронный ресурс] / О. Абушинов. – Режим доступа: https://testitquickly.com/2010/11/20/22.
2. Дорофеев А. Тестирование на проникновение: демонстрация одной уязвимости или объективная оценка защищенности? [Электронный ресурс] / А. Дорофеев. – Режим доступа: https://www.npo-echelon.ru/doc/inside-dorofeev.pdf.
3. Жаркова А. В. Об аттракторах в конечных динамических системах двоичных векторов, ассоциированных с ориентациями пальм / А. В. Жаркова // Прикладная дискретная математика. – Томск, 2014. – №7. – С. 58-67.
4. Ильюк Д. Тестирование безопасности – выбираем нужное [Электронный ресурс] / Д. Ильюк. – Режим доступа: http://software-testing.ru/library/testing/security/1986-security-testing.
5. Кузнецов О. О. Протоколи захисту інформації у комп'ютерних системах та мережах / О. О. Кузнецов, С. Г. Семенов. – Х.: ХНУРЕ, 2009. – 184 с.
6. Семенов С. Г. Комплекс математичних моделей процессу розробки программного забезпечення / Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія / С. Г. Семенов, Кассем Халіфе. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – Вип. 3(40). – С. 61-68.
7. AMD SimNow Simulator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://developer.amd.com/cpu/simnow/Pages/default.aspx.
8. IDA Pro – at the cornerstone of IT security [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hex-rays.com/products/ida/ida-executive.pdf.
9. Ivancevic V. G. High-Dimensional Chaotic and Attractor Systems: A Comprehensive Introduction / V. G. Ivancevic, T. T. Ivancevic. – Springer Science & Business Media, 2007. – 697 p.
10. Magnusson P. S. A Full System Simulation Platform / P. S. Magnusson // IEEE Computer, 35(2), Feb. 2002, P. 50-58, available at : https://doi.org/10.1109/2.982916.
11. Robert C. Seacord Secure Coding in C and C++ / C. Robert. – The SEI Series in Software Engineering, 2013. – 569 p.

REFERENCES

1. Abushinov, O. (2017), *Features of software security testing*, available at: https://testitquickly.com/2010/11/20/22 (last accessed March 05, 2018).
2. Dorofeev A. (2017), *Penetration testing: demonstration of one vulnerability or an objective evaluation of security*, available at: https://www.npo-echelon.ru/doc/inside-dorofeev.pdf (last accessed March 05, 2018).
3. Zharkova, A.V. (2014), "On attractors in finite dynamical systems of binary vectors associated with palm orientations", *Applied Discrete Mathematics*, Tomsk, No. 7, pp. 58-67.
4. Iljuk, D. (2017), Safety testing - choose the right one, available at: http://software-testing.ru/library/testing/security/1986-security-testing (last accessed March 05, 2018).
5. Kuznetsov, O.O. and Semenov, S.G. (2009), *Protocols of the information zahistu at computer systems on that level*, KhNURE, Kharkiv, 184 p.
6. Semenov, S.G. and Kassem, Khalifa (2017), "A complex of mathematical models for the process of disassembling software software", *Information technology and computer engineering*, VNTU, Vinnitsa, No. 3 (40), pp. 61-68.
7. *AMD SimNow Simulator* (2016), available at: http://developer.amd.com/cpu/simnow/Pages/default.aspx (last accessed March 05, 2018).
8. *IDA Pro – at the cornerstone of IT security* (2016), available at: https://www.hex-rays.com/products/ida/ida-executive.pdf (last accessed March 05, 2018).
9. Ivancevic, Vladimir G., Ivancevic, Tijana T. (2007), *High-Dimensional Chaotic and Attractor Systems: A Comprehensive Introduction*, Springer Science & Business Media, 697 p.
10. Magnusson, P. S., Christensson, M., Eskilson, J., Forsgren, D., Hallberg, G., Hogberg, J., Larsson, F., Moestedt, A. and Werner, B. (2002), "A Full System Simulation Platform", *IEEE Computer*, No 35 (2), pp. 50–58, available at : https://doi.org/10.1109/2.982916.
11. Robert, C. (2013), *Seacord Secure Coding in C and C++*, The SEI Series in Software Engineering, 569 p.

Надійшла (received) 01.04.2018
Прийнята до друку (accepted for publication) 16.04.2018

Модель підготовки даних виділення алгоритму з двійкового коду для аналізу безпеки програмного забезпечення

І. Мамузіч, Д. О. Лисиця, А. О. Лисиця

Предмет дослідження – використання технології відновлення в машинно-незалежному вигляді алгоритму по набору двійкових атракторів для аналізу безпеки програмного забезпечення. **Мета статті** – розглядання першого етапу методу виділення алгоритму з двійкового коду з використанням додаткових атракторів – підготовчого, що включає в себе завдання виділення множини атракторів с загальними ознаками та синтез інформації про досліджувану систему. Отримані такі **результати.** Проведено аналіз спеціалізованих симуляторів, що дозволяють вирішувати питання виділення (вилучення) деяких алгоритмів з двійкового коду. Визначено необхідність дослідження додаткових атракторів двійкового коду програми для підвищення точності тестування безпеки програмного забезпечення. Схематично запропоновано загальну структуру виділення алгоритму з двійкового коду. **Висновки.** Розроблено комплекс алгоритмів, що в цілому складають модель першого етапу підготовки даних виділення алгоритму з двійкового коду для аналізу безпеки програмного забезпечення. Особливістю розробок цього етапу є можливість побудування графу для довільного атрактору, без обмеження на статичність коду. Це надасть можливість суттєвого розширення спектру досліджуваних програмних кодів, у тому числі кодів, що мають ознаки динамічної зміни. Подальший розвиток роботи полягає у дослідженні всієї схеми та розробки відповідного методу виділення алгоритму з двійкового коду для аналізу безпеки програмного забезпечення.

Ключові слова: тестування безпеки програмного забезпечення; двійковий атрактор; етичний хакінг.

Модель подготовки данных выделения алгоритма из двоичного кода для анализа безопасности программного обеспечения

И. Мамузич, Д. А. Лисица, А.А. Лисица

Предмет исследования – использование технологии восстановления в машинно-независимом виде алгоритма по набору двоичных аттракторов для анализа безопасности программного обеспечения. **Цель статьи** – рассмотрение первого этапа метода выделения алгоритма из двоичного кода с использованием дополнительных аттракторов – подготовительного, который включает в себя задачу выделения множества аттракторов с общими признаками и синтез информации об исследуемой системе. **Получены следующие результаты.** Проведен анализ специализированных симуляторов, позволяющих решать вопросы выделения (изъятия) некоторых алгоритмов из двоичного кода. Определена необходимость изыскания дополнительных аттракторов двоичного кода программы для повышения точности тестирования безопасности программного обеспечения. Схематически предложена общая структура выделения алгоритма из двоичного кода. **Выводы.** Разработан комплекс алгоритмов, которые в целом составляют модель первого этапа подготовки данных выделения алгоритма из двоичного кода для анализа безопасности программного обеспечения. Особенностью разработок этого этапа является возможность построения графа для произвольного аттракторов, без ограничения на статичность кода. Это позволит существенно расширить спектр изучаемых программных кодов, в том числе кодов, имеющих признаки динамического изменения. Дальнейшее развитие работы заключается в исследовании всей схемы и разработке соответствующего метода выделения алгоритма из двоичного кода для анализа безопасности программного обеспечения.

Ключевые слова: тестирование безопасности программного обеспечения; двоичный аттрактор; этический хакинг.

УДК 004.732.056 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.17**

С. Ю. Гавриленко [1], В. В. Челак[1], В. А. Василев [2]

[1] Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
[2] Технічний університет – Софія, Софія, Болгарія

СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОНТЕКСТНО-ВІЛЬНИХ ГРАМАТИК

Предметом статті є дослідження методів ідентифікації шкідливого програмного забезпечення в комп'ютерних системах. **Метою** є дослідження існуючих моделей виявлення вірусів на базі формальних мов та граматик та удосконалення моделі за рахунок використання LL(1)-граматики. **Завдання:** розробити математичну модель ідентифікації шкідливого програмного забезпечення на основі контекстно-вільних граматик; вибрати ефективний алгоритм її роботи, розробити програмну модель та виконати тестування. Використовуваними **методами** є: апарат формальних мов та граматик, математичні моделі на основі детермінованих магазинних автоматів. Отримано такі **результати.** Обґрунтовано вибір типу граматики та моделі магазинного автомату. Розроблено програмне забезпечення, яке генерує функції переходів магазинного автомату відповідно до заданих правил граматики, аналізує вхідний файл на наявність заданих ознак, характерних для шкідливого програмного забезпечення та моделює роботу детермінованого низхідного магазинного автомату. За результатом роботи магазинного автомату формується висновок щодо можливості зараження комп'ютерної системи. **Висновки**. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: досліджено існуючі моделі антивірусних сканерів на базі формальних мов та граматик; удосконалено модель за рахунок використання LL(1)-граматики, розроблено програмне забезпечення та виконано тестування. Проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість використання запропонованого підходу, як додаткового засобу для виявлення шкідливого програмного забезпечення.

Ключові слова: комп'ютерні системи; антивірусне програмне забезпечення; контекстно-вільні граматики; LL(1) – граматики; низхідний магазинний автомат.

Вступ

Постановка проблеми. Одну з найзначніших загроз безпеці комп'ютерних систем та інформації в цілому складає шкідливе програмне забезпечення, або комп'ютерні віруси.

В 2017 зафіксовано зростання атак з боку сімейства вимагачів сімейства Trojan, особливо для мобільних систем. Кількість атакованих їм користувачів зросла більш ніж в 13 разів [1]. Так хакерська атака, проведена за допомогою вірусу Petya.A, в Україні влітку 2017 року за кілька годин вразила банки, заправки, магазини, сайти державних структур. Паралізованими виявилися навіть сайти Кабінету міністрів і ряду найбільших ЗМІ. Ця шкідлива програма вразила комп'ютери багатьох організацій і приватних осіб в 60 країнах світу. Збитки від атаки вірусу оцінено в 8 млрд доларів [2].

Слід зауважити, що зазначена проблема посилюється динамічним зростанням кількості мобільних пристроїв, загальним переходом на хмарні технології і поширенням Інтернет-технологій, що призводить до зростання кількості шкідливого програмного забезпечення.

Аналіз літератури [3-7], що сучасні антивірусні програми не можуть повністю захистити комп'ютерні систем (КС) і потребують певного часу для виявлення нових версії шкідливого програмного забезпечення. Сучасні евристичні технології не забезпечують належного рівня розпізнавання також при роботі з зашифрованими об'єктами. До недоліків існуючих методів розпізнавання модифікацій шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ) також можна віднести високу ймовірність помилкових спрацьовувань.

Основним шляхом усунення зазначених недоліків є вдосконалення моделей виявлення ШПЗ і аргументований вибір вхідних критеріїв оцінювання. Одним із перспективних напрямків евристичного аналізу є використання апарату формальних мов та граматик Формальні мови і граматики застосовуються для опису об'єктів реального світу регулярної структури. Аналіз показав, що використання формальних мов і граматик є найбільш поширеними при захисті комп'ютерних мереж [8] і дозволяє адекватно формалізувати опис атак найкращим чином та побудувати адекватний формальний опис сценаріїв досить складних атак. Крім того, граматики можуть бути використані і в іншій ролі: вони можуть використовуватися при розпізнаванні атак, якщо її розглядати як завдання синтаксичного аналізу ланцюжків відомої структури

Відомо, що у машинному коді, завжди присутні певні закономірності, виявлення яких може принести користь при детектуванні вірусів Фактично, розташовані в певному порядку події є фразами певної мови. Саме ці закономірності можуть бути використані для виявлення вірусів та їх модифікацій.

У роботах [9-12].наведено тільки опис формальних моделей, що лягли в основу методу виявлення шкідливого програмного коду та відсутні дані щодо вибору типу граматики та їх реалізації.

Метою статті є дослідження існуючих моделей вірусів на базі формальних мов та граматик та удосконалення моделі за рахунок використання LL(n)-граматики

Результати розробки та досліджень

Відомо що є чотири типи формальних мов [15]. Доведено, що для кожного з цих типів мов існує свій

тип распізнавача з певним складом компонентів і, отже, із заданою складністю алгоритму роботи. Але найбільший інтерес представляє контестно-вільна граматика (КВ). Серед всіх КВ-мов можна виділити клас детермінованих КВ-мов, розпізнавачами для яких є детерміновані автомати з магазинною (стековою) зовнішньою пам'яттю. Ці мови мають властивість однозначності. Доведено, що для будь-якого детермінованої КВ-мови завжди можна побудувати однозначну граматику [16, 17]. Крім того, для таких мов існує алгоритм роботи розпізнавача з квадратичною складністю. Оскільки ці мови є однозначними, саме вони надалі будуть використані для вирішення проблеми ідентифікації шкідливого програмного забезпечення. Окремим випадком КВ-мови є автоматні граматики для яких розпізнавачем є односторонній недетермінований автомат без зовнішньої пам'яті, який передбачає лінійну залежність часу на розбір вхідного ланцюжка від її довжини. Даний тип розпізнавача може бути використаним лише за умови опису структури з використанням автоматної граматики, що для опису шкідливого програмного забезпечення можливо тільки в окремих випадках.

В даній роботі для подальшого аналізу використано підклас КВ-граматики, а саме LL(1)-граматику, для якої детермінований магазинний автомат М працює по одному вхідному символу, розташованому в поточній позиції. Відомо, що спадний розпізнавач на основі LL(1)-граматики, є більш наглядним і простим в реалізації [15-17],

Магазинний автомат М, визначається наступною сукупністю семи об'єктів [15]:

$$M = \{ P, S, s_o, f, F, H, h_o \}, \quad (1)$$

де P – вхідний алфавіт, S – алфавіт станів, s_o – початковий стан, $s_o \in S$, F – множина кінцевих станів , H – алфавіт магазинних символів, h_o – маркер дна магазину, $h_o \in H, f$ – функція переходів.

Робота автомата може бути подана як зміна конфігурацій:

$$(s, a\alpha, \gamma h) \vdash (s', \alpha, \gamma\beta). \quad (2)$$

Для кожної LL(1) граматики можна побудувати детермінований магазинний автомат М, що допускає мову, породжувану даною граматикою:

$$L(Г) = L(M). \quad (3)$$

Для вибору вхідних критеріїв системи ідентифікації шкідливого програмного забезпечення проаналізовано ШПЗ сімейства Trojan, Worm та Adware та виділено характерні ознаки.

Отримано, що сімейство Trojan-Ransom. AndroidOS.Egat після установки перевіряє, що воно запущено на цьому пристрої, а не на віртуальній машині. Якщо перевірка пройдена, з віддаленого сервера завантажується основний модуль, який, експлуатуючи уразливості в системі, намагається отримати права суперкористувача. Якщо це вдається, то вірус встановлює свої модулі в системні папки, а також модифікує налаштування пристрою таким чином, щоб залишитися в ньому навіть після скидання до заводських налаштувань. Шкідливе програмне забезпечення характеризується стандартною для вимагача функціональністю: блокує роботу пристрою, перекриваючи своїм вікном дисплей та вимагає гроші за розблокування.

Після запуску на комп'ютері троянська програма Trojan.Stoldt.Win32 копіює своє тіло в системну папку Windows або в папку Temp (використовуючи API-функції CreateFile, CloseFile, CloseHandle): C:\DOCUME~1\ User\LOCALS~1\Temp\haoxy.exe. Після чого реєструється в ключах автозапуску системного реєстру C:[HKCU\Software\Microsoft\ Windows\ Currentversion\Run]usbcommonide = C:\DOCUME~1\User\LOCALS~1\Temp\haoxy.exe. Зареєстровані спроби троянів даного сімейства завантажити шкідливе ПО з віддалених серверів:

– http://www.ananwg.com/
– www.dagewozhishihunkoufanchininxingxingh aobuyaodawo555555.com
– http://www.haoxiaoyao.com/
– cnc.haoxiaoyao.com.

За результатами аналізу можливо відмітити, що сімейство потенційно небажаних програм (Adware) для 64х бітових систем Adware.SearchSuite.Win64, які уповільнюють роботу web-браузерів і показують спливаючу рекламу на кожній сторінці та при проникненні на комп'ютер, інсталюються в наступні директорії (використовуючи API-функції CreateFile, CloseFile, CloseHandle):

– C:\Program Files (x86) \Movies App\ Datamngr.
– C:\Program Files\Movies App\Datamngr.
– C:\Program Files\jZip\.
– C:\Documents and Settings\test user\Local Settings\Temp.

Для автоматичного запуску при перезавантаженні комп'ютера, Adware. SearchSuite реєструється в реєстрі як сервіс під ім'ям Datamngr (можуть бути і інші назви): HKLM\SYSTEM\CurrentControlSet\ services \DatamngrCoordinator\ImagePath : "C:\Program Files\ Movies App \Datamngr\ Datamngr Coordinator.exe.

Аналіз механізму роботи кріптолокерів сімейства черв'яка-шифрувальника Trojan. Encoder.12544 (відомого як вірус Petya) показав, що він шифрує файли з певними розширеннями, а також перезаписує MBR (Master Boot Record), очищає лог-файли (журнали подій), знаходить велику кількість різнотипних файлів (рис. 1), шифрує їх виконує перезавантаження комп'ютера та виводить повідомлення з вимогою викупу.

Зразок отримує аутентифікаційні дані за допомогою функції CredEnumerate і утиліти mimikatz. За допомогою отриманих даних виконується поширення мережею за рахунок підключень до ресурсу admin$, утиліти PsExec.exe і wmic.exe (WMI). Також виконуються спроби експлуатації вразливостей SMB EternalBlue (CVE-2017-0144) і EternalRomance (CVE-2017-0145).

Отримання аутентифікаційних даних виконується таким чином: вірус виконує спроби отримання аутентифікаційних даних за допомогою функції CredEnumerate (виконується пошук даних, ім'я яких починається з «TERMSRV/»).

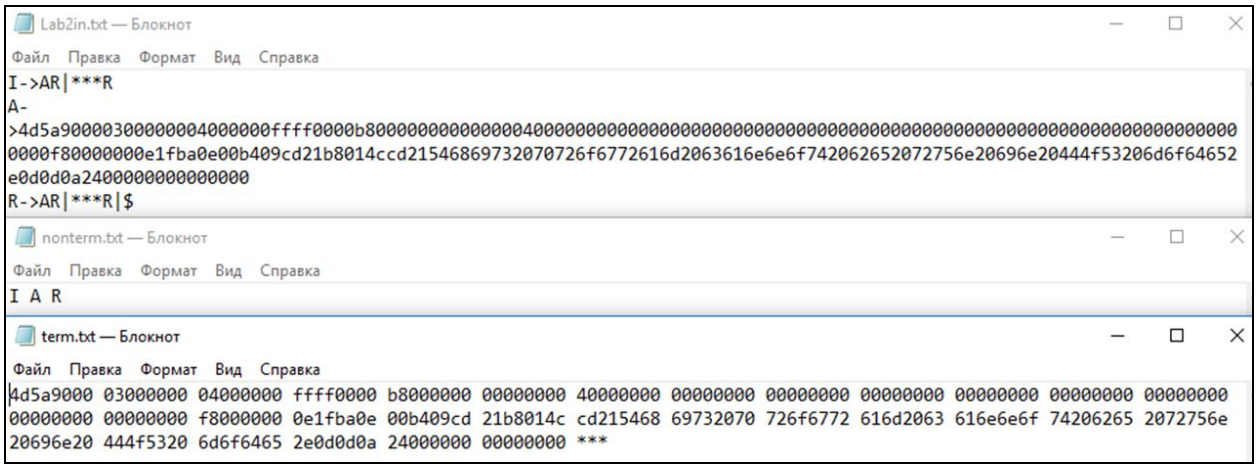


Рис. 1. Набір правил граматики для перевірки заголовку файлу

Отримані дані використовуються для поширення мережею. Вірус використовує функції системи (такі як GetExtendedTcpTable, GetIpNetTable, NetServerEnum, WNetEnumResource, DhcpEnum Subnets, DhcpEnumSubnetClients) для формування адреси ресурсів мережі.

Як результат, для подальшого дослідження, виділено перелік наступних дій, які у сукупності є шкідливими і подаються на вхід системи ідентифікації шкідливого програмного забезпечення а саме:

– Перевірка послідовностей на наявність хеш-сум назв антивірусного ПО.
– Звертання до великої кількості різнотипних файлів.
– Використання алгоритму шифрування за допомогою відкритого ключа.
– Використання утиліти mimikatz для вилучення облікових даних.
– Спроби отримати права адміністратора, підключення до різних ресурсів.
– Використання функцій отримання інформації про ресурси мережі.
– Спроба використання вразливостей SMB-механізму.
– Спроба отримати права адміністратора
– Спроба перезапису MBR.
– Перезавантаження комп'ютера.

Робота системи базується на множині низхідних магазинних автоматів, які аналізують вхідний файл. Система ідентифікації шкідливого програмного забезпечення працює наступним чином. Спочатку виконується перевірка, чи є вхідний файл виконуваним, тобто система буде аналізувати тільки файли, що виконуються (один із 11 вхідних критеріїв). Надалі, програма зчитує із файлу правила граматики (рис. 1, 2), знаходить функції First() та Follow(), формує множину елементів Choice() та генерує функції переходів магазинного автомата [11-13].

Очікувані функції переходів магазинного автомату для граматики наведено в табл. 1, а згенеровані програмою – на рис. 3. Для заданого класу шкідливого програмного забезпечення, на базі згенерованих функцій переходів магазинних автоматів виконується перевірка вхідного файлу на наявність вибраних ознак. Система ідентифікації ШПЗ дозволяє задавати кількість знайдених ознаках, які формують рішення про можливість враження комп'ютерної системи. Проведено тестування системи на множині безпечних файлів та файлів які містять шкідливе програмне забезпечення. На рис. 4 наведено результат тестування шкідливого файлу, у якому знайдено більше ніж 6 ознак із 11 заданих. Як видно із результатів експерименту система ідентифікації шкідливого програмного забезпечення на основі LL(1) - граматики може бути зручним інструментом для аналізу файлів,. Її програмна реалізація не є складною, але потребує аргументованого вибору вхідних критеріїв.

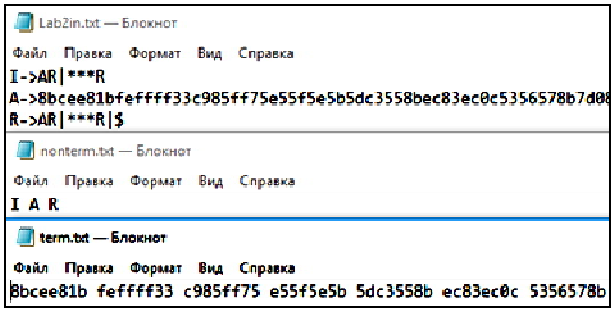


Рис. 2. Набір правил граматики для фіксації спроби перезапису MBR

Таблиця 1. **Функції переходів магазинного автомату**

1. f*(*s*, 8bcee81b, I) = (*s*, RA)	9. f(*s*, 5356578b, 5356578b) = (*s*, $)
2. f(*s*,***,I) = (*s*, R)	10. f(*s*, 7d086a01, 7d086a01) = (*s*, $)
3. f(*s*, 8bcee81b, A) = (*s*, 00578b4f 68b01f437d086a015356578bec83ec0c 5dc3558be55f5e5bc985ff75feffff33)	11. f(*s*, 68b01f43, 68b01f43) = (*s*, $)
4. f(*s*, feffff33, feffff33) = (*s*, $)	12. f(*s*, 00578b4f, 00578b4f) = (*s*, $)
5. f(*s*, c985ff75, c985ff75) = (*s*, $)	13. f*(*s*, 8bcee81b, R) = (*s*, RA)
6. f(*s*, e55f5e5b, e55f5e5b) = (*s*, $)	14. f(*s*, ***, R) = (*s*, R)
7. f(*s*, 5dc3558b, 5dc3558b) = (*s*, $)	15. f*(*s*, $, R) = (*s*, $)
8. f(*s*, ec83ec0c, ec83ec0c) = (*s*, $)	16. f*(*s*, $, h_0) = (*s*, $)

Висновки

В роботі виконано дослідження існуючих моделей виявлення шкідливого програмного забезпечення на базі формальних мов та граматик.

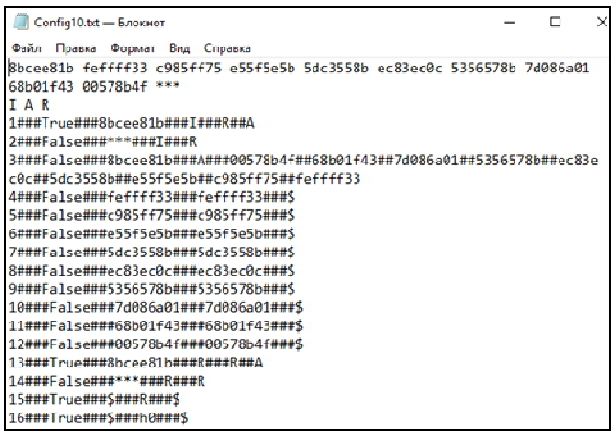


Рис. 3. Набір згенерованих програмою функцій переходів магазинного автомату для перевірки наявності функції перезапуску комп'ютера

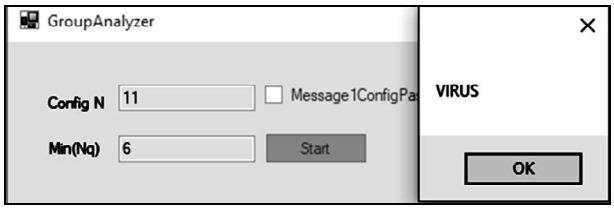


Рис. 4. Результати роботи система ідентифікації шкідливого програмного забезпечення на основі контекстно-вільних граматик

Обгрунтовано вибір типу граматики та моделі магазинного автомату.

Удосконалено існуючі моделі виявлення ШПЗ за рахунок використання LL(1)-граматики, яка передбачає лінійну залежність часу на розбір вхідного ланцюжка від її довжини.

Розроблено програмну модель системи ідентифікації ШПЗ.

Обгрунтовано вибір вхідних критеріїв для тестової системи, виконано тестування.

Пошук кожного із заданих критеріїв, які задаються правилами граматики та зберігаються в файлі, базується на роботі низхідного детермінованого магазинного автомату. Система на базі правил граматики знаходить функції First() та Follow(), формує множину елементів Choice() та генерує функцій переходів магазинного автомата. Використовуючи отримані функцій переходів магазинного автомату, сканується вхідний файл та будується модель низхідний магазинного автомату. Результатом роботи системи ідентифікації шкідливого програмного забезпечення є висновок про можливість враження комп'ютерної системи.

Проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість використання запропонованого підходу, як додаткового засобу для виявлення шкідливого програмного забезпечення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Развитие информационных угроз в первом квартале 2017 года [Електронний ресурс] / Р. Унечек, Ф. Синицын, Д. Паринов, В. Столяров. – Режим доступу: https://securelist.ru/analysis/malware-quarterly/30657/it-threat-evolution-q1-2017-statistics.
2. Кіберексперт оцінив збитки від вірусу Petya у світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tsn.ua/svit/kiberekspert-ociniv-zbitki-vid-virusu-petya-a-u-sviti-953633.html.
3. Шелухин О. И. Обнаружение вторжений в компьютерные сети / О. И. Шелухин, Д. Ж Сакалема, А. С. Филинова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 220 с.
4. Гошко С. В. Технологии борьбы с компьютерными вирусами / С. В. Гошко. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 352 с.
5. Касперский К. Записки исследователя компьютерных вирусов / К. Касперский. – СПб.: Питер, 2012. – 316 с.
6. Касперский К. Компьютерные вирусы изнутри и снаружи / К. Касперский. – СПб.: Питер, 2011. – 527 с.
7. Семенов С. Г. Защита данных в компьютеризированных управляющих системах (монография) / С. Г. Семенов, В. В. Давыдов, С. Ю. Гавриленко. – LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING, Germany, 2014.– 236 с.
8. Формальные методы защиты информации в компьютерных сетях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://docplayer.ru/55189122-Proekt-1994p-formalnye-metody-zashchity-informacii-v-kompyuternyh-setyah.html.
9. Filiol Eric. Metamorphism, Formal Grammars and Undecidable Code Mutation [Електронний ресурс] / Eric Filiol // International Journal of Computer and Information Engineering. – 2007. – Vol. 1, No. 2, , pp. 281-286. – Режим доступу: https://waset.org/publications/1369/metamorphism-formal-grammars-and-undecidable-code-mutation/
10. Котенко И. В. Восстановление формальных грамматик, задающих сценарии компьютерных атак по прецендентам / И. В. Котенко // Искусственный интеллект. – Санкт-Петербург, 2002. – №3. – С. 584-589.
11. Климентьев К. Е. Компьютерные вирусы и антивирусы / К. Е. Климентьев. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 656 с.
12. Збицкий П. В. Модель метаморфного преобразования исполняемого кода / П. В. Збицкий // Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – Российская федерация, 2009. – Вып. 10. – С. 57-61.
13. Савенко О. С. Модель процесу діагностування комп'ютерних систем на наявність поліморфного та метаморфного програмного коду / О. С. Савенко, С. М. Лисенко, А. О. Нічепорук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2014. – Т. 3 [12]. – С. 46-51
14. Нічепорук А. О. Моделі життєвого циклу поліморфних вірусів / А. О. Нічепорук, О. С. Савенко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк, 2013. – Вип. 11. – С. 64-71.
15. Системне програмування. Системні сервісні компоненти / О. С. Дерев'янко, С. Г. Межерицький, С.Ю. Гавриленко, А. М. Клименко. – Х.: НТУ «ХПІ», 2009. – 160 с.
16. Альфред А. Компиляторы. Принципы, технологии, инструменты» / А. Альфред, С. Равви, Д. Ульман. – Москва-Санкт-Петербург-Киев, 2001.– 768 с.
17. Гордеев А. В. Системное программное обеспечение / А. В. Гордеев, А. Ю. Молчанов. – СПб.: Питер, 2002. – 734 с.

REFERENCES

1. Unecek, R., Sinitsyn, F., Parinov, D. and Stolyarov V. (2017), *Development of Information Threats in the First Quarter of 2017. Statistics*, available at: https://securelist.ru/analysis/malware-quarterly/30657/it-threat-evolution-q1-2017-statistics (last accessed February 08, 2018).

2. *Cyberexpert estimated the damage from the Petya virus in the world*, available at: https://tsn.ua/svit/kiberekspert-ociniv-zbitki-vid-virusu-petya-a-u-sviti-953633.htm (last accessed February 08, 2018).
3. Shelukhin, O.I., Sakalema, D.Zh. and Filinova A.S. (2013), *Intrusion Detection into Computer Networks*, Moscow, 220 p.
4. Goshko, S.V. (2009), *Technologies for combating computer viruses*, Solon-Press, Moscow, 352 p.
5. Kaspersky, K. (2012), *Notes of the researcher of computer viruses*, Peter, St. Petersburg., 316 p.
6. Kaspersky, K. (2011), *Computer viruses from the inside and out*, Peter, St. Petersburg., 527 p.
7. Semenov, S.G., Davydov, V.V. and Gavrilenko S.Yu. (2014), *Data Protection in Computerized Control Systems*, LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING, Germany, 236 p.
8. Formal methods for protecting information in computer networks, available at: http://docplayer.ru/55189122-Proekt-1994p-formalnye-metody-zashchity-informacii-v-kompyuternyh-setyah.html (last accessed February 08, 2018).
9. Eric Filiol (2007), "Metamorphism, Formal Grammars and Undecidable Code Mutation", *International Journal of Computer and Information Engineering*, Vol.1, No. 2, pp. 281-286, available at: https://waset.org/publications/1369/metamorphism-formal-grammars-and-undecidable-code-mutation (last accessed February 08, 2018).
10. Kotenko, I.V. (2002), "Restoration of formal grammars, setting the scenarios of computer attacks on the pre-dates", *Artificial Intelligence*, Saint-Petersburg, No. 3, pp. 584-589.
11. Klymentyev K.E. (2013), *Computer viruses and antiviruses: a programmer's view*, DMK Press, Moscow, 656 p.
12. Zbitsky, P.V. (2009), Model of metamorphic transformation of executable code, *Computer technologies, management, radio electronics*, Russian Federation, No. 10, pp. 57-61.
13. Savenko, O.S., Lysenko, S.M. and Nichiporuk A.O. (2014), "Model for the process of diagnosing computer systems for the presence of polymorphic and metamorphic code", *Information technology and computer engineering*, Vol. 3 [12], pp. 46-51.
14. Nichiporuk, A.O. and Savenko O.S. (2013), "Models of the Life Cycle of Polymorphic Viruses", *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, Lutsk, No. 11, pp. 64-71.
15. Derevyanko, O.S., Mezheritsky, S.G., Gavrilenko, S.Yu. and Klimenko A.M. (2009), System Programming. System service components, NTU "KhPI", Kharkov, 160 p.
16. Alfred, A., Rabbi, S. and Ullman D. (2001), *Compilers. Principles, technologies, tools*, Moscow-St. Petersburg-Kyiv, 768 p.
17. Gordeev, A.V. and Molchanov, A.Yu. (2002), System software, Peter, St. Petersburg., 734 p.

Надійшла (received) 23.02.2018
Прийнята до друку (accepted for publication) 25.04.2018

Система идентификации вредоносного программного обеспечения на основе контекстно-свободных грамматик

С. Ю. Гавриленко, В. В. Челак, В. А. Василев

Предмет статьи - исследование методов идентификации вредоносного программного обеспечения в компьютерных системах. **Цель** статьи - исследование существующих моделей выявления вирусов на базе формальных языков и грамматик и усовершенствование модели за счет использования LL(1) -грамматики. **Задача**: разработать математическую модель идентификации вредоносного программного обеспечения на основе контекстно-свободных грамматик; выбрать эффективный алгоритм ее работы, разработать программную модель и выполнить тестирование. Используемыми **методами** являются: аппарат формальных языков и грамматик, математические модели на основе детерминированных магазинных автоматов. Получены следующие **результаты**. Обоснован выбор типа грамматики и модели магазинного автомата. Разработано программное обеспечение, которое генерирует функции переходов магазинного автомата в соответствии с заданными правилами грамматики, анализирует входной файл на наличие заданных признаков, характерных для вредоносного программного обеспечения и моделирует работу детерминированного нисходящего магазинного автомата. По результатам работы магазинного автомата формируется вывод о возможности заражения компьютерной системы. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: исследованы существующие модели антивирусных сканеров на базе формальных языков и грамматик; усовершенствована модель за счет использования LL(1) - грамматики, разработано программное обеспечение и выполнено тестирование. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность использования предложенного подхода, в качестве дополнительного средства для обнаружения вредоносного программного обеспечения.

Ключевые слова: компьютерные системы; антивирусное программное обеспечение; контекстно-свободные грамматики; LL(1) – грамматики; нисходящий магазинный автомат.

Malicious software identification system provision on the basis of context-free grammars

S. Gavrilenko, V. Chelak, V. Vassilev

The subject of the article is the study of methods for identifying malicious software in computer systems. **The goal** is to study existing models of virus detection on the basis of formal languages and grammars and to improve the model through the use of LL(1)-grammar. **Objective**: to develop a mathematical model for identifying malicious software based on context-free grammar; choose an effective algorithm for its job, develop a software model and perform testing. **The methods** used are: formal languages and grammars, mathematical models based on deterministic pushdown automatons. The following **results** have been obtained. The choice of grammar and the model of the pushdown automaton is substantiated. The software is developed, which generates the transfer functions of pushdown automaton in accordance with the given grammar rules, analyzes the input file for presence of the specified attributes, characteristic for malicious software, and simulates the work of the deterministic top-down pushdown automaton. Based on the result of the work of pushdown automaton, a conclusion is drawn about the possibility of the computer system being infected. **Conclusions.** Scientific novelty of the obtained results is as follows: the existing models of antivirus scanners on the basis of formal languages and grammars are investigated; the model was improved due to the use of LL(1)-grammar, the software was developed and the testing performed. The conducted experimental studies confirm the possibility of using the proposed approach as an additional means to detect the detection of malicious software.

Keywords: computer systems; antivirus software; context-free grammars; LL(1) – grammars; top-down pushdown automaton.

УДК 623.618.2 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.18**

С. С. Сєров

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОД ОЦІНКИ ПЕРЕШКОДОЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИГНАЛІВ З РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРУ

Предмет статті – оцінка перешкодозахисту інформаційних систем. **Мета статті –** розробка методу оцінки перешкодозахисту інформаційної системи управління з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти сигналами при впливі структурних перешкод. **Результати.** В роботі запропонований метод оцінки інформаційної системи при використанні сигналів з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти. Доведено, що забезпечити потрібні значення перешкодозахисту можливо при використанні великих ансамблів слабокорельованних систем сигналів. Отримані вирази для оцінки перешкодозахисту інформаційної системи при впливі структурних перешкод для псевдовипадкової перебудови робочої частоти фазової маніпуляції. Проведені дослідження показали, що необхідні значення цих характеристик радіосистем досягаються не тільки за рахунок поліпшеними властивостями, але й за рахунок засобів, які реалізують ефективне застосування складових сигналів. Показано, що для того, щоб зменшити вплив структурної перешкоди можливо при реалізації інформаційної системи провести динамічну зміну форм псевдовипадкової перебудови робочої частоти та фазової маніпуляції сигналів. Реалізація динамічної зміни форм сигналів забезпечує не тільки перешкодозахист інформаційної системи, але і активний імітозахист та скритність на фізичному рівні. **Висновки.** Проведені дослідження показали, що необхідні значення цих характеристик радіосистем досягаються не тільки за рахунок використання сигналів з поліпшеними властивостями, але й за рахунок засобів, які реалізують ефективне застосування складових сигналів.

Ключові слова: інформаційна система; псевдовипадкова перебудова робочої частоти; система управління; перешкодозахист; радіосистема; фазова маніпуляція.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. До теперішнього часу в інформаційних системах управління, які функціонують в складній перешкодовій обстановці, широке застосування знайшли сигнали з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ). Вибір цього класу сигналів обумовлений простотою реалізації пристроїв побудови та обробки таких сигналів. В науковій літературі достатньо розглянуто методів оцінки перешкодозахисту інформаційних систем управління при впливі на систему шумових перешкод. Разом з цим, як показано в [1 – 6], найбільш небезпечними є структурні перешкоди.

Мета статті – розробка методу оцінки перешкодозахисту інформаційної системи управління з ППРЧ сигналами при впливі структурних перешкод.

Результати досліджень

Нехай у інформаційній системі управління та зв'язку під час дії структурних завад використовуються сигнали з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ), фазоманіпульовані сигнали (ФМ) або дискретно-частотні фазоманіпульовані сигнали (ДСЧ-ФМ).

Кількісно завадозахищеність та імітостійкість оцінюється ймовірністю прийому хибного сигналу $P_л$. Тоді при використанні в радіолінії ППРЧ сигналів імовірність прийому хибного сигналу з урахуванням дії в радіоканалі шуму і заважаючих сигналів запишеться у вигляді

$$P_л = P_п(P_м + P_с) + (1 - P_п)P_ш, \qquad (1)$$

де $P_п$ – апріорна ймовірність потрапляння заважаючого сигналу в розрізнений у даний момент часу частотний діапазон; $P_м$ – умовна ймовірність прийому хибного сигналу при дії заважаючого сигналу в каналі, де сигнал відсутній; $P_с$ – умовна ймовірність перейменування сигналу при дії на нього заважаючого сигналу та шуму; $P_ш$ – імовірність помилки через дію шуму.

Для обчислення $P_м$ і $P_с$, як показано в [6, 7], необхідно знайти щільність розподілу ймовірності випадкової величини, яка характеризує амплітуду напруг на вході розв'язувального пристрою у момент повного згортання сигналу. Умовна щільність розподілу ймовірностей напруг на вході синфазного і квадратурного каналів некогерентного приймача, де діє корисний сигнал, заважаючий сигнал і шум, є узагальненою релеївською щільністю, а щільність на виході каналу, де діє шум, є просто релеївською щільністю. У результаті безумовна щільність розподілу ймовірності напруги на вході розв'язувального пристрою має вигляд

$$w^{c}_{вхРУ}(y) = \int_0^1 \int_{E_i - E_m R}^{E_i + E_m R} w(\alpha/R) \times \int_{\alpha}^{\infty} w(y/\alpha)\, dx d\alpha dR, \qquad (2)$$

де $w(\alpha/R)$ – щільність розподілу ймовірності випадкової величини α, що є функцією випадкових величин $(\phi_c - \phi_m)$ і ступеня кореляції сигналів R; $\alpha = y \cdot (sign(y) - 1)/2$; $w(y/\alpha)$ – умовна щільність ймовірності, яка характеризує напругу на вході розв'язувального пристрою, при дії заважаючого сигналу; E_i і E_m – енергія корисного і заважаючого сигналів;

У [8] показано, що розподіл косинуса різниці фаз, незалежних і рівномірно розподілених на інтервалі $[-\pi, \pi]$, еквівалентний розподілу косинуса рівномірно розподіленої випадкової величини.

Позначимо $\xi = \cos(\phi_c - \phi_m)$. Функція розподілу випадкової величини ξ визначається як

$$w_\xi(x) = \sqrt{1-x^2}/\pi. \quad (3)$$

звідси $$w_\alpha = w_\xi[\Psi(y)]\frac{d\psi(y)}{dy}, \quad (4)$$

де $x = \Psi(y)$ – обернена функція для $\alpha = \phi(\xi)$.

З урахуванням (3) $w(\alpha/R)$ має вигляд

$$w(\alpha/R) = \frac{\alpha}{\pi E_i E_m R\sqrt{1-\left(\frac{\alpha^2 - E_i^2 - E_m^2 R^2}{2E_i E_m R}\right)^2}}. \quad (5)$$

Умовна щільність розподілу ймовірності випадкової величини, що характеризує напругу на вході розв'язувального пристрою когерентного приймача, при дії на робочий сигнал заважаючого сигналу:

$$w(y/\alpha) = \int_\alpha^\infty \frac{x}{\sigma_0^2}\exp\left\{-\frac{x^2+\alpha^2}{2\sigma_0^2}\right\} I_0 \times \times\left(x\alpha/\sigma_0^2\right)\left((x+y)/\sigma_0^2\right)\exp\left\{-(x+y)^2/\left(2\sigma_0^2\right)\right\}\mathrm{d}\,x, \quad (6)$$

де σ_0^2 – дисперсія розподілу; I_0 – функція Бесселя нульового порядку.

Підставивши (5), (6) у (1) визначимо P_c:

$$P_c = \int_0^1\int_\alpha^\infty \frac{x}{\sigma_0^2}\exp\left\{-\frac{x^2+\alpha^2}{2\sigma_0^2}\right\} I_0\left(\frac{x\alpha}{\sigma_0^2}\right)\mathrm{d}\,x\,\mathrm{d}\,y \times \times \int_{E_i-E_mR}^{E_i+E_mR} \frac{\alpha}{\pi E_i E_m R\sqrt{1-\left(\frac{\alpha^2 - E_i^2 - E_m^2 R^2}{2E_i E_m R}\right)^2}}\mathrm{d}\,\alpha, \quad (7)$$

У [8] показано, що подвійний інтеграл за x, y дорівнює $0,5\exp\left\{-\alpha^2/4\sigma^2\right\}$. Отже, P_c має вигляд

$$P_c = \int_0^1\int_{E_i-E_mR}^{E_i+E_mR} 0,5\exp\left\{-\alpha^2/\left(4\sigma_0^2\right)\right\}\times \times\frac{\alpha}{\pi E_i E_m R\sqrt{1-\left(\left(\alpha^2-E_i^2-E_m^2R^2\right)/\left(2E_iE_mR\right)\right)^2}}\mathrm{d}\alpha\,\mathrm{d}R. \quad (8)$$

Перетворимо вираз (8) до вигляду [8]:

$$P_c = \frac{\sqrt{2\pi}}{4\pi h_i h_m}\exp^{-0,5h_i^2}\times \times\left\{\begin{array}{l}(h_i+h_m)\otimes(h_н+h_i)-(h_m-h_i)\otimes(h_m-h_i)+\\ +\frac{2}{\sqrt{2\pi}}\times\left\{e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-e^{-0,5(h_m-h_i)^2}\right\}\end{array}\right\}, \quad (9)$$

де $\otimes(z)$ – функція Крампа; $h_i = \sqrt{E_j/N_0}$; N_0 – спектральна потужність шуму.

Для обчислення $P_м$ необхідно знайти щільність розподілу на виході каналу, де діє корисний сигнал і шум, та каналу, де діє заважаючий сигнал і шум. Обидва ці розподіли – узагальнені релеївські розподіли. Імовірність прийому хибного сигналу $P_м$ визначається інтегралом, аналогічним (7):

$$P_м = \int_0^1\int_\alpha^\infty \frac{x}{\sigma_0^2}\exp\left\{-\frac{x^2+E_i^2}{2\sigma_0^2}\right\} I_0\left(\frac{xE_i^2}{\sigma_0^2}\right)\mathrm{d}\,y\,\mathrm{d}\,x\times \times\int_0^\infty\left(\frac{x+y}{\sigma_0^2}\right)\exp\left\{-\frac{(x+y)^2+E_mR}{2\sigma_0^2}\right\}\mathrm{d}\,R. \quad (10)$$

Інтеграл (10) після громіздких перетворень може бути приведений до вигляду

$$P_м = 1-\left(\frac{e^{-0,5h_i^2}}{3\sqrt{2\pi h_i h_m}}\right)\cdot(h_i+h_m)^3\otimes \otimes(h_m+h_i)-(h_m-h_i)^3\otimes(h_н-h_i)+\frac{2}{2\pi}\times \times e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-(h_m-h_i)^2\times e^{-0,5(h_m-h_i)^2}. \quad (11)$$

Імовірність помилки через дію шуму $P_ш$ дорівнює $P_ш = 0,5e^{-0.5h_i}$, а після підстановки (9) – (11) у (1) одержимо

$$P_л = P_n\left\{\begin{array}{l}\frac{\sqrt{2\pi}}{4\pi h_i h_m}e^{-0,5h_i^2}\times\{(h_i+h_m)\otimes(h_m+h_i)-\\ -(h_m-h_i)\otimes(h_m-h_i)+2/\sqrt{2\pi}\}\times\\ \times\left\{e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-e^{-0,5(h_m-h_i)^2}\right\}+\\ +\left\{1-\left(\frac{e^{-0,5h_i^2}}{3\sqrt{2\pi h_i h_m}}\right)\right\}\left\{\begin{array}{l}(h_i+h_m)^3\otimes(h_m+h_i)-\\ -(h_m-h_i)^3\times(h_н-h_i)+\\ +\frac{2}{\sqrt{2\pi}}\left[\begin{array}{l}(h_m+h_i)^2e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-\\ -(h_m-h_i)^2e^{-0,5(h_m-h_i)^2}\end{array}\right]\end{array}\right\}\end{array}\right\}+ +0,5(1-P_n)e^{-0,5h_i}. \quad (12)$$

При використанні в мережі зв'язку й управління ФМ сигналів [2, 5-7] імовірність прийому хибного сигналу дорівнює [3]:

$$P_л = P_nP_c + (1-P_n)P_m, \quad (13)$$

де P_n – імовірність постановки заважаючого сигналу; P_c – імовірність помилки при дії заважаючого сигналу; $P_м$ – імовірність помилки за відсутності заважаючого сигналу. Вираз для обчислення P_c для випадку використання ФМ сигналів збігається з

(9). Проте треба пам'ятати, що h_m в $\sqrt{L}$ раз менше, ніж при використанні ППРЧ сигналів, де L – кількість елементів ФМ сигналу. Імовірність постановки хибного ФМ сигналу із заданим ступенем кореляції визначається виразом [8]

$$P_n = \frac{1}{125L\left[(1+R)^{1+R}(1-R)^{1-R}\right]^{0,5L}}. \qquad (14)$$

З урахуванням висловлених зауважень, вираз для $P_л$ запишеться у вигляді

$$P_л = \frac{1}{125\,L\left[(1+R)^{1+R}(1-R)^{1-R}\right]^{0.5L}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{4\pi h_i h_m} \times$$
$$\times e^{-0,5h_i^2}\left\{(h_i+h_m)\otimes(h_m+h_i)-(h_m-h_i)\times\right.$$
$$\left.\times(h_m-h_i)+\frac{2}{\sqrt{2\pi}}\left[e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-e^{-0,5(h_m-h_i)^2}\right]\right\}+ \qquad (15)$$
$$+\left[e^{-0,5\,h_i}\Big/\left(125\cdot L\left[(1+R)^{1+R}(1-R)^{1-R}\right]^{0.5\,L}\right)\right].$$

При використанні ППРЧ-ФМ сигналу ймовірність прийому хибного сигналу запишеться як

$$P_л = P_{n\ ППРЧ}\left[\begin{matrix}P_{n\ ФМ}(P_м+P_c)+\\ +(1-P_{ПФМ})\,P_ш\end{matrix}\right]+ \qquad (16)$$
$$+(1-P_{n\ ППРЧ})\,P_ш,$$

де $P_{n\ ППРЧ}$ – імовірність потрапляння на роздільну частоту; $P_{n\ ФМ}$ – імовірність постановки ФМ завади із заданим ступенем кореляції.

Підставивши значення змінних, що входять у вираз (16), одержимо

$$P_л = P_{n\ ППРЧ}\left\{1\Big/\left(125L\left[(1+R)^{1+R}(1-R)^{1-R}\right]^{0.5L}\right)\times\right.$$
$$\times\left\{1-\left(\frac{e^{-0,5h_i^2}}{3\sqrt{2\pi h_i h_m}}\right)\times\left\{(h_i+h_m)^3\otimes(h_m+h_i)-(h_m-h_i)^3\otimes\right.\right.$$
$$\otimes(h_m-h_i)+\frac{2}{\sqrt{2\pi}}\left[(h_m+h_i)^2\,e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-\right.$$
$$\left.\left.\left.-(h_m-h_i)^2\,e^{-0,5(h_m-h_i)^2}\right]\right\}\frac{\sqrt{2\pi}}{4\pi h_i h_m}e^{-0,5h_i^2}\times\right.$$
$$\times\left\{(h_i+h_m)\otimes(h_m+h_i)-(h_m-h_i)\otimes(h_m-h_i)+\right.$$
$$\left.+\frac{2}{\sqrt{2\pi}}\times\left[e^{-0,5(h_m+h_i)^2}-e^{-0,5(h_m-h_i)^2}\right]\right\}\Bigg\}\times \qquad (17)$$
$$\times\left[1-1\Big/\left(125\,L\left[(1+R)^{1+R}(1-R)^{1-R}\right]^{0.5L}\right)\right]\Bigg\}\times$$
$$0,5e^{-0,5h_i}+0,5(1-P_{n\ ППРЧ})e^{-0,5h_i}.$$

З використанням виразів (13), (16) і (17) був проведений аналіз імовірності нав'язування хибного сигналу.

Установлено, що для ППРЧ і ППРЧ-ФМ сигналів імовірність нав'язування залежить від методу обробки та співвідношення $P_c/P_п$ на елементі ППРЧ і кількості завад, що виставляються. При цьому найбільш небезпечними є випадки, коли відношення потужності сигналу до потужності завади ППРЧ сигналу є мінімальними.

Для фазоманіпульованих сигналів імовірність нав'язування хибного сигналу залежить від енергетичних співвідношень сигналу та завади і ступеня їх кореляції.

Отже, імітостійкість і завадозахищеність суміщеної командно-телеметричної радіолінії можуть бути підвищені за рахунок розширення ансамблю використаних сигналів та збільшення ступеня невизначеності для зловмисника конкретної форми сигналу, а також зменшення ступеня кореляції між сигналами.

Висновки

Таким чином, розв'язання задачі підвищення імітостійкості та скритності інформаційної системи на фізичному рівні досягається використанням сигналів з поліпшеними ансамблевими, кореляційними, структурними характеристиками і застосуванням алгоритмів динамічної зміни сигнальних конструкцій.

Проведені дослідження показали, що необхідні значення цих характеристик радіосистем досягаються не тільки за рахунок використання сигналів з поліпшеними властивостями, але й за рахунок засобів, які реалізують ефективне застосування складових сигналів. Розроблені і широко вживані засоби передачі інформації в радіосистемах або не забезпечують необхідних значень завадозахищеності та імітостійкості, або забезпечують пасивний імітозахист, який забезпечує вимкнення апаратури на приймальній стороні при появі імітаційних завад.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Свердлин М. Б. Оптимальные дискретные сигналы / М. Б. Свердлин. – М.: Связь, 1975. – 101 с.
3. Discrete Signals with Multi-Level Correlation Function Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP2010): Proceedings / Y. Stasev, A. Kuznetsov, V. Sai, O. Karpenko. – Discrete Kyiv, Ukraine, October 13-14, 2010 – K.: National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House, 2010. – 180 p.
4. Дядюнов Н. Г. Ортогональные и квазиортогональные сигналы / Н. Г. Дядюнов, А. И. Сенин. – М.: Связь, 1977. – 224 с.
5. Горбенко И. Д. Безопасность информации в космических системах связи и управления / И. Д. Горбенко, Ю. В. Стасев // Космічні науки і технологія. – 1996. – Т. 2, № 5-6. – С. 64-69.

6. Стасєв Ю. В. Умови реалізації динамічного режиму функціонування захисту системи зв'язку та управління / Ю. В. Стасєв, О. О. Мелешенко, І. О. Ткаченко // Системи озброєння і військова техніка. –Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 12 (16). – С. 28-32.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.
8. Теорія сигнально-кодових конструкцій: моногр. / М.І. Науменко, Ю.В. Стасєв, О.О. Кузнецов, С.П. Євсеєв. – Х.: ХУПС, 2008. – 541 с.:

REFERENCES

1. Varakin, L.E. (1985), *Communication Systems with Noise-Like Signals*, Radio and Communication, Moscow, 384 p.
2. Sverdlin, M.B. (1975), *Optimal discrete signals*, Communications, Moscow, 101 p.
3. Stasev, Y., Kuznetsov, O., Sai V. and Karpenko, O. (2010), Discrete Signals with Multi-Level Correlation Function, *Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)*, October 13–14, National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House, Kyiv, Ukraine, pp. 176-179.
4. Dyadyunov, N.G. and Senin, A.I. (1977), *Orthogonal and quasi-orthogonal signals*, Communications, Moscow, 224 p.
5. Gorbenko, I.D. and Stasev, Yu.V. (1996), "Information Security in Space Communication and Control Systems", *Cosmic Sciences and Technology*, Vol. 2, No. 5-6, pp. 64-69.
6. Stasev, Y.V., Meleshenko, O.O. and Tkachenko, I.O. (2016), "Terms of realization of dynamic mode of operation of communication and control system protection", *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 12(16), pp. 28-32.
7. Gorbenko, I.D. and Stasev, Yu.V. (1996), "Information Security in Space Communication and Control Systems", *Cosmic Sciences and Technology*, Vol. 2, No. 5-6, pp. 64-69.
8. Naumenko, M.I., Stasev, Y.V., Kuznetsov, O.O. and Evseev, S.P. (2008), *The theory of signal-code structures*: a monograph, KAFU, Kharkiv, 541 p.

Received (Надійшла) 28.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

Метод оценки помехозащиты информационной системы при использовании сигналов с расширением спектра

С. С. Серов

Предмет статьи – оценка **помехозащиты** информационных систем. **Цель статьи** – разработка метода оценки помехозащиты информационной системы управления с псевдослучайным перестроением рабочей частоты сигналами при воздействии структурных препятствий. **Результаты**. В работе предложен метод оценки информационной системы при использовании сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Доказано, что обеспечить нужные значения помехозащиты возможно при использовании больших ансамблей слабокоррелированных систем сигналов. Полученные выражения для оценки помехозащиты информационной системы при воздействии структурных препятствий для псевдослучайной перестройки рабочей частоты фазовой манипуляции. Проведенные исследования показали, что необходимые значения этих характеристик радиосистем достигаются не только за счет улучшенных свойств, но и за счет средств, реализующих эффективное применение составляющих сигналов. Показано, что для того, чтобы уменьшить влияние структурного препятствия, можно при реализации информационной системы динамически изменять формы псевдослучайной перестройки рабочей частоты и фазовой манипуляции сигналов. Реализация динамического изменения форм сигналов обеспечивает не только помехозащиту информации системы, но и активную имитозащиту и скрытность на физическом уровне. **Выводы.** Проведенные исследования показали, что необходимые значения этих характеристик радиосистем достигаются не только за счет использования сигналов с улучшенными свойствами, но и за счет средств, которые реализуют эффективное применение составляющих сигналов.

Ключевые слова: информационная система; псевдослучайная перестройка рабочей частоты; система управления; помехозащита; радиосистема; фазовая манипуляция.

Method of evaluation of breaking diagnostic information system in using signals with extended spectrum

S. Serov

Subject of the article – assessment of the impedance of information systems. **The purpose of the article** is the development of a method for assessing the immunity of the information management system with the pseudo-random tuning of operating frequency signals under the influence of structural obstacles. **Results.** The method of estimating the information system with the use signals with pseudorandom processing of the operating frequency was proposed. Proved that provide the required values noise immunity possibly use large ensembles of weakly correlated signal systems. Obtained expressions for evaluation noise immunity information systems under the influence of structural obstacles for noise immunity pseudorandom alteration of working frequency phase manipulation. The conducted studies have shown that the necessary values of these characteristics of radio systems are achieved not only due to improved properties, but also at the expense of means that realize the effective use of constituent signals. It is shown to reduce the impact of structural impediments possible, with the implementation of the information system of the dynamic change in the forms of pseudorandom processing frequency, and phase signal manipulation. Realization of dynamic change of forms of signals provides not only an impediment of information system but also active imitoprotection, and secrecy at the physical level. **Conclusions**. The conducted studies have shown that the necessary values of these characteristics of radio systems are achieved not only due to the use of signals with improved properties, but also at the expense of means that implement the effective application of composite signals.

Keywords: information system; frequency-hopping spread spectrum; control system, noise immunity; radio system; phase-shift keying.

Applied problems of information systems operation

УДК 656.132.658 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.19**

С. М. Андрєєв, Д. О. Волотівська, В. А. Жилін

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

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ ХМАРНОСТІ ДЛЯ ЗАМОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЧАСОВОГО ПЕРІОДУ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ

Предметом дослідження є методика визначення типів хмарності за даними, отриманими з супутників Національного управління океанічних та атмосферних досліджень Міністерства торгівлі США. **Об'єктом дослідження** є моніторинг оптико-метеорологічних характеристик хмарної атмосфери на основі космічних знімків. **Метою роботи** є підвищення результативності вивчення хмарного покриву та підвищення інформативності метеорологічних даних для підтримки прийняття рішень в задачах метеорології, керування повітряним рухом та використання даних дистанційного зондування Землі в різних сферах функціонування соціуму. Задля досягнення поставленої мети вирішено такі часткові задачі: створення картографічних моделей хмарності та підстильної поверхні з урахуванням часових періодів виконання зйомки; проведення аналізу існуючих ознак розпізнавання хмарності на космічних знімках; розробка і практична реалізація методики визначення по космознімках форм хмар та оптимального періоду зйомки хмарного покриву. Картографічні моделі хмарності з урахуванням періодів зйомки дають інформацію про оптимальний час замовлення цифрових даних, що значно скорочує затрати та оптимізує роботу зі супутниковою інформацією. **Висновки:** визначення оптимального періоду замовлення знімків високої якості на основі запропонованих картографічних моделей значно скорочує затрати на вирішення тематичних задач геоінформаційних систем. Вивчення типів хмарності з використанням запропонованої методики дає можливість відслідковувати динаміку та процес утворення будь-яких видів хмар та з високою ймовірністю безпомилковості прогнозувати небезпечні атмосферні явища. За рахунок цього підвищується ефективність керування повітряним рухом та використання даних дистанційного зондування Землі у всіх сферах життєдіяльності людства.

Ключові слова: картографічні моделі; хмарний покрив; підстильна поверхня; часові періоди космічної зйомки.

Вступ

Супутникові дані широко використовуються в задачах діагнозу та прогнозу погоди і клімату, для екологічного моніторингу і аналізу стану навколишнього середовища, для виявлення і контролю стихійних гідрометеорологічних явищ та надзвичайних ситуацій.

З появою компактних і відносно недорогих станцій прийому цифрової супутникової інформації спочатку за кордоном, а тепер і в нашій країні, ними стали оснащуватися як окремі регіональні центри з гідрометеорології та контролю навколишнього середовища, так і установи та організації на місцях, що використовують в своїй діяльності супутникові дані.

Для України наявність таких станцій і відповідна обробка даних на місцях і в регіональних центрах — це єдиний шлях, що дозволяє забезпечити всю територію країни даними дистанційного зондування з необхідною для оперативної практики і науково-дослідних цілей повнотою. При цьому виникає задача створення таких систем обробки даних дистанційного зондування Землі, які забезпечували б необхідний рівень якості спеціалізованої тематичної обробки і рішення оперативних ГІС-задач та були б доступні для широкого кола користувачів на місцях.

Постановка задачі. В даний час різко зросла наукова і практична значимість дослідження атмосфери і океану дистанційними засобами космічного зондування.

Постійно розширюється коло прикладних і науково-дослідних завдань, що вирішуються на основі сучасних методів обробки даних дистанційного зондування Землі

Важливе місце серед завдань, що вирішуються за допомогою даних супутникового зондування займає аналіз хмарності.

Метою роботи є підвищення результативності вивчення хмарного покриву та підвищення інформативності метеорологічних даних для підтримки прийняття рішень в задачах метеорології, керування повітряним рухом та використанні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в різних сферах життєдіяльності людства.

Задля досягнення поставленої мети вирішено такі часткові задачі:

1) створення картографічних моделей [1, 2] хмарності та підстильної поверхні з урахуванням часових періодів виконання зйомки;

2) проведення аналізу існуючих ознак розпізнавання хмарності на космічних знімках;

3) розробка і практична реалізація методики визначення по космознімках форм хмар та оптимального періоду зйомки хмарного покриву.

Результати досліджень

Застосування даних ДЗЗ для прогнозування погодних умов. Виконані в останні роки дослідження свідчать про великі можливості використання супутникової метеорологічної інформації в рамках сучасних чисельних прогнозів погоди.

Перспективи отримання за допомогою супутників метеорологічної інформації в кількісній формі не знижують актуальності використання і вдосконалення методів якісного аналізу зображення Землі з космосу. Навпаки, дослідження останніх років відкрили нові можливості, що складаються в застосуванні зображень для визначення різноманітних властивостей характеристик підстильної поверхні та хмарності.

Приклади космічних знімків з різним відсотком хмарності представлені на рис. 1.

Порівняння даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і даних з наземних метеостанцій за можливостями їх застосування представлені в табл. 1.

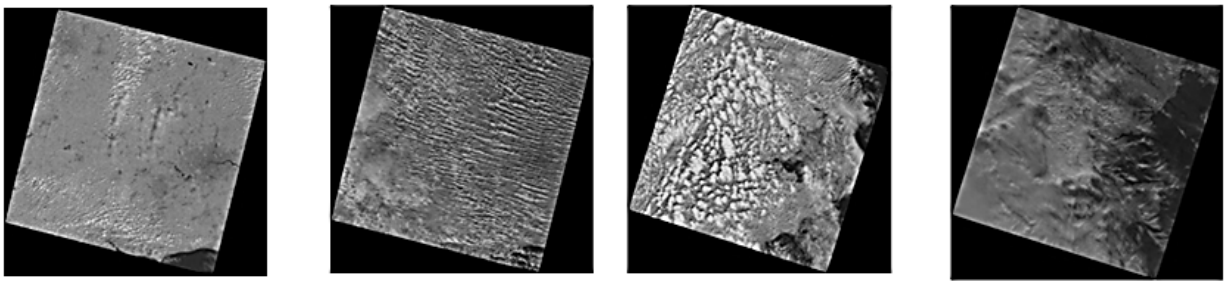


Рис. 1. Приклади космічних знімків із різним відсотком хмарності

Таблиця 1. **Порівняння можливостей застосування даних ДЗЗ і даних з наземних метеостанцій**

Можливості	Дані ДЗЗ	Дані з наземних метеостанцій
Глобальний моніторинг поля хмарності	+	—
Спостереження за хмарним покриттям в режимі реального часу	+	—
Оперативна зйомка систем хмарності	+	—
Складання метеорологічних прогнозів	+	+
Моніторинг небезпечних стихійних явищ	+	—
Наочність атмосферних явищ	+	—
Радіозондування температури	—	+

На підставі відомостей табл. 1 можна зробити висновок про те, що дані з наземних метеостанцій не забезпечують необхідну і достатню кількість інформації для вирішення специфічних ГІС-задач.

Принципи побудови картографічних моделей хмарного покриву з урахуванням часових періодів виконання зйомки. Перше завдання, яке доводиться вирішувати при дешифруванні знімків — це відділення підстильної поверхні від хмарного покриву. Основною класифікаційною ознакою є колір. В даному випадку колірна гамма біло-сіра.

При дешифруванні хмар, важливим моментом є відділення їх від сніжно-льодової та іншої поверхні з білим кольором. Це відділення проводиться за такими ознаками, як форма і текстура. Краї хмарних систем зазвичай розмиті, в той час як райони, вкриті снігом, особливо якщо це гірська місцевість, мають чітку межу, часто зі складним гіллястим орнаментом долин.

Крім того, сніжно-льодовий покрив відносно стабільний за короткі проміжки часу, і за цією ознакою його легко можна відрізнити від дуже динамічного хмарного покриву (шляхом порівняння декількох послідовних знімків). Великі труднощі виникають при дешифруванні хмар над поверхнями, вкритими снігом, особливо у рівнинних районах помірних і полярних широт.

Для визначення періоду найкращої зйомки хмарного покриву необхідно проаналізувати дані ДЗЗ і дані, отримані в результаті наземних метеорологічних спостережень за 4 періоди року (зима, весна, літо, осінь) по кожному кварталу місяця. При цьому необхідно враховувати відносну вологість повітря на даний момент зйомки хмарності.

За допомогою програмного пакету Surfer 13 [3 – 5] створено інтерпольовані регулярні сітки (по кожному місяцю року). Для цього в таблицю вносяться такі дані:

1) число зйомки (дата);

2) відносна вологість (у %);

3) кількість хмарності (у %).

Вхідні дані: фрагмент таблиці даних у форматі *.xls та знімки супутників NOAA.

На підставі створених інтерпольованих регулярних сіток розроблено картографічні моделі хмарного покриву за періодами виконання космічної зйомки. Отримані результати показують найкращий час проведення спостережень для визначення типу хмарності та земної поверхні (рис. 2). Дані для створення моделей були відібрані по Харківській області.

При хмарності в 100%, коли підстильна поверхня повністю затягнута хмарами, розрізнити тип дуже складно [6], так само, як і при малій кількості хмар або легкому серпанку (5%), адже в останньому

випадку важко розрізнити як текстуру, так і форму окремих хмар.

З цього витікає, що для вивчення типів хмарного покриву найбільш оптимальним варіантом є знімки з відсотком хмарності від 60% до 90%.

Результатом проведення аналізу представлених картографічних моделей по кварталам року було визначено оптимальні періоди зйомки хмарного покриву та земної поверхні (рис. 3).

За даними досліджень можна зробити висновок про те, що найкращим періодом для проведення зйомки хмарного покриву є березень, адже саме в цьому місяці кількість хмарності найбільш оптимальна для вивчення типів хмар.

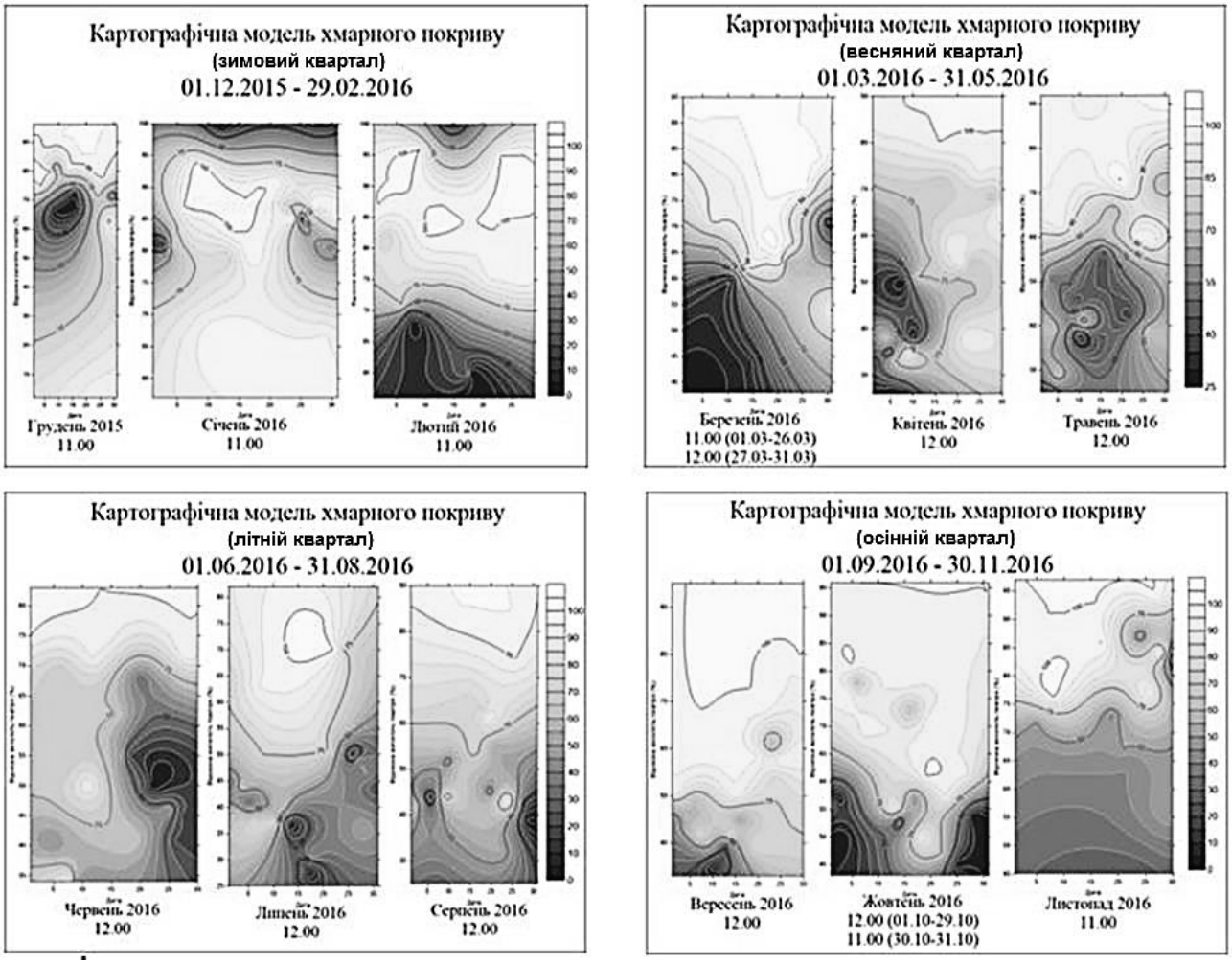


Рис. 2. Картографічні моделі хмарного покриву

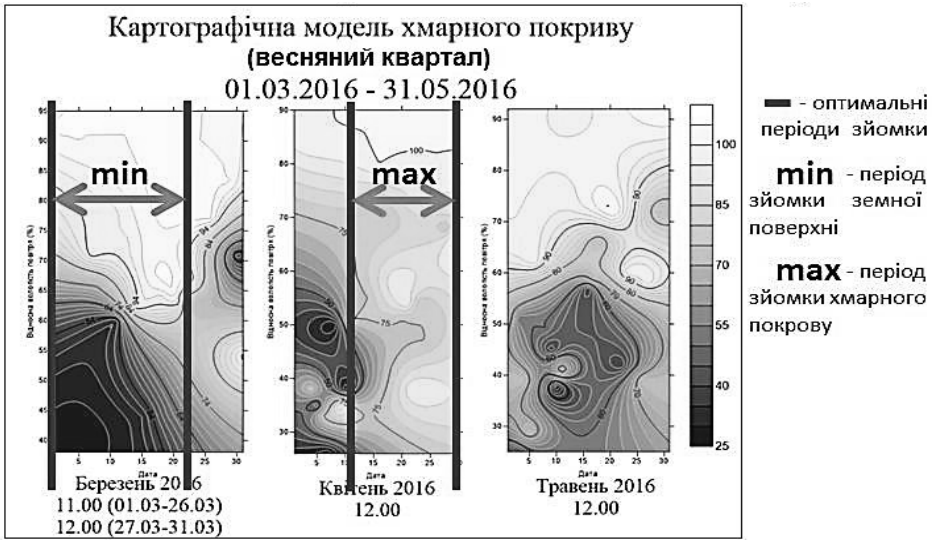


Рис. 3. Результат визначення оптимальних періодів зйомки

Кінець осіннього та зимовий квартал можна не враховувати, оскільки наявність сніжного покриву перешкоджає отримати достовірний набір інформації про класифікаційні ознаки хмарного покриву.

Кінець квітня є найбільш оптимальним періодом для замовлення знімків з метою вивчення земної поверхні.

Розробка методики визначення форми хмари по результатах обробки космічного знімку. У зв'язку з різноманіттям класів зорових образів і цілей розпізнавання число способів вторинного опису зображень практично необмежено. У зв'язку з цим на шляху створення надійних і швидкодіючих алгоритмів виникає проблема вибору вторинного опису зображень найменшої розмірності з якомога більшою інформативністю в умовах дії чинників, що заважають.

У розпізнаванні хмарності першим кроком є відділення її від інших типів підстильної поверхні (рис. 4).

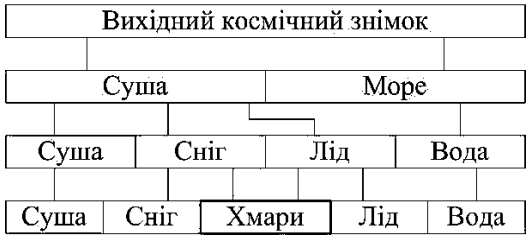


Рис. 4. Виділення основних типів підстильної поверхні на першому етапі розпізнавання

Спільний аналіз всієї супутникової інформації дозволить з'ясувати вертикальну протяжність хмар і уточнити за цими даними їх форму. Якщо в розпорядженні дешифрувальника є тільки знімки хмарності, то для визначення потужності хмар використовують тіні, що відкидаються високими хмарами, на більш низькі. Перевищення однієї хмари над іншими в цьому випадку може бути визначено за даними висоти Сонця.

Тіні можуть бути видні не тільки на тлі більш низьких хмар, але й на світлому піску, сніжному і крижаному покриві.

У той же час, на водній поверхні, яка зазвичай має темний тон, тінь не завжди можливо виявити.

При аналізі знімків не завжди вдається точно визначити форми морфологічної класифікації хмар через фотографічну подібність більшості з них між собою.

Тому при дешифруванні користуються умовною класифікацією, складеною з урахуванням інформативних можливостей космознімків [7, 8].

Кількість хмарності характеризує ступінь покриття хмарами тієї чи іншої ділянки земної поверхні і визначається відношенням (у відсотках) площі, зайнятої хмарними елементами всередині контуру, до всієї площі, обмеженої контуром.

У більшості практичних ситуацій максимальною інформативністю відрізняються ознаки форми. Якщо яскравість об'єкта досить однорідна в межах займаної ним площі, то практично вся інформація про його форму зосереджена на його кордонах (контурах). Таким чином, ознаками форми є координати контурних точок об'єктів.

Крім основних типів хмарності, при дешифруванні визначаються межі однорідних хмарних полів і кількість хмарності.

Вид подання контуру істотно впливає на можливості його аналізу і ототожнення. Найбільш загальними підходами є апроксимація кривих, простежування контурів і зв'язування точок перепадів контрасту.

Оскільки при зв'язуванні безлічі контурних точок апроксимуюча крива може погано відображати геометричну форму об'єкта, попередньо визначають домінантні точки контуру (точки зламу, локальні екстремуми функції кривизни).

Параметри моделі контуру є дескрипторами форми об'єктів і використовуються для їх класифікації [9, 10].

Нормальний закон розподілу є граничним законом, до якого наближаються інші закони розподілу при аналогічних умовах які найчастіше зустрічаються.

Для моделювання результатів вимірювань параметра x з нормальним законом розподілу визначимо функцію Norm(m,σ):

$$Norm(m,\sigma) := \sqrt{\frac{12}{v}}\cdot\sigma\cdot\left(\sum_k rnd(1)-\frac{v}{2}\right)+m,$$

де ν = 48; k = 1, …, ν.

На заданому кольоровому знімку земної поверхні було виділено два класи просторово-розподілених об'єктів (рис. 5).

Рис. 5. Заданий знімок хмари

Клас 1 – «земна поверхня», клас 2 – «хмара».

Колір кожного пікселя зображення визначається значеннями компонент R, G і B.

Для перевірки відповідності заданого розподілу нормальному для 1 і 2 побудовані гістограми розподілів значень ознаки H з відповідними умовними густота розподілу ймовірностей (ГРІ) (рис. 6) [11, 12].

Визначимо відхилення експериментального від теоретичного закону розподілу за критерієм χ^2.

Для нормального закону розподілу значення:

для класу 1 χ^2= 2,747, τ = 7,

для класу 2 χ^2= 17,695, τ = 7.

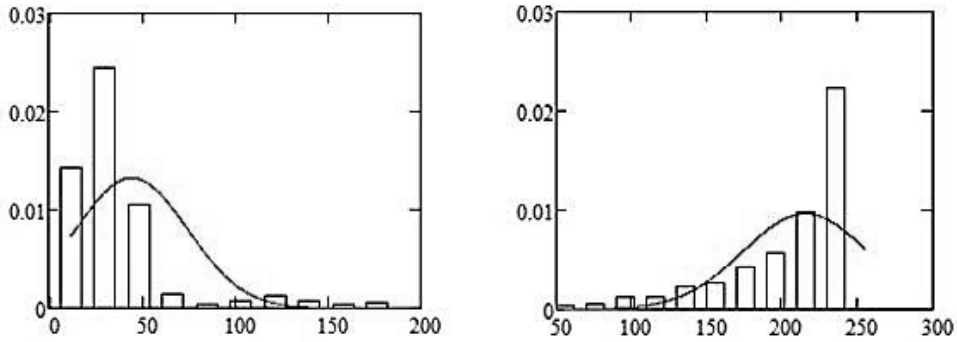


Рис. 6. Гістограма розподілу значень ознаки H і умовна ГРІ для класів 1 та 2

Зіставивши τ і χ^2, маємо, що відповідне табличне значення квантиля χ^2-розподілу для класу 1 дорівнює 0.907. Це означає, що згенеровано контрольну вибірку, яка з ймовірністю 90,7% відповідає нормальному закону розподілу.

Для класу 2 значення квантиля χ^2-розподілу становить 0,626. Це означає, що згенеровано контрольну вибірку, яка з ймовірністю 62,6% відповідає нормальному закону розподілу.

Емпіричні ймовірності помилок розпізнавання

$$P\_e_{12} = 0{,}006,\ P\_e_{21} = 0{,}016.$$

Загальна емпірична ймовірність помилки розпізнавання

$$P_e = 0{,}011.$$

Ймовірності правильного розпізнавання

$$P_{11} = 0{,}984,\ P_{22} = 0{,}994.$$

Для того, щоб провести розпізнавання вихідного зображення і результати отримати у вигляді чорно-білого зображення, де чорний колір відповідає класу 1, а білий — класу 2, необхідно скласти вирішальне правило. Пошук контурів проводять методом «жука», алгоритм методу реалізований з використанням програмного продукту MATLAB (рис. 7).

Отже, площа отриманої фігури містить 1333 пікселя. Для того щоб розрахувати відхилення необхідно виміряти відстань від контуру фігури до кола і квадрату (рис. 8).

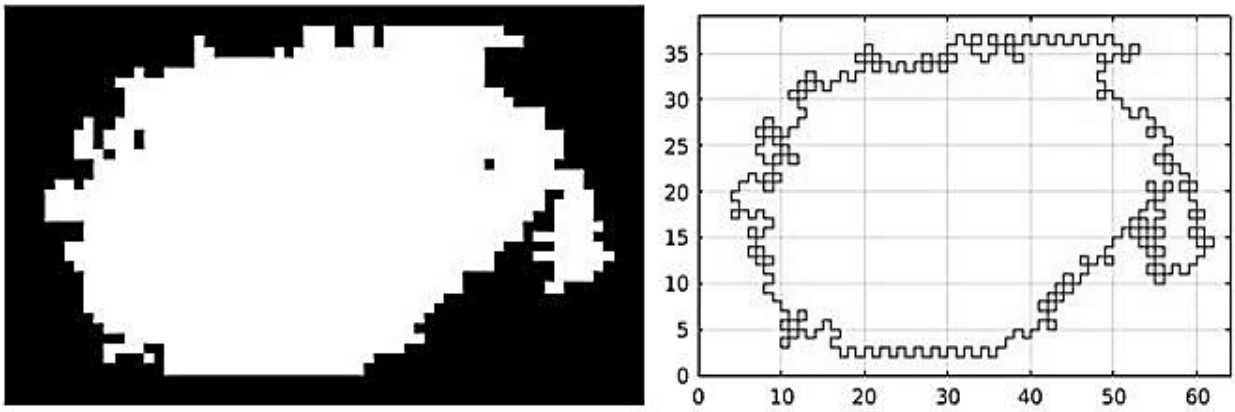


Рис. 7. Розпізнавання вихідного зображення за ознакою H
та виділення контуру хмари методом «жука»

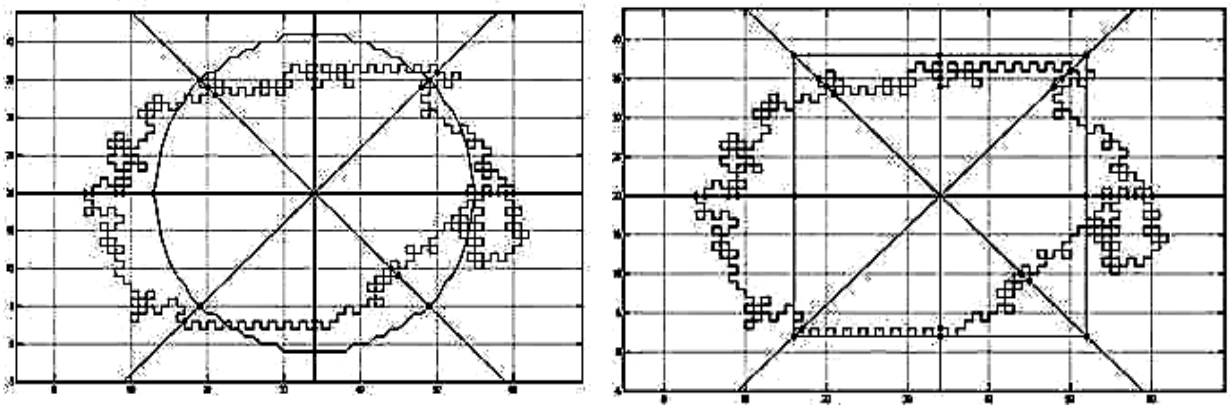


Рис. 8. Порівняння контуру хмари з колом та квадратом

В результаті обчислень відхилення становить:
– від квадрата $\Delta_{кв} = -2{,}0666$,
– від кола – $\Delta_{коло} = -1{,}0305$.

Можна зробити висновок про те, що для опису даного хмари краще використовувати коло, ніж квадрат.

Висновки

Визначення оптимального періоду замовлення космічних знімків високої якості на основі запропонованих картографічних моделей значно скорочує затрати на вирішення тематичних ГІС-задач.

Вивчення типів хмарності з використанням запропонованої методики дає можливість відслідковувати динаміку та процес утворення будь-яких видів хмар та з високою ймовірністю безпомилковості передбачати небезпечні атмосферні явища.

За рахунок цього підвищується ефективність керування повітряним рухом та використання даних дистанційного зондування Землі у всіх сферах життєдіяльності людства.

Використання знімків супутників NOAA є сприйнятливим для вирішення зазначених задач завдяки наданню зацікавленим користувачам у відкритому доступі, достатній інформативності щодо створення запропонованих картографічних моделей і розпізнавання типу хмар за їх формою.

Запропоновані принципи побудови картографічних моделей хмарного покриву з урахуванням часових періодів виконання зйомки рекомендується додати до класифікатору тематичних ГІС-задач та до атласу хмар у якості орієнтиру по датах замовлення космічних знімків високої якості.

Перспективи подальших досліджень — розробка методики побудови картографічних моделей для визначення оптимальних періодів космічної зйомки підстильної поверхні заданих областей (територій певної держави-замовника) на основі статистичних даних метеорологічних станцій та даних дистанційного зондування Землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрєєв С. М. Методика застосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей / С. М.Андрєєв, В. А. Жилін, А. С. Топчий // Системи управління, навігації та зв'язку : збірник наукових праць. – Полтава : Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2018. – Вип. 1(47) – С. 3-7.
2. Методика разработки картографических моделей парковых зон / С. М. Андреев, Г. В. Дмитерко, В. А. Жилин, С. И. Овчаренко // Системи обробки інформації : збірник наук. праць. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 12(137) – С. 6-14.
3. Мальцев К. А. Основы работы в программе Surfer 7.0: Учебно-методическое пособие / К. А. Мальцев. – Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2008. – 24 с.
4. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer / сост. И. А. Иванова, В. А. Чеканцев. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. − 92 с.
5. Мальцев К. А. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): Учебное пособие / К. А. Мальцев, С.С. Мухарамова. — Казань: Казанский университет, 2014. — 103 с.
6. Измерение облачности на снимках, полученных со спутника SPOT — 4 / Е. А. Мальцев, Э. Е. Сиротин, Д. А. Перфильев, Г. М. Цибульский // Журнал Сибирского федерального университета. – 2011. – №2 (5). – С. 229-242.
7. Об опыте автоматического статистического распознавания облачности / Н. Н. Апраушева, И. А. Горлач, А. А. Желнин, С. В. Сорокин // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1998. – № 10 (38). – С. 1788-1792.
8. Астафуров В. Г. Классификация облаков по спутниковым снимкам на основе технологии нейронных сетей / В. Г. Астафуров, А. В. Скороходов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — № 1 (8). — С. 65-73.
9. Демидова Л. А. Сегментация спутниковых изображений с применением аппарата теории нечетких множеств / Л. А. Демидова, Н. И. Нестеров, Р. В. Тишкин // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — 2012. — № 3. — С. 11-17.
10. Ветров А. А. Сегментация облачных объектов на панхроматических изображениях земной поверхности / А. А. Ветров, А. Е. Кузнецов // Цифровая обработка сигналов. – 2011. – № 3. – С. 32-36.
11. Математические методы распознавания образов: Курс лекций. / А. Е. Лепский, А. Г. Броневич. – Таганрог: Издательство ТТИ ЮФУ, 2009. – 155 с.
12. Мицель А. А. Непараметрический алгоритм текстурного анализа аэрокосмических снимков / А. А. Мицель, Н. В. Колодникова, К. Т. Протасов // Изв. Томского политехнич. ун-та. – 2005. – № 1 (308). – С. 65-70.

REFERENCES

1. Andreev, S.M., Zhilin, V.A. and Topchiy, A.S. (2018), "Method of using computer vision libraries for constructing cartographic models", *Systems of control, navigation and communication*, No. 1 (47), PNTU, Poltava, pp. 3-7.
2. Andreev, S.M., Dmyterko, G.V,, Zhilin, V.A. and Ovcharenko, S.I. (2015), "Methodology for the development of cartographic models of park areas", *Information processing systems*, No. 12 (137), KhAFU, Kharkiv, pp. 6-14.
3. Maltsev, K.A. (2008), *Fundamentals of work in the program Surfer 7.0 drive tutorial*, Kazan State University, Kazan, 24 p.
4. Ivanova, I.A. and Chekantsev, V.A. (2008), *The solution of geological problems with the use of the Surfer software package drive tutorial*, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 92 p.
5. Maltsev, K.A. (2014), Construction of models of spatial variables with application of the Surfer package drive tutorial, Kazan University, Kazan, 103 p.

6. Maltsev, E.A., Sirotin, E.E., Perfilev D.A. and Tsibulsky, G.M. (2011), “Measurement of cloudiness in images obtained from the SPOT-4 satellite”, *Journal of the Siberian Federal University*, No. 2 (5), pp. 229-242.
7. Aprausheva, N.N., Gorlach, I.A., Zhelnin, A.A. and Sorokin S.V. (1998), “On the experience of automatic statistical recognition of clouds”, *Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics*, No. 10 (38), pp. 1788-1792.
8. Astafurov, V.G. and Skorokhodov, A.V. (2011), “Classification of clouds from satellite images based on neural network technology”, *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, No. 1 (8), pp. 65-63.
9. Demidova, L.A., Nesterov, N.I. and Tishkin, R.V. (2012), “Segmentation of satellite images using the apparatus of the theory of fuzzy sets”, *Bulletin of the Ryazan State Radio Technical University*, No. 3, pp. 11-17.
10. Vetrov, A.A. and Kuznetsov, A.E. (2011), “Segmentation of cloud objects on panchromatic images of the Earth's surface”, *Digital Signal Processing*, No. 3, pp. 32-36.
11. Lepsky, A.E. and Bronevich, A.G. (2009), *Mathematical methods of pattern recognition*, Southern Federal University, Taganrog, 155 p.
12. Mycel, A. A., Kolodnikova, N.V. and Protasov K.T. (2005), “Nonparametric algorithm for the texture analysis of aerospace images”, *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, No. 1 (308), pp. 65-70.

Received (Надійшла) 23.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.04.2018

Разработка методики определения типов облачности для заказа оптимального временного периода космической съемки

С. М. Андреев, Д. А. Волотовская, В. А. Жилин

Предметом исследования является методика определения типов облачности по данным, полученным со спутников Национального управления океанических и атмосферных исследований Министерства торговли США. **Объектом исследования** является мониторинг оптико-метеорологических характеристик облачной атмосферы на основе космических снимков. **Целью работы** является повышение результативности изучения облачного покрова и повышения информативности метеорологических данных для поддержки принятия решений в задачах метеорологии, управления воздушным движением и использования данных дистанционного зондирования Земли в различных сферах функционирования социума. Для достижения поставленной цели решены следующие частные задачи: создание картографических моделей облачности и подстилающей поверхности с учетом временных периодов выполнения съемки; проведение анализа существующих признаков распознавания облачности на космических снимках; разработка и практическая реализация методики определения по космоснимкам форм облаков и оптимального периода съемки облачного покрова. Картографические модели облачности с учетом периодов съемки дают информацию об оптимальном заказе цифровых данных, что значительно сокращает затраты и оптимизирует работу со спутниковой информацией. **Выводы:** определение оптимального периода заказа снимков высокого качества на основе предложенных картографических моделей значительно сокращает затраты на решение тематических задач геоинформационных систем . Изучение типов облачности с использованием предложенной методики дает возможность отслеживать динамику и процесс образования всех видов облаков и с высокой вероятностью безошибочности прогнозировать опасные атмосферные явления. За счет этого повышается эффективность управления воздушным движением и использования данных дистанционного зондирования Земли во всех сферах жизнедеятельности человечества.

Ключевые слова: картографические модели; облачный покров; подстилающая поверхность; временные периоды космической съемки.

Development of the clouds types determination method for ordering the optimal temporary period of space shooting

S. Andreev, D. Volotovskaya, V. Zhilin

The subject of the study is a method for determining the types of cloudiness based on data from satellites National Oceanic and Atmospheric Administration of the US Department of Commerce. **The object of the study** is to monitor the opto-meteorological characteristics of cloudy atmosphere on the basis of space images. **The purpose of the work** is to increase the effectiveness of the study of cloud cover and increase the informativity of meteorological data to support decision-making in meteorology, air traffic control, and the use of Earth remote sensing data in various spheres of the functioning of society. In order to achieve this goal, the following partial tasks were solved: the creation of cartographic models of clouds and the underlying surface, taking into account the time periods of the photographing; conducting analysis of existing signs of cloud recognition on space images; development and practical implementation of the method for determining cloud forms and the optimal time period for photographing the cloud cover. Cloud templates that define shooting periods provide information about the optimal time of digital data ordering, which greatly reduces costs and optimizes the work with satellite information. **Conclusions:** determining the optimal time period for ordering high quality images based on proposed cartographic models significantly reduces the cost of solving thematic tasks of geographic information systems. The study of the types of clouds using the proposed methodology makes it possible to trace the dynamics and the process of formation of any types of clouds and with a high probability of non-falsity to predict dangerous atmospheric phenomena. This increases the effectiveness of air traffic control and the use of remote sensing data in all areas of human life.

Keywords: cartographic models; cloud cover; surface of the landscape; time periods of space survey.

UDC 004.728:519.87 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.20**

V. Donets, N. Kuchuk, S. Shmatkov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF SOFTWARE OF E-LEARNING INFORMATION SYSTEM SYNTHESIS MODELING PROCESS

The article reflects the results of the study of the created model of the information structure of the system of support. The model allowed to carry out the process of modeling the synthesis of the information system e-learning. A program with a graphical user interface for the synthesis model of the e-learning information system was used for modeling. The program uses the parameters of the hyperconvergent base network and the e-learning system as the input. The result of the synthesis is the optimal placement of users, applications and data blocks by the nodes of the base network. This takes into account the capacity of the system's transactions. This optimizes the capacity of nodes. As a result, the effiency support of the e-learning system is increasing. The structure of the hyperconvergent base network e-learning support network is considered as the main factor that affects the quality of the system's requests. Therefore, it is important to analyze the structure when choosing options for building a hyperconvergent base network and its management. The main purpose of the structure analysis is to determine the parameters of the data streams in the network communication channels. The obtained results are necessary for an adequate estimation of network channels and nodes capacity. Data streams form e-learning tasks, which use applications that launch on network nodes and generate network traffic.

Keywords: e-learning, modeling; hyperconverting network; genetic algorithm; software.

1. Setting objectives

In accordance with the developed model of the information structure of the system e-learning [1], deployed on a hyperconverting server the criterion for evaluating this structure is the balance of the load on the nodes. Indicator function is the sum of deviations of nodes loading from the average load. The lower the download variance index, the higher the quality performance of the e-learning system. With the aim of obtaining the most effective structure of the basic support network e-learning and adding to this knowledge about the genetic algorithm we can say about indicator of the efficiency of the structure of the basic network is the value of the fitness function in the genetic algorithm.

From here we have input data. This is information about the number of applications (A), users (U), transactions (E), nodes (N) and data stores (D) functioning in the e-learning system. We also need information about transactions. There are some applications ($\overline{a_e} = (a_{e1},...,a_{eA})$) and data stores ($\overline{d_e} = (d_{e1},...,d_{eD})$)are used. Also the order of application launch ($\overline{W_e} = (w_{ij})$). But this is not enough. We need to have an idea of the functioning of each application in a particular transaction. This requires knowledge of the volumes of data exchange ($A_{ae} = \langle \overline{\lambda_{ae}}, \overline{\beta_{ae}} \rangle$, де $\overline{\lambda}_{ae} = (\lambda_{ae1},...,\lambda_{aeD})$ і $\beta_{ae} = (\beta_{ae1,...,}\beta_{aeA})$). In order to simulate the real functioning of the system. With its user interaction, we need the user-initiated transaction intensities.

After working the genetic algorithm with the original data which will characterize the structure of the basic support e-learning network will accommodate users (H), applications (G), data stores (S) by the nodes of the network. All this together will form a tuple model of the information system e-learning:

$$\Im = \langle M_U, M_N, M_E, M_D, \{E_e\}, \{A_{ae}\}, G, H, S \rangle \text{ [1].}$$

2. The algorithm of the synthesis of the e-learning system

The genetic algorithm is based on the algorithm for the synthesis of the model of the information structure of the e-learning system. A stop for the algorithm will be the condition of the number of generations. Or approximation to the objective value of a fitness function.

It remains to look at the algorithm for calculating the value of the fitness function. Having all the necessary data, we will do the following

1. By the intensity matrix of the start of transactions by users

$$\left(\Omega = \left(\omega_{i,j}\right); \omega_{i,j} \geq 0; i = 1,...,U; j = 1,...E\right)$$

total intensity of requests to start the j-th transaction:

$$\overline{\omega} = \left(\omega_{i,j}\right), \omega_{i,j} = \sum_i^U = 1\omega_{i,j} \quad (1)$$

2. Find the total intensity of k-th application start-up (k = 1, …, A) all system transactions, here $a_{j,k}$ – boolean vector of required applications for j-th transaction:

$$\theta = \left(\theta_k\right), \theta_k = \sum_{j=1}^E \omega_j \alpha_{j,k} \quad (2)$$

3. functioning of j-th transaction on information nodes n and m (n, m = 1, …, N):

$$Z_{jnm1} = \sum_{\xi=1}^A \alpha_{j,\xi} g_{\xi,n} \left(\sum_{\eta=1}^D \alpha_{j,\eta} g_{\eta,m} \beta_{\xi,\eta}\right) \quad (3)$$

4. Define for (j, n, m) the volumetric data that are transmitted from the data store:

$$Z_{jnm2} = \sum_{\xi=1}^A \alpha_{j,\xi} g_{\xi,n} \left(\sum_{\eta=1}^D d_{j,\eta} s_{\eta,m} \lambda_{\xi,\eta}\right) \quad (4)$$

5. Then the volumetric data in the network can be determined by the formula:

$$Z = \left(Z_{n,m}\right), Z_{n,m} = \sum_{j=1}^{E} \left(Z_{jnm1} + Z_{jnm2}\right) . \quad (5)$$

6. We construct the intensity matrix of the exchange between the information network nodes runtime the j-th transaction:

$$C_j = \left(C_{j,n,m}\right), C_{j,n,m} = \omega_j Z_{j,n,m}. \quad (6)$$

7. The loading matrix for information nodes is determined by the formula:

$$C = \left(C_{n,m}\right), C_{n,m} = \sum_{j=1}^{A} C_{j,n,m} \quad (7)$$

8. Determine the average load of one network node:

$$C_{cp} = \left(\sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{N} C_{n,m}\right) / N . \quad (8)$$

9. Define the characteristic of the system. The criterion is the load balancing of the nodes. The indicator is the sum of the deviations of the load from the mean:

$$\Psi = \sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{N} \left| C_{n,m} - C_{cp.} \right| . \quad (9)$$

10. So, we have a fitness function for the genetic algorithm:

$$\Psi \to \min . \quad (10)$$

11. Also, we calculate the load of nodes in the network. The intensity of the request flow for running the i application installed on the node n:

$$B = \left(b_{i,n}\right) = \theta_{\partial ia\partial.} G, b_{i,n} = \theta_i g_{i,n} . \quad (11)$$

12. Loading nodes with data repository elements: j-transaction, n- node, d- data stores:

$$\phi_{j,n,d} = \theta_j S_{n,d} d_{j,n} . \quad (12)$$

13. Then, to the data block d on node n, the intensity of requests to the data store is equal to:

$$\varphi = \left(\phi_{n,d}\right), \phi_{nd} = \sum_{j=1}^{E} \phi_{j,n,d} . \quad (13)$$

3. Diagram of options for using a computer program

Let's consider the usage diagrams. They describe the relationships and dependencies between the groups of use options and the participants. Which are involved in the process. Usage diagrams are not intended to display the project and can not describe the internal device system. Usage diagrams are designed to simplify interaction with users and clients. Especially useful for determining the necessary characteristics of the system. Usage diagrams indicate what the system should do without specifying the methods themselves [2, 3].

The use case describes a group of actions in the system. Which lead to a concrete result. Usage options are descriptions of typical interactions between system users and the system itself. They reflect the external interface of the system.

Specify the form of what the system should do. Rules at work:

- each use case refers to at least one user
- each use case has an initiator
- each use case leads to the corresponding result (the result with a "business value").

Use cases can also interact with other uses. The most common types of interaction include:

1. Enable - indicates that the use case is embedded in another use case.

2. Adding - indicates that in certain situations or at a specific point (called an extension point) the use case will be extended by another.

3. Generalization - indicates that the use case inherits the characteristics of the "parent" use case and can override some of them or add new ones, similar to inheritance in classes.

The person acting is an external source (not an element of the system) that interacts with the system through the use case. Actors can be either real people (for example, users of the system), or other computer systems or external events [4, 5].

Actors do not represent individuals or systems, but their roles. When a person interacts with the system in various ways. It is displayed by several characters. For example, a person who works in the customer service and receives orders from customers. It will be displayed in the system as a "member of the support department" and "member of the sales department" [6].

Considering the knowledge of the diagram of usage options and information about the obtained model of synthesis of the information system of e-learning. We will get a diagram of the use cases (Fig. 1). This will help in the future to develop a synthesis program.

4. A class diagram that was used in design

Class diagram - displays system classes. Their attributes, methods and interrelationships between them. There are different points of view on the construction of class diagrams. It depends on the purposes of their application [5, 7]:

- Conceptual point of view. The class diagram describes the model of the subject domain. Only application application classes are present in it.
- View point of the specification. A class diagram is used in the design of information systems.
- The point of view of implementation. The class diagram contains classes. They are used directly in the program code).

In the future, a viewpoint for implementation will be used to construct a class diagram. Which will describe the necessary classes and interrelationships between them.

To specify the visibility of members of a class, these notation must be placed before the participant's name [4, 7]:

«+» –public;
«-» –private;
«#» –protected;
«/» –derived;
«~» –package.

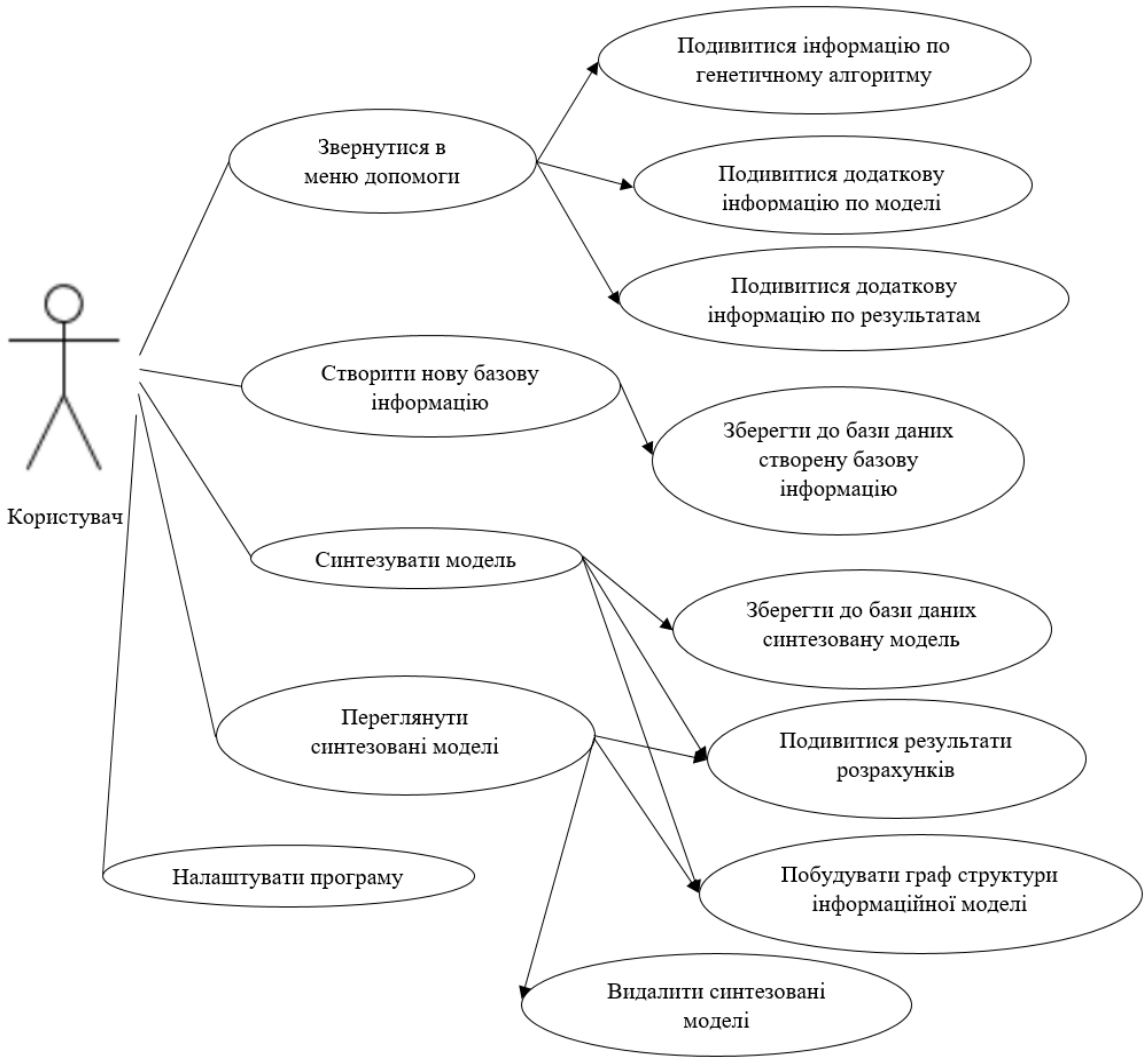


Fig. 1. The developed diagram of the use of the program synthesis of the information system e-learning

Interconnection is a special type of logical relationship between entities, shown on the charts of classes and objects. Relationships in UML are depicted in fig. 2.

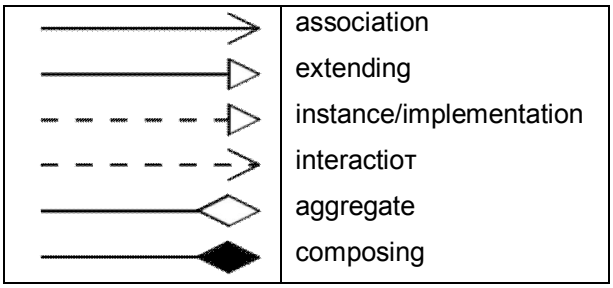


Fig. 2. Types of relations in UML

Having an idea of the class diagram and the structure of the model. With a genetic algorithm, we have a class diagram (Fig. 3). It depicts the classes necessary for the functioning of the genetic algorithm. We also need to store the basic information and results of the synthesis of the information structure of the e-learning system in the database. To do this, we have a diagram of the classes in Fig. 4. It is also necessary to arrange the graphical interface of the program. For user-friendly operation. In this case, the MVC programming pattern was used. This will allow you to make convenient transfers and extensions of the program. The corresponding diagram of classes is presented in Fig. 5

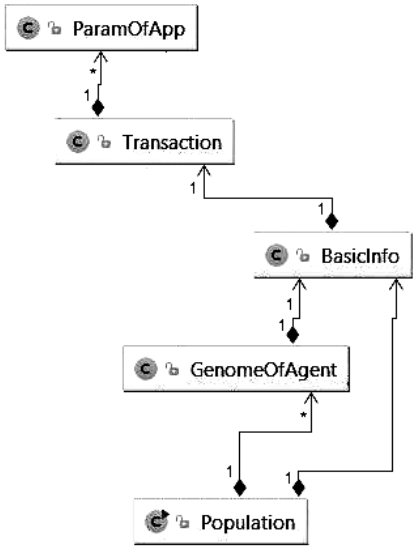


Fig. 3. Diagram of the classes necessary for the functioning of the genetic algorithm

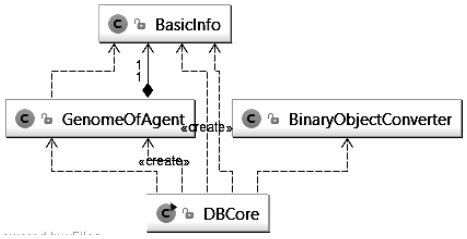


Fig. 4. The diagram of the classes required to work with the database

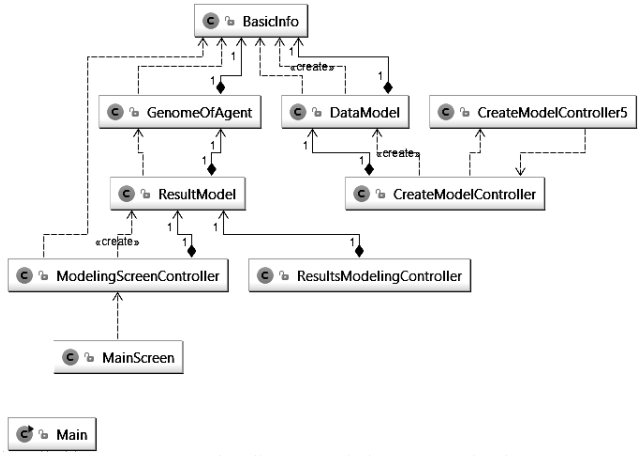


Fig. 5. The diagram of classes required for graphical user interface work.

The database schema is its structure. The scheme is described in a formal language that is supported by the engineering data-base management system. In relational databases, the schema defines tables. Fields in each table and integrity constraints. Schemes are generally stored in a data dictionary. Although the schema is defined in the database language as text. The term is often used to denote a graphical representation of the structure of a database. The main objects of the graphical representation of the schema are tables and links. They are defined by foreign keys. Having about the input and output information of the model is not difficult to draw a conclusion. About the fact that in order to save it to a database, you need a relational database whose schema is shown in Fig. 6.

5. Explanation of the choice of the software programming language

The program will have a large user interface. At the same time, the scheme of the genetic algorithm will have a high cost of resources. Only in the case of a large dimension of the task. Therefore, it is advisable to use the Java programming language. It will be able to ensure the portability of the program with minor losers compared to C / C ++. To create a graphical interface, we will use a platform based on Java - JavaFX. Tables do not have very complex interconnections. Small tables are small. So to use the built-in database. Do not overload an excessive functionality to preserve the benefits of relational databases. Namely SQLite database. Which will also allow you to use the SQL query language.

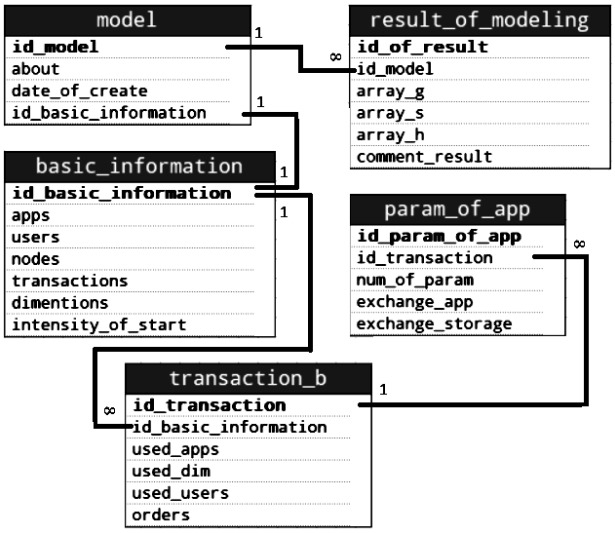


Fig. 6. Database connection that stores input and output data

Conclusions

The developed algorithm for synthesizing the information structure model is presented. The basis of which lies the genetic algorithm. The algorithm with formulas for calculating fitness functions is presented below. He characterizes the fitness of the agent. The formulas for calculating the load on the nodes and network equipment of the system are developed. Also the information on the diagram of variants of use of computer programs is given. According to this information and knowledge of the tuple of the model, a diagram of the program usage options is given. That in the future will help in the development of the program. The chosen point of view of implementation takes into account the genetic algorithm. To create a visual interface, a class diagram has been designed. They are necessary for creating a program. The presented diagram of the developed database with several tables. It is able to store incoming and outgoing data**.**

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шматков С. І. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, В. В. Донець// Системи управління, навігації та зв'язку : науковий журнал. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 2 (48). – С. 97-100.
2. Semenov S. Development of graphic-analytical models for the software security testing algorithm / S. Semenov, O. Sira, N. Kuchuk // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2018. – № 2/4(92). – P. 39-46.
3. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E.Ruchkov // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2016. – P. 1-6. doi : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
4. Kuchuk G. A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G. A. Kuchuk, A. A. Kovalenko, A. A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kyiv: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158-160.

5. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – Вип. 2(35). – С. 97-102.
6. Диаграмма классов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_классов.
7. Mozhaev O. Multiservise network security metric / O.Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136.

REFERENCES

1. Shmatkov, S.I., Kuchuk, N.G. and Donets VV (2018), "Model of information structure of the hyperconvergent system of support of electronic computing resources of university e-learning", *Control systems, navigation and communication*, Poltava, No. 2 (48), pp. 97-100.
2. Semenov, S., Sira, O. and Kuchuk N. (2018), "Development of graphic-analytical models for the software security testing algorithm", *Eastern-European journal of enterprise technologies*, No. 2/4(92), pp. 39-46.
3. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, pp. 1-6, available at : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
4. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Mozhaev A.A. (2010), "An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010)*: Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010, NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, Kyiv, pp. 158-160.
5. Kuchuk, G.A. (2013), "Method of synthesis of the information structure of the coherent fragment of the corporate multiservice network", *Collection of scientific works of the Kharkiv University of Air Forces*, No. 2 (35), pp. 97-102.
6. *Class diagram* (2018), available at : https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_классов (last accessed March 21, 2018).
7. Mozhaev, O., Kuchuk H., Kuchuk, N., Mozhaev, M. and Lohvynenko M. (2017), "Multiservise network security metric", *IEEE Advanced information and communication technologies-2017*. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – pp. 133-136.

Received (Надійшла) 16.04.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Розробка програмного забезпечення процесу моделювання синтезу інформаційної системи e-learning

В. В. Донець, Н. Г. Кучук, С. І. Шматков

В статті відображено результати створеної моделі інформаційної структури системи підтримки електронних освітніх ресурсів e-learning. Відповідно до цієї моделі, була створена модель синтезу інформаційної системи e-learning. Результатом моделювання є програма із графічним інтерфейсом користувача моделі синтезу інформаційної системи e-learning, що приймає на вхід параметри гіперконвергентної базової мережі та системи електронного навчання, а результатом синтезу є оптимальне розташування користувачів, додатків та блоків даних по вузлам базової мережі з урахуванням завантаженості транзакцій системи, що оптимізує завантаження вузлів. Цим самим покращуючи ефективність функціонування системи e-learning. Структура гіперконвергентної базової мережі підтримки e-learning розглядається як основний фактор, що впливає на якість запитів системи. Тому важливо проаналізувати структуру при виборі варіантів побудови гіперконвергентної базової мережі та її управління. Основна мета аналізу структури – визначення параметрів потоків даних в каналах зв'язку мережі. Отримані результати необхідні для адекватної оцінки навантаження каналів та вузлів мережі. Але потоки даних формуються завданнями e-learning, які використовують застосунки, що запускаються на вузлах мережі та генерують ще трафік між собою. Також наведена інформацію про діаграми варіантів використання комп'ютерних програм. Відповідно до цієї інформації та знань про кортеж моделі наведена діаграма варіантів використання програми, що надалі допоможе в розробці програми. **Висновок.** Обрана точка зору реалізації та ураховуючи генетичний алгоритм, необхідність в збереженні результатів та створення візуального інтерфейсу спроектована діаграма класів необхідних для створення програми. Представлена схема розробленої бази даних із декількома таблицями, здатна зберігати вхідні та вихідні дані, та не перевантажена зв'язками.

Ключові слова: e-learning; моделювання; гіперконвергентна мережа; генетичний алгоритм; програмне забезпечення.

Разработка программного обеспечения процесса моделирования синтеза информационной системы e-learning

В. В. Донец, Н. Г. Кучук, С. И. Шматков

В статье отражены результаты исследования созданной модели информационной структуры системы поддержки электронных образовательных ресурсов e-learning. Данная модель позволила осуществить процесс моделирования синтеза информационной системы e-learning. Для моделирования использовалась программа с графическим интерфейсом пользователя модели синтеза информационной системы e-learning. Программа в качестве входных данных использует параметры гиперконвергентной базовой сети и системы электронного обучения. Результатом синтеза является оптимальное размещение пользователей, приложений и блоков данных по узлам базовой сети. При этом учитывается загруженность транзакций системы. Это оптимизирует загрузку узлов. В результате увеличивается эффективность функционирования системы e-learning. Структура гиперконвергентной базовой сети поддержки e-learning рассматривается как основной фактор, который влияет на качество запросов системы. Поэтому важно проанализировать структуру при выборе вариантов построения гиперконвергентнои базовой сети и ее управления. Основной целью анализа структуры является определение параметров потоков данных в каналах связи сети. Полученные результаты необходимы для адекватной оценки нагрузки каналов и узлов сети. Потоки данных формируют задачи e-learning. Задачи используют приложения, которые запускаются на узлах сети и генерируют сетевой трафик.

Ключевые слова: e-learning; моделирование; гиперконвергентная сеть; генетический алгоритм; программное обеспечение.

UDC 624.4 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.21**

A. Kovtun, V. Tabunenko, S. Melnikov

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

APPLICATION OF THE EMBEDDED MECHANICAL SYSTEMS FOR ENSURING THE PRESERVATION OF MILITARY EQUIPMENT PRODUCTS UNDER DYNAMIC IMPACTS

In the process of providing combat operations, the designs of military equipment products are subject to significant effects of both regular and non-regular dynamic loads, which can lead to their mechanical destruction. Among the dynamic loads acting on military hardware products, it is possible to identify short-term, caused by explosive and shock effects, and long-term vibrational loads that arise during transportation. As a result, there is the problem of ensuring the conservation of mechanical products of military equipment under dynamic impacts during the preparation and conduct of combat operations. The impact of a shock wave on military hardware products has a complex dynamic nature, depending on the wave parameters and the features of the object under consideration. Various results of this impact are possible, such as product destruction, turnover, change in the nature of motion, and others. The conservability of products with respect to the air shock wave is established experimentally. In addition to explosive loads, shock loads affect military equipment. In accordance with this, consider the local and general action of the thrust. Local action is characterized by the occurrence of local deformations and structural damage. The general action is accompanied by significant general deformations and destruction of the entire construction. The effect of prolonged vibration loads on military hardware products is mainly related to transportation processes. With prolonged cyclic loading, the destruction of the material of the structural elements can occur also at a stress amplitude less than the elastic limit. The article gives a definition of embedded mechanical systems and formulates their basic properties, which allow us to propose a hypothesis that in order to ensure the mechanical storage of products subject to dynamic influences, it is necessary to use embedded mechanical systems. Based on the nesting principle of mechanical systems, a method for increasing the retentivity of military equipment was proposed. The use of nested mechanical systems makes it possible to ensure the mechanical retention of military equipment by reducing the total energy supplied to the allowable value for the product to be stored.

Keywords: a mechanical system, an elasticity, a plasticity, a deformation, a dynamic loading, mechanical storage of products, means of destruction, products of military equipment, a shock wave impact, embedded mechanical systems, an aggregate state, a physical state, nesting principle of mechanical systems.

Formulation of the problem

Despite the intensive development of modern methods of conducting armed struggle and developing weapons on new physical principles, advanced conventional weapons are in service with modern armies. Therefore, the actual tasks remain to develop modern means of ensuring the retention of military equipment products damaged by dynamic loads.

Among the dynamic loads acting on military hardware products, it is possible to single out short-term, caused by explosive and shock effects, and long-term vibration loads that arise during the transportation of military equipment.

Explosive loads are caused by the action of a shock wave. The study of the interaction of the shock wave with military hardware products was started with the advent of explosives and is aimed at determining the distance from the center of the explosion to the product on which the product is not damaged. As a result of the studies, dependencies were obtained to determine the stress-strain state of military equipment products (MEP) [1, 2]. The impact of the shock wave on MEP is of a complex dynamic nature, depending on the wave parameters and the features of the object. Various results of this impact are possible: product destruction, turnover, change in the nature of motion, etc. The retention of products with respect to the air shock wave is established experimentally. According to the data of work [2], the resistance of land vehicles is 0.025 - 0.035 mPa.

In addition to explosive loads, on the MEP is operated shock loads. The main differences between shock impacts and explosive:

- interaction of the impact body with the construction;
- limited load area of application;
- short exposure time;
- peculiar wave processes arising in the construction [3].

In accordance with this, it is consider the local and general impact of the thrust. Local action is characterized by the occurrence of local deformations and structural damage. The general action is accompanied by significant general deformations and destruction of the entire construction. The main difference between the destruction of structural elements under static and dynamic influences is that under static loading the destruction of structural elements is characterized by some average voltage across the section. Under dynamic loading, the destruction of the structural element is determined by the local value of the voltage, which can greatly exceed the average value of the exertions [4]. As noted in [3], in view of the great complexity of taking into account the phenomena accompanying the action of impact loads and associated mainly with the spreading of waves, now, empirical dependencies are used mainly to determine the possibility of conservation of objects under shock effects.

The effect of long vibrational loads on MEP are mainly related to the transportation processes. With a

prolonged vibration loading of the elements of MEP, formation and accumulation of structural deformations is possible. If under this loading the amplitude of the stresses exceeds the elastic limit of the material of the structure, then this accumulation, according to the data of work [4], becomes intensive. As a result, with a relatively small number of cycles, material can be destroyed at exertions less than the tensile strength. With prolonged cyclic loading, such destruction of the material of the structural elements can occur also at a voltage amplitude less than the elastic limit. In the interval between the limits of elasticity and strength, the level of stress oscillations exerts a great influence on the mechanism of structural destruction. At an exertion level close to the ultimate strength of the material, the destruction of the structure occurs practically either during the first cycle or (due to hardening of the material) after several cycles [4].

According to the data of works [3, 4], when transporting MEP by motor vehicles, the peak values of transverse overloads in such modes can reach relatively large values. Therefore, in the presence of tearing off the wheels from the roadway and the subsequent impact, they can reach values of 3-4, with the maximum allowable amount of overload for many products, for example, missile technology - 2. The destruction of structures encountered in practice is due to a number of reasons. Among these reasons [5]:

- insufficient accuracy of design methods;
- not taking into account the actual regime and the level of loads acting on the structural elements;
- imperfection of materials and technological processes leading to the production of structural elements to the deviation of material properties from calculated and the appearance of defects;
- deviation from the standard operating conditions, expressed in excess of the design loads;
- untimely and poor quality of maintenance and repair;
- the ungroundedness of the criteria of destruction and safety reserves.

Important information to eliminate the causes of structural damage is their analysis. The analysis of destructions allows revealing the causes of destruction of specific products of machinery, to exclude them in the future and to develop appropriate scientific research to study the physical processes that take place, and on this basis, to increase the level of structural stability.

In the literature, many cases are known where the destruction that took place stimulated the development of new scientific directions. For example, the destruction of ship hulls stimulated the development of fracture mechanics, the destruction of structures under conditions of oscillations led to the development of the theory of self-oscillations, fatigue destruction of aircraft - to the development of studies of low cycle fatigue, etc. Studies of the processes of particular relevance are destruction of high-pressure vessels (including the case of nuclear reactors) and pipelines operating at high pressures. Analysis of the causes of possible destruction of high-pressure vessels, which are the accumulator of mechanical energy, was carried out in work [6].

In the general case, structural failure occurs when excessive mechanical energy is applied to it. Therefore, the solution of the problem of ensuring the mechanical stability of structures is associated with solving the problems of developing structures designed for accumulating mechanical energy.

Analysis of the destruction of structures designed to store mechanical energy has made it possible to single out one of the common properties inherent in various mechanical systems designed to store mechanical energy (gas-water-fuel pipes, tanks, gas cylinders, etc.). This property is called the embedding properties of mechanical systems.

Thus, in the process of providing combat operations, the design of MEP are exposed to significant dynamic loads (both normal and not regular) that can lead to their mechanical destruction. In connection with this, the problem of ensuring the mechanical retention of military equipment products with dynamic influences in the process of preparation and conduct of combat operations becomes a number of top priorities. The theory of dynamic interaction of structural elements requires its further development, and the problem of ensuring the retentivity of MEP under dynamic loading is its solution.

The scientific basis for research into the process of ensuring the mechanical retention of military equipment products under dynamic impacts is: the theory of elasticity, plasticity and strength of materials, the theoretical basis for maintaining the retention of military equipment while conducting combat operations, the theory of sample reliability, mathematical modeling, mathematical planning of experiments [6].

The purpose of the article is to investigate the possibility of using nested mechanical systems to ensure the persistence of MEP under the action of dynamic loads.

The main material

By embedded mechanical systems (EMS), we mean mechanical systems, some of which are located inside others. Although this criterion is absent in the generally accepted classification of mechanical systems, EMS are widely used in the national economy and military equipment. The main feature of the EMS is the possibility of forming a system of substances that are in a different aggregate state (there are EMS type "Solid body-Gas", "Solid-Liquid", and “Solid-solid"). However, solid bodies play a special role in the technique. As is known, they have the ability to maintain (with constant temperature and load) its shape and dimensions. In the vast majority of technical products, the executive organs of machines and mechanisms are solid bodies [5, 6]. Even in cases where the actuating element is liquid or gas, they receive directed motion only because of interaction with a certain system of solids. The combination in a single mechanical system of substances in a different aggregate state, the external of which is in a solid state, leads to the appearance of certain properties in the system. The main properties of EMS can be formulated as follows:

1. Closures (nested mechanical systems can consist of substances in different aggregate states, however, the outer body must be in a solid state).

2. Accumulation (nested mechanical systems can accumulate mechanical energy).

3. Dependence (the amount of stored (accumulated) mechanical energy in embedded mechanical systems is determined by the mechanical properties of the external body).

4. Direction (embedded mechanical systems allow the transfer of stored) mechanical energy in a given direction.

The formulated properties of the EMS allow us to propose a hypothesis that in order to ensure the mechanical retention of products subject to dynamic influences, it is necessary to use the EMS.

On the basis of this hypothesis, it is possible to formulate the principle of nesting of mechanical systems: the required distribution of the total energy brought to the mechanical system to the allowable for individual elements of the system can be achieved by placing some elements of the mechanical system inside others. In a mathematical formulation, the formulated principle can be written in the form:

$$E_{\Sigma} = E_{add.} + \sum_{i=1}^{n} E_i \,, \qquad (1)$$

where E_{Σ} – total energy, transferred to the object; $E_{add.}$ – energy, which can be perceived by the stored object; E_i – types of energy conversion in embedded mechanical systems.

The total energy of the system is determined, according to the law of conservation of energy for a system of interacting particles [9]:

$$E_{\Sigma} = T + U_{из.} + U_{вн.}, \qquad (2)$$

where T – kinetic energy of the system; $U_{из.}$ – particle interaction energy; $U_{вн.}$ – potential energy of external conservative forces.

Allowable energy $E_{доп.}$ characterizes the energy that can be perceived by the object. In this case, the object should not lose its ability to function normally during the entire period of operation. The property of an object to withstand a certain load can be quantified, in general, by a vector function of the bearing capacity adequate to the corresponding vector function of external loading.

The principle of nesting of mechanical systems makes it possible to increase the operability of structures in those cases when the strength of the material limits the further increase in the operability of structures. This principle is more general in relation to known principles [6, 10]:

– the principle of the use of composite rods;

– the principle of fastening of structures;

– the principle of auto-fretting;

– the principle of combining vessels.

At present, the theoretical development of each of the listed principles can be considered complete. From the point of view of the principle of nesting of mechanical systems, all listed types of structures should be considered as constructions subject to a uniform calculation technique and to unified design principles. In this case, the task is not limited to the methodical method of combining individual theories into a single whole. It is possible that when revising these theories from the point of view of a single principle, changes in design and design provisions are possible. In addition, the application of the principle of nesting mechanical systems when considering the structure as a whole will make it possible to simplify the solution of the question of the strength of the structure.

The following provisions can concretize the content of the nesting principle of mechanical systems.

1. Geometric scheme. The principle of nesting of mechanical systems can be depicted as a geometric scheme in which the elements of the EMS can be divided among themselves or in contact (partially or completely).

2. The physical scheme. The materials of the EMS elements, as well as the material of the substance filling the elements, can be of different density and different physical state: solid, liquid, gaseous, with the exception of the outer element, which is in a solid state.

3. The physical scheme. The materials of the EMS elements, as well as the material of the substance filling the elements, can be of different density and different physical state: solid, liquid, gaseous, with the exception of the outer element, which is in a solid state.

4. Material state diagram. The material of the elements of the EMS can combine any state that preserves or changes the external form in accordance with the specified conditions.

5. Loading scheme. Elements of the EMS can be presented to those subject to various force impacts and various deformations.

To improve the efficiency of structures under the action of dynamic loads, it is possible, using the nesting principle of mechanical systems and, based on it, the method of constructive solution of the issues of ensuring the mechanical retention of the MEP in cases where the strength of the construction material limits the increase in external loads. In this case, two important tasks are solved:

1) with a material of the highest strength, to take even greater efforts than can be tolerated for the usual type of structures;

2) when perceiving known (limited) efforts, use less durable material.

These problems will be considered a single cycle of problems, the solution of which is methodologically subject to a single method.

The essence of this method, called the method of directional compliance, and its target orientation can be characterized as an increase in the mechanical retention of MEP under the action of dynamic loads by applying the design of the nesting principle of mechanical systems. Let us consider a general method for solving problems of ensuring the mechanical retention of military equipment products under the action of special dynamic loads. Figure 1 shows a diagram of the MEP designed to perceive a concentrated or distributed dynamic load.

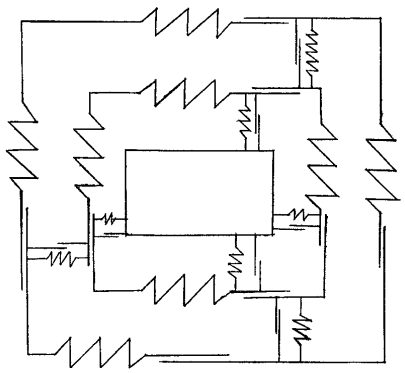


Fig. 1. Scheme of the embedded mechanical system

The total energy transferred to the embedded mechanical system under dynamic action is recorded in the form (1). The damping (transformation) of the energy of dynamic impact can occur due to the following components: E_1 – energy of elastic deformation of elements of the EMS; E_2 – the energy of destruction of some elements destined for destruction (without taking into account the energy of elastic deformation); E_3 – energy of elastic deformation of bonds included in the elements of the EMS; E_4 – energy of elastic bonds between elements of the EMS; E_5 – the energy of breaking bonds between elements of the EMS; E_6 – dissipation energy in the relationships between the elements of the EMS; E_7 – the energy of plastic deformations of elements of the EMS; E_8 – the energy of plastic deformation of bonds between elements of the EMS.

If we take:

– number of elements of the EMS - d_1;

– number of elements destined for destruction - d_2;

– the number of elastic bonds included in each element - d_3;

– the number of elastic bonds between two elements - d_4;

– number of links between elements destined for destruction - d_5;

– the number of dissipative bonds between two elements - d_6;

– the number of plastic bonds included in each element - d_7;

– the number of plastic bonds between two elements - d_8,

then the condition of ensuring the retention of the product ($E_{current} < E_{additional.}$), is determined from equation:

$$\sum_{i=1}^{n} E_i = d_1E_1 + d_2E_2 + d_1d_3E_3 + d_4(d_1-1)E_4 + \\ + d_5E_5 + d_6(d_1-1)E_6 + d_1d_7E_7 + d_8(d_1-1)E_8. \quad (3)$$

Expression (3) has a constructive form, indicating a variety of design options for structures operating under the action of dynamic loads. In this way,

$$E_\Sigma = E_{add.} + \\ + d_1E_1 + d_2E_2 + d_1d_3E_3 + d_4(d_1-1)E_4 + \\ + d_5E_5 + d_6(d_1-1)E_6 + d_7d_1E_7 + d_8(d_1-1)E_8. \quad (4)$$

Introducing the generalized safety factor η, the energy, perceived by the protected object is determined using expression:

$$E_0 = h^{-1} \times \\ \times \left(E_\Sigma - \begin{pmatrix} d_1E_1 + d_2E_2 + d_1d_3E_3 + d_5E_5 + \\ + d_4(d_1-1)E_4 + d_6(d_1-1)E_6 + \\ + d_7d_1E_7 + d_8(d_1-1)E_8 \end{pmatrix} \right). \quad (5)$$

The generalized technique of ensuring the mechanical retention of military equipment products under dynamic influences is based on determining the total energy supplied to the object, comparing it with the allowable energy and developing ways to reduce the energy supplied to the product.

Practical application of the proposed method of directional compliance to ensure the mechanical retention of the MEP under the action of small arms and to ensure a non-parachute discharge of goods in the works is considered [11, 12].

Conclusions

The use of nested mechanical systems makes it possible to ensure the mechanical retention of military equipment by reducing the total energy supplied to the allowable value for the product to be stored.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технические основы эффективности ракетных систем / Под ред. Е. Б. Волкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
2. Силаев А. А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин / А. А. Силаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 238 с.
3. Попов Н. Н. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки / Н. Н. Попов, Б. С. Расторгуев, А. В. Забегаев. – М.: Высшая школа, 1992. – 320 с.
4. Гладкий В. Ф. Прочность, вибрация и надежность конструкции летательного аппарата / В. Ф. Гладкий. – М.: Наука, 1975. – 454 с.
5. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара / Я. Г. Пановко. – М.: Наука, 1977. – 233 с.
6. Заярный В. И. Основы теории совмещенных сосудов / В. И. Заярный. – Львов: ЛГУ, 1972. – 124 с.
7. Теребушко О. И. Основы теории упругости и пластичности / О. И. Теребушко. – М.: Наука, 1984. –320 с.
8. Харченко В. С. Теорія надійності та живучості елементів і систем літальних комплексів / В. С. Харченко, А. П. Батуков, І. В. Лисенко. – Х.: ХВУ, 1997. – 403 с.
9. Кузьмичов В. Е. Законы и формулы физики - К.: Наукова думка, 1989. – 862 с.
10. Артиллерийское вооружение. Основы устройства и конструирование / Под ред. И. И. Жукова. – М.: Машиностроение, 1975. – 420 с.

11. Kovtun A. V. Modeling of the high-speed punching drummer barriers as a set of hollow cylinders / A. V. Kovtun, V. A. Tabunenko // Сучасні інформаційні системи. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – Том 1, № 1. – С. 5-10.
12. Ковтун А. В. Разработка перспективных способов доставки грузов в условиях проведении военных (специальных) операций в зоне боевых действий / А. В. Ковтун, В. А. Табуненко, И. А. Радченко // National Security and Military Sciences. – Баку, 2016. – Vol. 2, № 3. – С. 57-66.

REFERENCES

1. Volkov, E.B. (1990), *Technical foundations of the effectiveness of missile systems*, Mashinostroenie, Moscow, 256 p.
2. Silaev, A.A. (1972), *Spectral theory of suspension of transport vehicles*, Mashinostroenie, Moscow, 238 p.
3. Popov, N.N., Rastorguev, B.S. and Zabegaev, A.V. (1992), *Calculation of structures for dynamic and special loads*, Vyshaia Shkola, Moscow, 320 p.
4. Gladky, V.F. (1975), *Strength, vibration and reliability of the aircraft design*, Nauka, Moscow, 454 p.
5. . Panovko, Ya.G. (1977), *Introduction to the theory of mechanical impact*, Nauka, Moscow, 233 p.
6. Zayarny, V.I. (1972), *Fundamentals of the theory of combined vessels*, Lviv State University, Lviv, 124 p.
7. Terebushko, O.I. (1984), *Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity*, Nauka, Moscow, 320 p.
8. Kharchenko, V.S., Batukov, A.P. and Lysenko, I.V. (1997), *The theory of reliability and survivability of elements and systems of aircraft complexes*, KhVU, Kharkiv, 403 p.
9. Kuzmichov, V.E. (1989), *Laws and formulas of physics*, Naukova dumka, Kyiv, 862 p.
10. Zhukov, I.I. (1975), Artillery armament. Fundamentals of the device and design, Mashinostroenie, Moscow, 420 p.
11. Kovtun, A.V. and Tabunenko, V.A. (2017), Modeling of the high-speed punching drummer barriers as a set of hollow cylinders, Advanced Information Systems, NTU "KhPI", Kharkiv, Vol. 1, No.1, pp. 5-10.
12. Kovtun, A.V., Tabunenko, V.A. and Radchenko, I.A. (2016), Development of perspective methods of cargo delivery in conditions of military (special) operations in the combat zone, National Security and Military Sciences, Baku, Vol. 2, No. 3, pp. 57-66.

Received (Надійшла) 23.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.04.2018

Застосування вкладених механічних систем для забезпечення зберігання виробів військової техніки при динамічних впливах

А. В. Ковтун, В. О. Табуненко, С. М. Мельніков

В процесі забезпечення бойових дій, конструкції виробів військової техніки піддаються значним діям як штатних так і не штатних динамічних навантажень, які можуть привести до їх механічного руйнування. Серед динамічних навантажень, що діють на вироби військової техніки, можна виділити короткочасні, такі, що викликаються вибуховими і ударними діями, і тривалі вібраційні навантаження, що виникають в процесі транспортування. У зв'язку з цим існує проблема забезпечення механічної збереженості виробів військової техніки при динамічних діях. У роботі дано визначення вкладеним механічним системам і сформульовані їх основні властивості, які дозволяють висунути гіпотезу про те, що для забезпечення механічної збереженості виробів, схильних до динамічних дій, необхідно застосовувати вкладені механічні системи. На підставі принципу вкладеності механічних систем запропонований метод підвищення збереженості виробів військової техніки. Вживання вкладених механічних систем дозволяє забезпечити механічну збереженість виробів військової техніки, шляхом зниження підведеної повної енергії до допустимої для зберігання виробу.

Ключові слова: механічна система, пружність, пластичність, деформація, динамічне вантаження, механічна збереженість виробів, засоби уразки, вироби військової техніки, дія ударної хвилі, вкладені механічні системи, агрегатний стан, фізичний стан, принцип вкладеності механічних систем.

Применение вложенных механических систем для обеспечения сохраняемости изделий военной техники при динамических воздействиях

А. В. Ковтун, В. А. Табуненко, С. М. Мельников

В процессе обеспечения боевых действий, конструкции изделий военной техники подвергаются значительным воздействиям как штатных так и не штатных динамических нагрузок, которые могут привести к их механическому разрушению. Среди динамических нагрузок, действующих на изделия военной техники, можно выделить кратковременные, вызываемые взрывными и ударными воздействиями, и длительные вибрационные нагрузки, возникающие в процессе транспортировки. В связи с этим существует проблема обеспечения механической сохраняемости изделий военной техники при динамических воздействиях. В работе дано определение вложенным механическим системам и сформулированы их основные свойства, которые позволяют выдвинуть гипотезу о том, что для обеспечения механической сохраняемости изделий, подверженных динамическим воздействиям, необходимо применять вложенные механические системы. На основании принципа вложенности механических систем предложен метод повышения сохраняемости изделий военной техники. Применение вложенных механических систем позволяет обеспечить механическую сохраняемость изделий военной техники, путем снижения подведенной полной энергии до допустимой для сохраняемого изделия.

Ключевые слова: механическая система, упругость, пластичность, деформация, динамическое нагружение, механическая сохраняемость изделий, средства поражения, изделия военной техники, воздействие ударной волны, вложенные механические системы, агрегатное состояние, физическое состояние, принцип вложенности механических систем.

UDC 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.22**

Ya. Obikhod

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

MOBILE USERS' MULTIPLE DETECTION METHOD ON THE BASIS OF THE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION IN THE COGNITIVE RADIO NETWORK

In the article, **the object** is mobile users' multiple detection processes based on the particle swarm optimization in the cognitive radio network. **The aim** of the research lies in the field of the algorithms of the mobile users' detection of the cognitive radio system. In addition, it lies in the area of development of the generalized algorithm PSO-NN and improvement the method of multiple detection by using the particle swarm method and convolutional neural network and its realization. **The tasks** are to develop the multiple detection architecture, the generalized algorithm PSO-NN, to realize the multiple detection algorithm and to model PSO-NN as the algorithm of the multiple detection effectiveness for 50 mobile devices. **The methods** used are mathematical models based on the principles of the organization and operations of biological neural networks, mathematical learn models, and NP-hard algorithm theory methods. **The following results** were received. The multiple detection architecture was developed, which differs from the known ones since each location is divided into the subzones. In the different subzones, a mobile user can receive different measuring results in the same channel. Such a division can be used for more flexible data using. Developed generalized algorithm PSO-NN differs from the known ones as it is configured more correctly for the real conditions that inherent in the architecture of the cognitive systems. This algorithm uses particle swarm optimization controlled by the convolutional neural network. Therefore, strict access to spectrum analysis based on mobile users' energy component is provided. Due to the use of the micro particle architecture and convolutional neural networks, detection effectiveness function and global particle location are detected in a more accurate way. Further implementation of the multiple detection algorithm differs from the known ones since after uniting the detected channel users' matrices, only one user is assigned to a specific channel. Such an implementation assumes more realistic search area and speed of the users' detection with found channels. Modeling PSO-NN as the multiple detection effectiveness algorithm for 50 mobile users has several convolutional layers that were generalised with each other. Such architecture can be a confirmation of the fact that the neural network chosen in a practical way completely satisfies the tasks. The modeling result showed that at 20 locations the detection effectiveness with using the algorithm PSO-NN increased by 10% in 20 locations, by 20% in 25 locations, by 20% in 30 locations, by 20% in 35 locations, while the results did not change in 40 locations.

Keywords: cognitive radio; particle swarm algorithm; convolutional neural network; radio frequency resource; NP-hard class problem.

Introduction

A problem statement. In recent years, the wireless traffic has increased significantly. The results also stated about shortage of radio-frequency resource. According to the current international legislation on the fixed access to the radio-frequency spectrum, only licensed users can use it. At the same time, when the radio-frequency spectrum is not used, non-licensed users cannot use the radio-frequency recourse. Such a spectrum distribution policy leads to a low density of the use of radio-frequency resources. To address this problem, the technology of cognitive radio appeared [1]. When the radio-frequency channel is free, cognitive radio allows non-licensed users to use the radio-frequency spectrum. Thus, non-licensed users always analyze the needed frequencies before they use radio-frequency resources.

As the mobile devices appeared, the new technologies emerged. One of them is analysis of big quantity of mobile devices and computers (MCSC - Mobile Crowd Sensing and Computing) [2]. The formal definition is described in the following way. The new technology of spectrum analysis allows the usual users to enter the data that is obtained or created by mobile devices in the datacenters with the help of cloud technologies, about the state of its employment.

After the introduction of the MCSC technology, mobile devices can be equipped by tracking sensor that analyzes and measures the radio-frequency spectrum. At the same time, the US Federal Communications Commission decided the secondary television spectrum users under FC (FC - fusion center) management could use the geolocation database. FC determines the mobile device and obtains the analysis data. For stimulating the users for using the MCSC technology, the US Federal Communications Commission provides some encouragements. Such functions and technologies are crowdsourcing. In the research, it is provided for using the crowdsourcing technology for the spectrum analysis with using mobile devices, intended for the user. It is assumed there is the datacenter for data accumulating (FC). The factors described above and have influence on the function of spectrum analysis take into account. In the article, it is proved that the task of multiple detection is the task of NP-hard class. Therefore, it is developed the method based on using particle swarm (PSO) for decision of these tasks. The simulation results show algorithm realizing proposed method, supplies higher productivity in comparison with the known methods.

Analysis of literature. In the cognitive radio systems, the licensed users' activity is detected by clearness or busyness of spectrum [3]. There are factors such as shadow or multipath fading that can lead to the distorted activity of the users' mobile devices. To resolve such problems, the spectrum analysis for the correctness improvement of spectrum analysis is developed [4]. In the wideband wireless system, the users exchange compression results (CS - compressive

sensing). In [6] the authors assume the two-level protection scheme against interference in the cooperated spectrum analysis. In [7] it is considered the mutual spectrum analysis based on multiple detection with the aim of increasing the protection ratio level. In [8] it is considered the simultaneous spectrum analysis and data communication, in the result of that is was proposed the new model of the detection for the cooperative spectrum analysis. It is envisaged the several recognition strategies for planning the quantity of users based on the network parameters [9]. In [10] it is proposed the theoretic-game mechanism of the power distribution based on the results of measuring the channel of users in the cognitive radio network. To improve the analysis quality, the authors consider the multichannel recognition problem in the multichannel system [11-13]. These systems use the simplified objective function and absent BC (BC - budget constraint). Using the BC it is possible to choose only one set of the mobile users. In [14] it is considered the BC at the decision detection and channel division problems. All of these researches don't consider the energy component of mobile users.

In the above-mentioned literature, the centralized algorithms are used. Some widespread spectrum analysis methods exist. In [5], the distributed spectrum analysis method is considered in order to use the spectrum spatial capabilities. To detect the spectrum analysis characteristics, the methods of the stochastic geometry are used. In [10] on the users' channels analysis showings the management mechanism of the power with the using of the game theory is considered.

The aim. The aim of the research lies in the field of the algorithms of the mobile users' detection of the cognitive radio system, in the development of the generalized algorithm PSO-NN, and improvement of the method of multiple detection by using the particle swarm method, and convolutional neural network. Therefore, the tasks are:

- the development of the multiple detection architecture;
- the development of the generalized algorithm PSO-NN;
- the further realization of the multiple detection algorithm;
- modelling PSO-NN, as the algorithm of the multiple detection effectiveness for the 50 mobile devices.

The main part

M will be the number of places, where the spectrum analysis will take place, *N* – the number of channels that can be detected in the *j* point. In the *j* point, the shadow and multipath fading are represented in addition to other distortions that can influence the results of mobile users' detection in different places of this location. Mobile users can get different results of measuring in the same place. Therefore, it turns out that the mobile users location can be divided into several subzones.

Spatial location can be fixed with the results of mobile users' detection in different locations. In the *H* zone of the *j* location, $z^{i}_{h\,j}=1$ means there is at least one channel of the data communication. At the value $z^{i}_{h\,j}=0$, it is clear that no data channel was found. In the *j* location, let y^{i}_{j} be the number of subzones where the channel was detected at least one mobile user. We can assume that $y^{i}_{j}=\sum_{h=1}^{m(j)} z^{i}_{hj}$, where *m (j)* – the number of subzones in the *j* location. It can be assumed, than higher the value of y^{i}_{j}, the more effective spectrum analysis will be. In $y^{i}_{j}=m(j)$, maximum spectrum analysis result will be reached. On this basis, it turns out that spectrum analysis effectiveness will increase when y^{i}_{j} represents small values and vice versa. Let $f(i,j)=\sqrt{y^{i}_{j}/m(j)}$ - the effectiveness of *i* channel of the *j* location analysis. As a result, the spectrum effectiveness function for the multiple detection can be described in the following way [1]:

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)} \omega^{i}_{j} f(i,j), \qquad (1)$$

where ω^{i}_{j} - non-negative weighting value $\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)} \omega^{i}_{j}=1$, in which ω^{i}_{j} can discern different channel analysis levels in every location.

According to (1), the spectrum analysis effectiveness function is increased when y^{i}_{j} is in the range from zero to *m (j)* and is decreased if y^{i}_{j} is increased. To receive realistic spectrum analysis, the spectrum analysis effectiveness function must be maximum, taking into account all local constraints of the *i* channel, *j* location and threshold less than *H*. The local constraints can be described [2]:

$$f(i,j)\geq H,\ i\in[1,\ N(j)],\ j\in[1,\ M]. \qquad (2)$$

There are also factors that must be taken into account. For mobile users, the residual signal energy has to be considered. Only when the residual signal energy of mobile user is higher than the set threshold, a user can carry out the spectrum analysis. Let T_h – normalized threshold of the residual energy, *K* – all mobile users and e_k – the residual energy of mobile user. Then, energy constraint can be expressed as [3]:

$$e_k \geq Th,\ k\in K. \qquad (3)$$

Let *M* be the number of locations that must be analyzed. Only mobile users that are located in the *j* location can carry out the spectrum analysis. It is assumed mobile user can analyze only one channel. In the *j* location, *K(j)* – the set of mobile users, *n(j)* – the number of mobile users and *N(j)* – the number of channels that can be analyzed. For mobile users $k\in K(j)$, $x_{ki}=1$ means *i* channel was detected by the *k* user. Taking into account that mobile user can analyze

only one channel it can be expressed all other restrictions as [4]:

$$\sum_{k\in K(j)}\sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \le n(j). \quad (4)$$

The incentive scheme assumes the FC will pay the bills of mobile users that try to analyze the frequency spectrum. Such cost of multiple detection must be confirmed by the service providers and be located in the appropriate range. Let C be the maximum cost that user must pay for spectrum analysis and c_κ – the cost of single mobile user at $\mathrm{k} \in K(\mathrm{j})$. It can be described in the following way [5]:

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{k\in K(j)} c_k \sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \le C. \quad (5)$$

The most acceptable users' division for the multiple detection can be described by the formula [6]:

$$\max \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)} \omega_j^i f(i,j), \quad (6)$$

providing that

$$f(i,j) \ge H \ \mathrm{i}\ [1,N(j)],\ \mathrm{j} \in [1,M], e_k \ge Th,\ \mathrm{k} \in K.$$

$$\sum_{k\in K(j)}\sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \le n(j),$$

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{k\in K(j)} c_k \sum_{i=1}^{N(j)} x_{ki} \le C, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)} \omega_j^i = 1.$$

In the figure 1, the example of the users' division for the multiple detection is shown. In the network, there are two locations and three channels. Each location is divided into three subzones. In the different subzones, the mobile users can receive different measuring results in the same channel. Some users cannot commit the spectrum analysis because they have the local constraints, high cost of request, or insufficient residual energy. The rest of the users will analyze the channels according to the expression 7.

The multiple detection task is hard to implement because it is NP-hard class task. The reason is that the multiple detection problem is as difficult as the maximum coverage area task [15]. Let d – the number of l array of order $S = \{S_1, S_2, \ldots, S_l\}$, S' - the maximum of the d number:

$$\max \left| \cup_{S_i \in S'} S_i \right|, \quad (8)$$

where $S' \subseteq S,\ |S'| \le d$.

In general, such task is described in the following way. Each mobile user having enough energy to carrying out the spectrum analysis sets the local threshold to 0 value. It means that the local constraint was fulfilled, detection cost lies within the permissible limits. It is supposed there are K mobile users and M locations. In every location it is existed N detected channels.

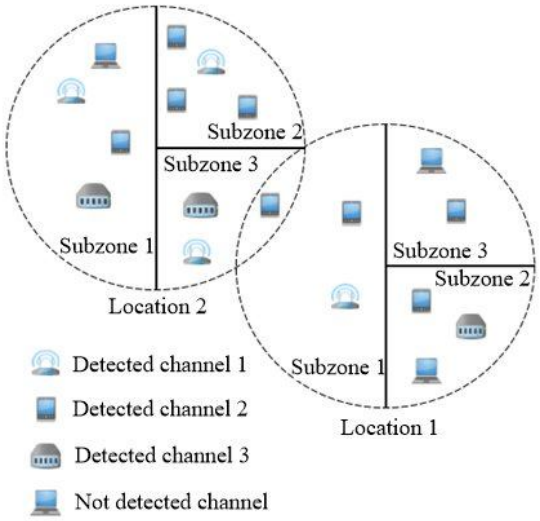


Fig. 1. The example of the multiple detection architecture

Each mobile user is in range $i \in \{1,2,\ldots,K\}$. Let non-negative weight $\omega_{\mathrm{j}}^{\mathrm{i}}$ will be constant. Then (7) can be represented in the form:

$$\max \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N(j)} f(i,j). \quad (9)$$

The equation (9) provides the choice of d array for the sum maximization $f(i,j)$. In comparison with (8), the task complexity level is at least the same as in the maximum coverage area task.

Since the multiple detection problem belongs to the task of HP-hard class, it was proposed the algorithm based on the particle swarm optimization with using the neural network. In the PSO algorithm, [15] each particle has its own search speed. The particle can change its value according to the neighbor particles parameters. Let V_{id} is the particle speed X_{id}. Then the particle movement will be described in the following way:

$$V_{id}^{t+1} = \omega V_{id}^t + c_1 r_1 \left(P_{id} - X_{id}^t\right) + c_2 r_2 \left(P_{gd} - X_{id}^t\right), \quad (10)$$

$$X_{id}^{t+1} = V_{id}^{t+1} + X_{id}^t. \quad (11)$$

where ω - the iteration weight,

P_{id} – the best one particle location,

P_{gd} – the best one particle global,

r_1 and r_2 – the arbitrary numbers in range [0;1],

c_1 and c_2 – the learning factor.

The iteration weight ω allows the algorithm to improve its productivity. The formulas (10) and (11) allow calculating the speed and location of the particle.

According to the PSO algorithm, the location of each particle is the separate element of the multiple detection task. Let suppose that $N(j)$ channels in the

locations $j \in [1, M]$ and the number of the detected channels will be $\sum_{j=1}^{M} N(j)$. Let K denotes all mobile users. Then each particle is defined as $K \times \sum_{j=1}^{M} N(j)$ X matrix, where X[a][b] = 1 that defines the *a* user of the *b* detected channel and X[a][b] = 0 that defines the *a* user of the *b* not detected channel. It was proposed the algorithm based on the PSO with using the convolutional neural network (PSO-NN). The *q* particles are initialized randomly and it is installed the particle with the highest objective function according to the formula (7) that is using according to the algorithm PSO. The fig. 2 shows the generalized algorithm PSO-NN.

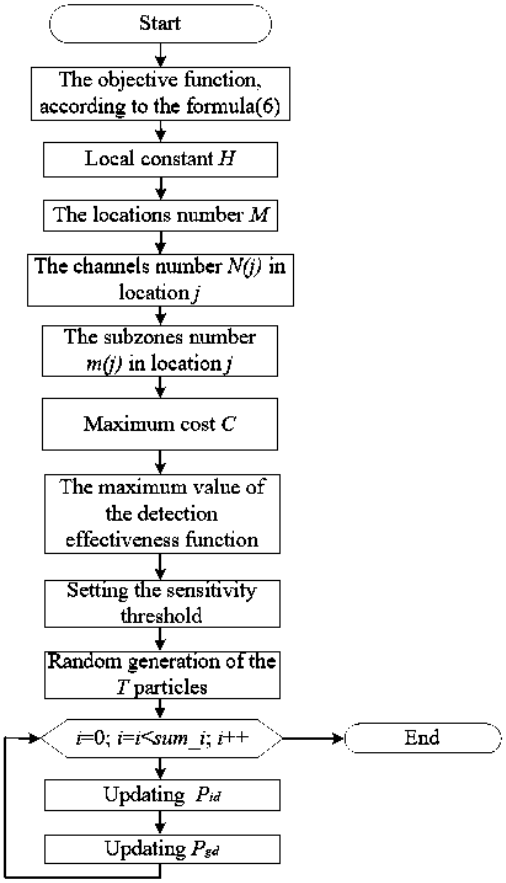


Fig. 2. The generalized algorithm PSO-NN

After each cycle of users' multiple detection, the analyzing energy of the user is decreased. Mobile user must detect that its remaining energy match the energy threshold. If the energy of the user that analyzes spectrum is higher than the threshold value, mobile user can analyze the spectrum again. For each particle of the swarm in case if the user's energy is not enough for the spectrum analysis, the recording of the vector of a given particle into a zero value of the corresponding matrix is carried out. Based on the current matrix the particle, effectiveness function can be found according to (1). After calculating the effectiveness function of all particles, one can receive a better particle location P_{id} and global location P_{gd}. The higher the effectiveness function value is, the better is the position of corresponding particle. Depending on the location P_{id} and P_{gd}, we will unite the matrices for the multiple detection optimization. Let T_1 – the current matrix of the particle, T_2 and T_3 denote better and global matrices respectively. The united matrix can be described by the combination T_1, T_2 and T_3.

If several users in the united matrix detect the channel, only one user with higher residual energy will reserve the channel. After matrix uniting, only one element is bound to the column vector of this matrix. If the user's T_1, T_2 and T_3 are different, several column vectors of this matrix can exist. Considering the global properties of the PSO, we optimize the column vectors of the matrix determined by the parameters (10). If a user detects different channels in these three matrices, he will choose the channel in T_1 based on $\omega/(\omega+c_1+c_2)$, in T_2, based on $c_1/(\omega+c_1+c_2)$, and in T_3, based on $c_2/(\omega+c_1+c_2)$. It means that after merger only one particle is tied to the column vector in the united matrix. The search place and convergence speed of these particles can be adjusted setting the value ω, c_1 and c_2. The algorithm of detection improvement is represented in the fig. 3.

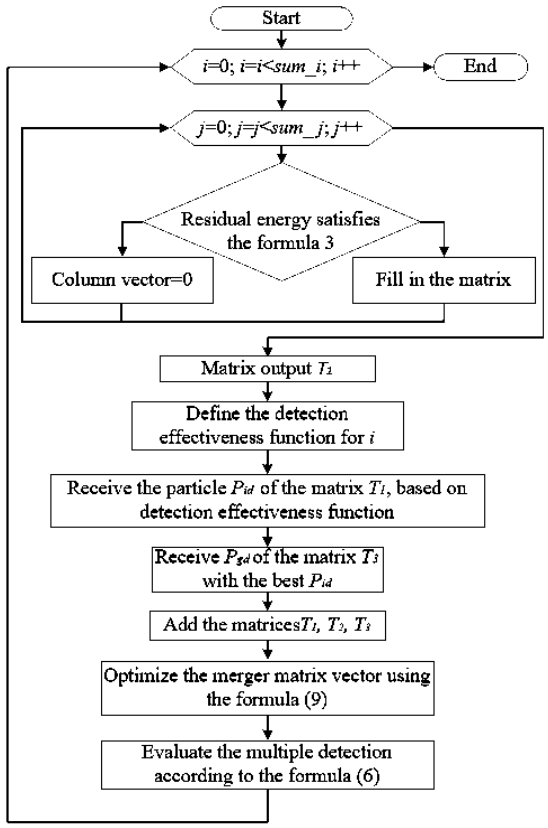


Fig. 3. The multiple detection improvement algorithm

Complexity of the proposed algorithm PSO-NN is calculated in the following way.

Proposed algorithm PSO-NN is evaluated by the way of modeling and compared to the algorithm in [14]. There are locations where the spectrum analysis with the same radiuses can be done. Each location is divided into three subzones. The number of channels is 5 (N = 5). The local threshold H = 0.57. Non-negative weights are the same for each channel and each location. Mobile users are generated in the random locations.

In the figure 4, the multiple detection effectiveness with a combined work of 50 mobile users from 15 to 40

locations is shown. The cost coefficient c_κ was chosen in the range {1,2,..., 50}. The maximum cost $a\sum_{k=1}^{50} c_k$ where a lies in the range from 0,6 to 0,8. Normalized energy threshold $0,2 \le T_h \le 0,5$. The multiple detection effectiveness is calculated with (1). This function reflects the detection effect and its value lies in the range from 0 to 1. The value is closer to 1, the detection function will be better. Compared to the developed method with realizations [13] and [14], one can notice that the algorithm that implements proposed method showed higher detection effect. As the number of locations increases, the detection effectiveness decreases. It happens because greater number of locations leads to the emergence of more quantity of the subzones and fixed number of the users cannot detect all subzones. In T_h = 0,2 and a = 0,8, the detection effectiveness function showed the highest values.

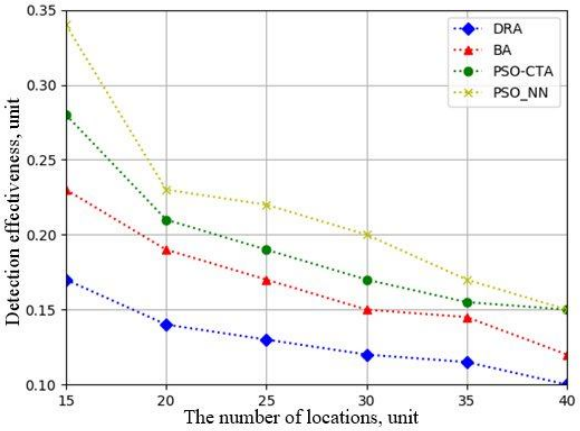


Fig. 4. The multiple detection effectiveness function for 50 mobile users

Conclusions

During the research, the multiple detection architecture was developed. It differs from the known architectures since each location is divided into the subzones. As a result, a mobile user can receive different measuring results in the same channel in different subzones. Such a division can be used for more flexible data use. Developed generalized algorithm PSO-NN is different since it is correctly configured for the real conditions inherent in the architecture of the cognitive systems. This algorithm uses particle swarm optimization controlled by the convolutional neural network. Therefore, strict access to spectrum analysis based on mobile users' energy component is provided. Due to the use of the micro particle architecture and convolutional neural networks, detection effectiveness function and global particle location are detected in a more accurate way. Further implementation of the multiple detection algorithm is different from the known since only one user is assigned to a specific channel after uniting the detected channel users' matrices. Additionally, such implementation assumes more realistic search area and speed of the users' detection with found channels. Modeling PSO-NN as the multiple detection effectiveness algorithm for 50 mobile users has several convolutional layers generalized with each other. Such architecture can be a confirmation that the neural network chosen satisfies the tasks largely. The modeling result showed that the detection effectiveness using the algorithm PSO-NN increased by 10% in 20 locations, by 20% in 25 locations, by 20% in 30 locations, by 20% in 35 locations, while the results did not change in 40 locations.

REFERENCES

1. Mitola III, J. and Maguire Jr., G.Q. (1999), "Cognitive radio: making software radios more personal", *IEEE Personal Communications*, Vol. 6, no. 4, pp. 13–18.
2. Guo, B. Wang, Z., Yu Z. et al. (2015), "Mobile crowd sensing and computing: the review of an emerging human-powered sensing paradigm", *ACM Computing Surveys*, Vol. 48, No. 1, Article 7.
3. Saleem, Y. and Rehmani, M.H. (2015), "Primary radio user activity models for cognitive radio networks: a survey", *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 43, pp. 1–16.
4. Arslan, H. (2009), "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 11, No. 1, pp. 116–130.
5. Zeng, F., Tian, Z. and Li, C. (2010), "Distributed compressive wideband spectrum sensing in cooperative multi-hop cognitive networks", *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Communications, ICC 2010.*
6. Feng, J., Lu, G., Wang, H. and Wang, X. (2016), "Supporting secure spectrum sensing data transmission against SSDH attack in cognitive radio ad hoc networks", *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 72, pp. 140–149.
7. Zhang, R., Zhang, J., Zhang, Y. and Zhang, C. (2013), "Secure crowdsourcing-based cooperative pectrum sensing," Proceedings of the 32nd IEEE Conference on Computer Communications, *IEEE INFOCOM 2013*, pp. 2526–2534.
8. Lu, Y., Wang, D. and Fattouche, M. (2016), "Cooperative spectrum-sensing algorithm in cognitive radio by simultaneous sensing and BER measurements", *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2016, No. 1, Article 136.
9. Liu, C.-H., Azarfar, A., Frigon, J.-F., Sansò, B. and Cabric, D. (2015), "Robust cooperative spectrum sensing scheduling optimization in multi-channel dynamic spectrum access networks", *IEEE Trans. on Mobile Computing*, Vol. 15, No. 8, pp. 2094–2108.
10. Zhu, J., Jiang, D., Ba, S. and Zhang, Y. (2017), "A game-theoretic power control mechanism based on hidden Markov model in cognitive wireless sensor network with imperfect information," *Neurocomputing*, Vol. 220, pp. 76–83.
11. Arora, P., Xia,N. and Zheng, R. (2011), "A Gibbs sampler approach for optimal distributed monitoring of multi-channel wireless networks", Proceedings of the 54th Annual IEEE Global Telecommunications Conference: "Energizing Global Communications", *GLOBECOM 2011*.
12. Shin, D.-H., Bagchi, S. and Wang, C.-C. (2012), "Distributed online channel assignment toward optimal monitoring in multi-channel wireless networks", Proc. of the IEEE Conf. on Computer Communications, *IEEE INFOCOM 2012*, pp. 2626–2630.
13. Shin, D.-H. and Bagchi, S. (2013), "An optimization framework for monitoring multi-channel multi-radio wireless mesh networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 11, No. 3, pp. 926–943.
14. Shin, D.-H., He, S. and Zhang, J. (2015), "Joint sensing task and subband allocation for large-scale spectrum profiling", Proc. of the 34th IEEE Annual Conference on Computer Communications and Networks, *IEEE INFOCOM 2015*, pp. 433–441.

15. Eberhart, R.C. and Kennedy, J. (1995), “A new optimizer using particle swarm theory”, *Proceedings of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS '95)*, pp. 39–43, Nagoya, Japan, 1995.

Received (Надійшла) 16.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2018

Метод множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіомережі

Я. Я. Обіход

Об’єктом вивчення в статті є процеси множинного виявлення мобільних користувачів на основі оптимізації рою частинок в когнітивній радіосистемі. **Мета досліджень** лежить в області алгоритмів виявлення мобільних користувачів когнітивної радіосистеми, в розробці узагальненого алгоритму PSO-NN і поліпшенні методу множинного виявлення шляхом використання методу рою частинок і згорткової нейронної мережі, а також його реалізації. **Завдання:** розробка архітектури множинного виявлення; розробка узагальненого алгоритму PSO-NN; виконання подальшої реалізації алгоритму множинного виявлення; реалізація моделювання PSO-NN, як алгоритму ефективності множинного виявлення для 50 мобільних користувачів. Використовуваними **методами** є: математичні моделі, побудовані за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж, математичні моделі навчання, методи теорії алгоритмів NP-hard. Отримані наступні **результати**. В ході досліджень було розроблено архітектуру множинного виявлення, яка відрізняється від відомих тим, що кожна локація розділена на підзони. В результаті, мобільні користувачі можуть в різних підзонах отримувати різні результати вимірювань в одному і тому ж каналі. Такий розподіл може використовуватися для більш гнучкого використання даних. Розроблений узагальнений алгоритм PSO-NN відрізняється від відомих тим, що він більш коректно налаштовується на реальні умови, властиві архітектурі когнітивних систем. Цей алгоритм використовує оптимізацію рою частинок під керуванням згорткової нейронної мережі. Завдяки цьому забезпечується суворий доступ до аналізу спектру на основі енергетичної складової мобільних користувачів. За рахунок використання мікрочасткової архітектури та згорткових нейронних шарів, функція ефективності виявлення і глобальне розташування частинок визначаються більш точно. Подальша реалізація алгоритму множинного виявлення відрізняється від відомих тим, що після об'єднання матриць користувачів виявлених каналів, тільки один користувач закріплюється за певним каналом. Також, така реалізація передбачає більш реалістичний простір пошуку і швидкість виявлення користувачів зі знайденими каналами. Моделювання PSO-NN, як алгоритм ефективності множинного виявлення для 50 мобільних користувачів, має кілька згорткових шарів, які узагальнено один з одним. Така архітектура може бути підтвердженням того, що обрана практичним шляхом нейронна мережа більшою мірою задовольняє поставленим завданням. Результати моделювання показали, що при 20 локаціях, ефективність виявлення з використанням алгоритму PSO-NN зросла на 10 %, при 25 локаціях - на 20%, при 30 локаціях - на 20%, при 35 - на 20%, при 40 не змінилась.

Ключові слова: когнітивне радіо; алгоритм рою частинок; згорткова нейронна мережа; радіочастотний ресурс; задача класу NP-hard.

Метод множественного определения мобильных пользователей на основе оптимизации роя частиц в когнитивной радиосети

Я. Я. Обиход

Объектом изучения в статье являются процессы множественного обнаружения мобильных пользователей на основе оптимизации роя частиц в когнитивной радиосети. **Цель исследований** лежит в области алгоритмов обнаружения мобильных пользователей когнитивной радиосистемы, в разработке обобщенного алгоритма PSO-NN и улучшении метода множественного обнаружения путем использования метода роя частиц и сверточной нейронной сети, а также его реализации. **Задача:** разработка архитектуры множественного обнаружения; разработка обобщенного алгоритма PSO-NN, дальнейшая реализация алгоритма множественного обнаружения; реализация моделирования PSO-NN, как алгоритма эффективности множественного обнаружения для 50 мобильных пользователей. Используемыми **методами** являются: математические модели, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей, математические модели обучения, методы теории алгоритмов NP-hard. Получены следующие **результаты**. В ходе исследований была разработана архитектура множественного обнаружения, которая отличается от известных тем, что каждая локация разделена на подзоны. В результате, мобильные пользователи могут в различных подзонах получать различные результаты измерений в одном и том же канале. Такое распределение может использоваться для более гибкого использования данных. Разработан обобщенный алгоритм PSO-NN , который отличается от известных тем, что он более корректно настраивается на реальные условия, присущие архитектуре когнитивных систем. Этот алгоритм использует оптимизацию роя частиц под управлением сверточной нейронной сети. Благодаря этому, обеспечивается строгий доступ к анализу спектра на основе энергетической составляющей мобильных пользователей. За счет использования микрочастичной архитектуры и сверточных нейронных слоев, функция эффективности определения и глобальное расположения частиц определяются более точно. Дальнейшая реализация алгоритма множественного определения отличается от известных тем, что после объединения матриц пользователей выявленных каналов, только один пользователь закрепляется за определенным каналом. Также, такая реализация предполагает более реалистичное пространство поиска и скорость обнаружения пользователей с найденными каналами. Моделирование PSO-NN, как алгоритм эффективности множественного обнаружения для 50 мобильных пользователей, имеет несколько сверточных слоев, обобщенных друг с другом. Такая архитектура может быть подтверждением того, что выбранная практическим путем нейронная сеть в большей степени удовлетворяет поставленным задачам. Результаты моделирования показали, что при 20 локациях, эффективность обнаружения с использованием алгоритма PSO-NN выросла на 10%, при 25 локациях - на 20%, при 30 локациях - на 20%, при 35 - на 20%, при 40 не изменилась.

Ключевые слова: когнитивное радио; алгоритм роя частиц; сверточная нейронная сеть; радиочастотный ресурс; задача класса NP-hard.

UDC 502.55:621.039.7 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.23**

L. Pisnia [1], I. Cherniavskiy [2], S. Petrukhin [2], E. Serikova [3]

[1] Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems, Kharkiv, Ukraine
[2]Military Institute of Tank Forces of National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine
[3] A.M. Pidhorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

EXPERT-ANALYTICAL FORECASTING OF NUCLEAR DAMAGE FOCI ON THE MONITORING ISSUES OF MILITARY CHARACTER EMERGENCY SITUATIONS

Relevance. The problem of complex assessment of possible boundaries of nuclear damage in military character emergency situations is considered. The aim of the work is to determine the "necessary and sufficient" parameters of a nuclear explosion and to assess their contribution to identification problems of nuclear foci, identify their features and boundaries, assess the doses of gamma-neutron exposure of the population, and effectively distribute forces and facilities for actions in nuclear foci. **Method**. In order to correctly assess the situation in the nuclear foci and plan the necessary measures, it was evaluated the contribution of the output "necessary and sufficient" parameters for detecting a nuclear explosion of different power, shape and type of ammunition according to the measurability criteria using the hierarchy analysis method of T. Saati adapted for the problems under consideration. The advantage of using the hierarchy analysis method for complex assessment of possible nuclear foci in military character emergency situations is the possibility of finding the weight coefficients of each element of a complex hierarchical system, taking into account their interrelationships and mutual influence through pairwise expert comparisons. The received weights (priorities) on levels of hierarchy allow to define the contribution of elements of the bottom level on achievement of the purpose which is formulated on the top level. The process of assessing boundaries of nuclear damage is proposed in the form of three tasks according to the criteria: type of nuclear explosion, TNT equivalent and type of ammunition, which represent a complex expert-analytical assessment of the damaging factors of a nuclear explosion. **Results**. The paper presents the results of expert-analytical assessment of possible boundaries of nuclear damage in emergency situations of a military nature in the context of uncertainty of the initial information in the detection of nuclear explosions. **Conclusions**. The need to take into account the spectrum of neutron radiation in the prediction of nuclear foci is confirmed as "sufficient" information with the aim of making adequate and effective predictions of nuclear foci. It is determined that when assessing nuclear foci, both on the basis of the type of nuclear explosion, its power, and the shape of nuclear munition, it is better to predict and manifest (identify) the source of radiation-mechanical damage. When a combined radiation damage and radiation damage is detected in a "pure" form, the best criterion is based on the type of nuclear munition.

Keywords: boundaries of nuclear damage; the damaging factors of a nuclear explosion; hierarchy analysis method; an expert-analytical assessment.

ABBREVIATIONS

BND	boundaries of nuclear damage;
NE	nuclear explosion;
RMD	radiation-mechanical damage;
RTD	radiation-thermal damage;
CRD	combined radiation damage;
RD	radiation damage;
NA	nuclear ammunition;
MHA	method of hierarchical analysis;
DF	damaging factors;
CV	criterion for the variability;
TNE	type of nuclear explosion;
TNA	type of nuclear ammunition;
TE	trotyl equivalent.

NOMENCLATURE

q	nuclear explosion power in TNT equivalent;
H	height of the explosion.

Introduction

In the conditions of increasing danger of the nuclear weapons use, in emergency situations of a military nature [1-5], the questions of prompt and reliable current situation assessment, the identification of features and boundaries of nuclear damage (BND) remain relevant [6-8]. In the literature, depending on the dominance of this or that detrimental factors of a nuclear explosion (NE), foci can be defined: with predominantly radiation-mechanical damage (RMD); radiation-thermal damage (RTD); with combined radiation damage (CRD); with radiation damage (RD) in a «pure» form [9-13]. The last two boundaries are typical for tactical nuclear ammunitions (NA) – small and ultra-small-capacity ammunition, as well as neutron munitions, identification and assessment of the situation after application of which causes significant difficulties.

1. Problem statement

Uncertainty in the identification and assessment of the situation through forecasting is largely due to the information lack on the NE parameters. Existing methods use the trotyl equivalent q, kt of the NA, which determines the power of the NE, as well as the coordinates of the NE point, including the explosion height of the monition H, m. These parameters are sufficient to classify the NE type, but not in all cases it is «necessary and sufficient» to characterize the nuclear damage parameters [14, 15]. The additional information presence on the spectral composition of the neutron radiation of penetrating radiation NE is reasonable to consider sufficient for the correct assessment of the specifics of possible damage and further consequences forecasting in the current situation.

2. Review of literature

It was shown earlier [6, 7] that the information lack on the spectral composition of the NE penetrating radiation determining the NA type at specified distances from the epicenter leads to unacceptable errors in estimating the doses of gamma-neutron exposure of the

population, and as a result leads to inefficient distribution forces and means for actions in the BND.

Thus, there arises a hypothesis that the generalized multicriterial BND estimation should be carried out in the NE type, in the power of NE and in the NA type. Therefore, as the necessary information, it is expedient to consider the altitude or coordinates of the NE, the trotyl equivalent of the NA, and to consider as sufficient additional information of NE neutron radiation spectrum. To what extent the neutron radiation spectrum could be considered as «sufficient» information for qualitative BND assessment is the currently open question. To test this assumption, it is necessary to construct hierarchical structures of expert-analytical forecasting of the situations development in the presence of this necessary and sufficient initial information.

The attempt to evaluate the contribution of the so-called «necessary and sufficient» BND parameters by applying the T. Saati hierarchical analysis method (MHA) has been provided [16,17]. The method adapted for the issues under consideration in terms of the modified verbal interpretation of the scale values of pair wise comparisons [18]. The aim is to specify the "necessary and sufficient" parameters of nuclear explosion and to assess their contribution to identification tasks of nuclear damage foci, to identify their features and boundaries, to assess the gamma-neutron exposure doses of the population, and effectively distribute forces and facilities for actions in nuclear foci.

3. Materials and methods

The essence of the MHA implementation is follow. Firstly, for the decomposition of the tasks stages of estimating the BND in the form of hierarchy subcriteria consisting, criteria, factors and alternatives to the consequences with the displayed links between the individual elements. Secondly, for construction of matrices of elements paired comparisons on the basis of expert judgments. Thirdly, for calculating the priorities and importance of the elements, with further expert judgments processing, the results of which determine the generalized weighted relative degree of interaction or interdependence of hierarchy all elements, which is expressed in a standardized numerical form in the form of global priorities. With such treatment,, the analytical approach of constructing the events tree and consequences with expert procedures of pairwise comparisons of the elements importance is combined, using algebraic matrix theory, and allows to consider the situation integrally «from top to bottom» and «from bottom to top», while including all available elements data, and to evaluate their weight contributions to the decision, that is, to find solutions in conditions of multicriterion.

Pairwise comparisons were carried out on the unified scale (Table 1) of pairwise expert evaluation (weighing) obtained on the basis of the «T. Saati scale» formulation.

Table 1. **The unified scale of pairwise expert evaluation**

T. Saati's score	Verbal-argumentative evaluation(weight)	Note (comments)
0	Criteria are incomparable in terms of achieving the goal	The absence of mutual connection and influence
1	Criteria are equivalent in terms of achieving the goal	Objects are comparable and / or interrelated. No preference data
2	Weak preference of one in comparison with another one	It is qualitatively known about the preference of one in comparison with another, but the number of reliable and reliable data on preferences is not enough to make a guaranteed decision about the preference
3	At least one of the factors indicates the preference of one criterion over another	At least one of the indicators (characteristics) of one is guaranteed preferable to the other
4	The average preference of one criterion over another	More than one guaranteed indicator (criterion) confirms the preference of one over the other, but less than half
5	The explicit preference of one over the other one	At least half of the indicators (criteria) are guaranteed to be preferable to one in comparison with the other, with half of all data reliable and reliable from the point of view of available statistics or at least probability
6	The average preference between «clear» and «obvious» one over the other	More than half of these indicators (criteria) confirm the preference of one over the other (and half of the remaining can confirm the preference)
7	The obvious preference for one criterion over another	Domination of one over the other is obvious and practically confirmed or does not cause doubts
8	More than an obvious preference, but not yet absolute	The preference of one over the other is not in doubt, but one can not speak of absolute preference
9	Absolute preference of one over the other	The preference of one over the other is undeniable and is confirmed by all the data, including the measurement error

4. Experiments

In view of the apparent complexity of the generalized expert-analytical assessment of the NE damaging factors (DF), that is, from the NA type, from the NE form and power, the paper presents three separate decompositions of these problems in the hierarchies form: based on the NE type (Fig. 1) based on the NE power classification (Fig. 2); based on the NA type (Fig. 3).

For the hierarchies description, we introduce the notation: CV – criterion for the variability of the NE parameters; TNE is the NE type; TNA is the NA type; TE –trotyl equivalent (NE power).

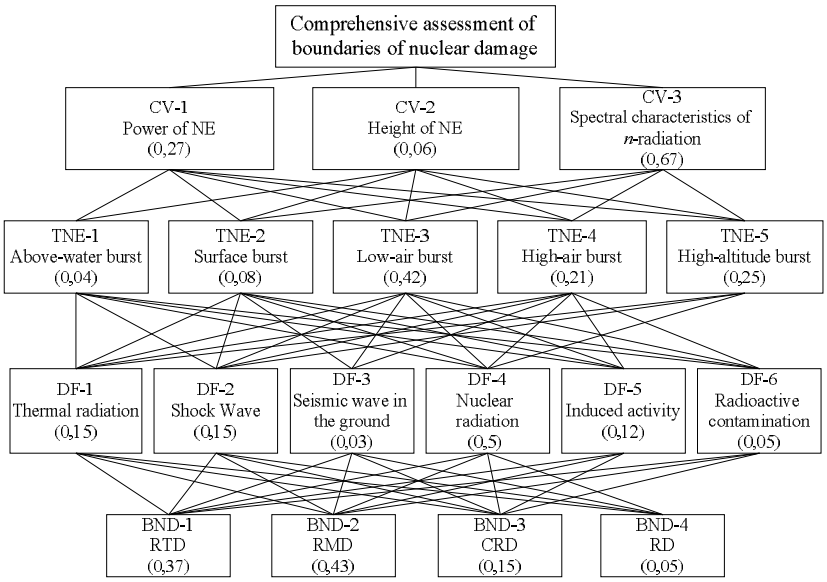


Fig. 1. Hierarchical task structure of the BND estimating with the criteria of the NE types (TNE-1–TNE-5) with the obtained values of the weight coefficients for all elements

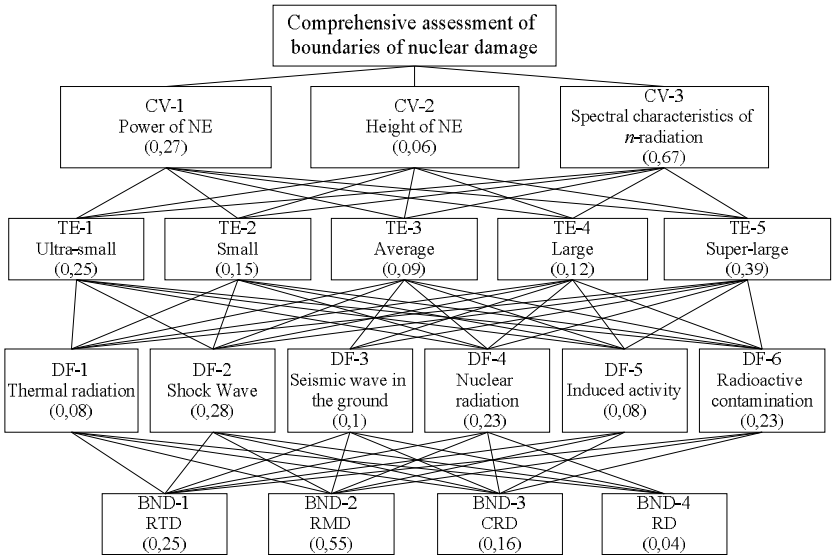


Fig. 2. Hierarchical structure of the BNF estimating task with the criteria of NE trotyl equivalent (TE-1–TE-5) with the obtained values of weight coefficients for all elements

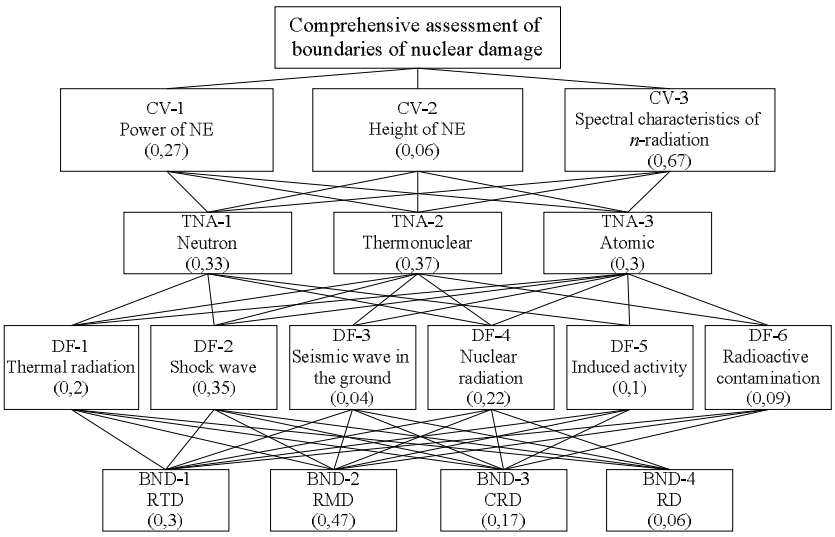


Fig. 3. Hierarchical structure of the BNF estimating task with the criteria of the ammunition NE type (TNA-1–TNA-3) with the obtained values of weight coefficients for all elements

There is the goal at the first level of such hierarchy (Fig. 1–3): the comprehensive assessment BND. At the second level, the radiation monitoring system sub-criteria are placed – the criteria for the environment state measuring (CV-1–CV-3), which, in fact, characterize the NE parameters: the power, the explosion height, and the spectral characteristics of neutron radiation, respectively. At the third level there are complex criteria in the form of NE classification:

– by the explosion type (Fig. 1) above-water burst (TNE-1); surface burst (TNE-2); low-air burst (TNE-3); high-air burst (TNE-4); high-altitude burst (TNE-5), reflecting the specifics of the DF formation in space;

– for the NE trotyl equivalent (Fig. 2), an ultra-small (TE-1); small (TE-2); average (TE-3); large (TE-4); super-large (TE-5), reflecting the boundaries of the destructive NE effect;

– by the NA type (Fig. 3) neutron (TNA-1); thermonuclear (TNA-2); Atomic (TNA-3), reflecting the priority of one or another of the DFaNE.

At the fourth level are the NE damaging factors: thermal radiation (DF-1); shock wave (DF-2); seismic wave in the ground (DF-3); nuclear radiation (DF-4); induced activity (DF-5); radioactive contamination (DF-6), forming complex factors of impacts. At the fifth level, possible alternatives are presented – BND forecast: radiation-thermal damage (BND-1); radiation-mechanical damage (BND-2); combined radiation damage (BND-3); radiation damage «in its pure form» (BND-4).

The important part of the the expert-analytical solution procedure is the formation of a table of questions assigned to experts for evaluating the elements in each of these hierarchies. The adequacy of the results often depends on the experts correct verbal motivation when constructing the matrices of pairwise comparisons, as an example, (Table 2), in which the serial number of the matrix level corresponds to the link presence with the top-level element.

In the paper, for the matrices judgments calculation, we used our own MHA priorities calculation program that takes into account the consistency and compatibility of the estimates, which are necessary conditions for the T. Saati MHA correct application.

Table 2. **The formulation of the questions to be asked for the BND estimation based on the NE type**

Hierarchy level number	Verbal motivation of experts in the construction of matrices of pairwise congruences
2	Which of the sub-criteria (measurability criteria) is preferable for determining the BND severity?
2.1	From the point of view of the NE power (the luminescence duration), what NE type will be decisive from the point of view of the comprehensive BND assessment?
2.2	From the point of view of the NE height, what NE type will be more likely to be determined?
2.3	From the point of view of determining the neutron radiation spectrum, which of the NE types will be unambiguously characterized?
3.1	Which of DF for the above-water burst (TNE-1) will be decisive or dominant?
3.2	Which of DF for terrestrial surface burst (TNE-2) will be decisive or dominant?
3.3	Which of DF for low-air burst (TNE-3) will be decisive or dominant?
3.4	Which of DF for high-air burst (TNE-4) will be decisive or dominant?
3.5	Which of DF for high-altitude burst (TNE-5) will be decisive or dominant?
4.1	Which of BND will dominate the thermal radiation (DF-1)?
4.2	Which of BND will dominate the shock wave DF-2?
4.3	Which of BND will dominate the seismic wave in the ground (DF-3)?
4.4	Which of BND will dominate the nuclear radiation (DF-4)?
4.5	Which of BND will dominate the induced activity (DF-5)?
4.6	Which of BND will dominate the radioactive contamination (DF-6)?

5. Outcomes and discussion

As a result of expert evaluations, for the hierarchies presented in Fig. 1-3 we obtained the corresponding values of general consistency:

for the NE type – 0,048;
for TE – 0,044;
for the NA type – 0,047,

which indicates MHA correct application.

The analysis of the constructed hierarchies made it possible to establish that, in the presence of necessary and sufficient information, the BND forecasting during radiation monitoring can occur:

– NE identification by the TNE criterion with the following priority:
  1 –TNE-3 (42,4%); 2 – TNE-5 (24,9%);
  3 –TNE-4 (21,3%); 4 –TNE-2 (7,7%);
  5 –TNE-1 (3,7%);
– NE identification by the TNA criterion with the following priority:
  1 –TNA-2 (36,6%);
  2 –TNA-3 (29,9%);
  3 – TNA-1 -1 (33,5%);
– NE identification by the TE criterion with the following priority:
  1 – TE-5 (38,6%); 2 – TE-1 (24,6%);
  3 – TE-2 (15,2%); 4 – TE-3 (12,4%);
  5 – TE-1 (9,2%).
– DF evaluation of the NE in the presence of information on the TNE:

1 – DF-4 (50,3%); 2 –DF-1 (15,15%);
3 – PF-2 (14,85%); 4 – PF-5 (11,5%);
5 – PF-6 (4,85%); 6 – PF-3 (3.35%);

– DF evaluation of the NE in the presence of information on the TNA:
1 – DF-2 (34,22%); 2 – DF-4 (22,45%);
3 – DF-1 (19,75%); 4 –DF-5 (10,5%);
5 – DF-6 (9,3%); 6 –DF-3 (3.8%).
– DF evaluation of the NE in the presence of information on the TE:
1 – DF-2 (28%); 2 – DF-6 (23,2%);
3 – DF-4 (22,79%); 4 – DF-3 (9,7%);
5 – DF-5 (8.3%); 6 –DF-1 (8%);
– BND evaluation in the information presence on the TNE and on the DF of NE:
1 –BND-2 (43,1%); 2 –BND-1 (37,3%);
3 –BND-3 (14,4%); 4 –BND-4 (5,2%);
– BND evaluation in the information presence on the TNA and on the DF of NE:
1 – BND-2 (47,1%); 2 – BND-1 (29,8%);
3 – BND-3 (17,4%); 4 – BND-4 (5,7%);
– BND evaluation in the information presence on the TE and on the DF of NE:
1 – BND-2 (55,2%); 2 – BND-1 (24,6%);
3 – BND-3 (15,8%); 4 –BND-4 (4,4%).

The evaluation outcomes of the contribution of the NE initial «necessary and sufficient» parameters of different power, TNE and TNA make it possible, under the uncertainty of the initial information, to correctly assess the emergent situations in BND in the radiation monitoring framework of military emergencies.

Conclusions

1. The subcriteria variability importance for all hierarchies considered (see Fig. 1-3) indicates the priority of CV-3 (67,15%), CV-1 (26,55%), CV-2 (6,3%). This fact points to the obvious need to take into account the neutron radiation spectrum in forecasting the nuclear damage boundaries. As sufficient additional information for making adequate and effective nuclear damage boundaries forecasting, it is advisable to adopt the neutron radiation spectrum of the nuclear explosion.

2. The analysis carried out by experts shows that for assessing nuclear damage boundaries on both the basis of the nuclear explosion type, the nuclear explosion power, and the nuclear ammunition type, the radiation-mechanical damage (BND-2) source with the criteria weight contributions will be better predicted and identified respectively: for the nuclear explosion type (43,1%), for the trotyl equivalent (55,2%), for the nuclear ammunition type (47,1%).

3. From the point of view of identifying combined nuclear damage boundaries and radiation damage in the «pure» form, the criterion based on the nuclear ammunition type, respectively, for BND-3 (17,4%) and for BND-4 (5,7%) is the best. It is important to note that in assessing this situation, the power and height nuclear explosion specification could be considered necessary parameters, and the determination of the spectral characteristics of the neutron nuclear radiation is sufficient.

REFERENCES

1. Vasilenko, O.I. and Vasilenko, I.Y.,(2004), “Nuclear weapons of the new generation and its radiation-hygienic aspects”, *Atomic Energy Bulletin,* No. 1, pp. 60–62.
2. Levshin, V.I, Nedelin, A.V. and Sosnovskiy, M.E. (1999), “On the use of nuclear weapons for the de-escalation of hostilities”, *Military thought,* No. 3(5-6), pp. 34–37.
3. Belous, V. (1996), “Tactical weapons in new geopolitical conditions”, *Nuclear control,* No. 14, pp. 2-7.
4. (1977), “Neutron weapons and the nature of its impact”, *Civil Defense,* No. 6, pp. 98.
5. Sokov, N. (1997), “Tactical nuclear weapons: new geopolitical realities or old mistakes”, *Nuclear control,* No.26, pp. 12-19.
6. Cherniavskiy, I.Y., Marushchenko, V.V. and Matykin, A.V. (2016), “Assessment of radiation injury by predicting dose loadings according to combat capability sensor”, *Systems of Arms and Military Equipment,* Scientific and Technical Journal, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force of Ukraine, No. 1(45), pp. 125–133.
7. Cherniavskiy, I.Y., Tyutyunik, V.V. and Kalugin, V.D. (2016), “Analysis of the conditions for the creation of a system for identifying and assessing the level of radiation safety of the vital activity of the population in emergency situations of a military nature”, Collection of scientific works, *Problems of emergency situations,* National University of Civil Protection, No. 23, pp. 168– 185.
8. Cherniavskiy, I.Y. (2015), “Military dosimetry as system of identification and assessment of radiation situation”, S*cience and Technology of Air Force of Ukraine*, Scientific and Technical Journal, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force of Ukraine, No. 4(21), pp. 126–133.
9. Kutsenko, S.A., Butomo, N.V. and Grebenyuk, A.N. (2004), *Military toxicology, radiobiology and medical protection*, Publishing House “Foliant”, St. Petersburg, 528 p.
10. Khoruzhenko, A.F. (2014), “Combined radiation injuries in emergency situations of civil and military time”, *Civil Protection Strategy: Problems and Research,* No. 1 (4), pp. 310–323.
11. Recommendations on the assessment of the consequences of the impact of the detrimental factors of a nuclear explosion on the personnel of troops, naval forces, civil defense formations and the population, Order N.310 of the Ministry of Defense of the USSR, 1983, 43 p.
12. (1977), Instruction on diagnostics, medical sorting and treatment of acute radiation damage, Ministry of Health of USSR, 29 p.
13. (2013), *Clinical recommendations for the provision of medical care to victims of ionizing radiation in emergency situations*, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, 72 p.
14. Gozenbuk, V.L., Keirim-Marcus, I.B., Savinskiy, A.K. and Chernov, E.N. (1978), D*ose load per person in fields of gamma-neutron radiation*, AtomPublishing, Moscow, 168 p.
15. Cherniavskiy, I.Y., Marushchenko, V.V., Gaydabuka, V.Y., Pisarev, S.A., Men'shov, S.N. and Matikin, V.B. (2016), “Biological aspects of impulse exposure of radiation factor which has military nature”, *Information Processing Systems:* Scientific Works of National Air Force University, No. 5(142), pp. 193–201.

16. Saaty, T. and Kerns, K. (1991), *Analytical Planning. The Organization of Systems*, Radio and communication, Moscow, 224 p.
17. Saaty, T. (1993), *Making decisions. Method for analyzing hierarchies*, Radio and communication, Moscow, 320 p.
18. Anishchenko, L.Y., Sverdlov, B.S. and Pisnya, L.A. (2009), "Choice of environmentally safe version of the ship's course on the basis of multi-criteria complex impact assessment using expert-analytical procedures", *Collection of scientific works, Ukrainian Research Institute of Ecological Problems,* pp. 38-60.

Received (Надійшла) 02.02.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.05.2018

Експертно-аналітичне прогнозування осередків ядерного ураження у завданнях моніторингу надзвичайних ситуацій воєнного характеру

Л. А. Пісня, І. Ю. Чернявський, С. Ю. Петрухін, О. М. Сєрікова

Актуальність. Розглянуто задачу комплексного оцінювання можливих осередків ядерного ураження у надзвичайних ситуаціях воєнного характеру. Метою роботи є визначення «необхідних і достатніх» параметрів ядерного вибуху та оцінка їх внеску в задачах ідентифікації осередків ядерного ураження, виявлення їх особливостей і меж, оцінки доз гамма-нейтронного опромінення населення та ефективного розподілу сил і засобів для дій в осередках ядерного ураження. **Метод**. З метою коректної оцінки ситуації в осередках ядерного ураження і планування необхідних заходів проведено оцінку внеску вихідних «необхідних і достатніх» параметрів виявлення ядерного вибуху різної потужності, виду та типу боєприпаса за критеріями вимірюваності із застосуванням метода аналізу ієрархій Т.Сааті, адаптованого для задач, що розглядаються. Перевагою застосування метода аналізу ієрархій для задач комплексного оцінювання можливих осередків ядерного ураження у надзвичайних ситуаціях воєнного характеру, є можливість знаходження вагових коефіцієнтів кожного елементу складної ієрархічної системи із урахуванням його взаємозв'язків та взаємовпливу шляхом попарних експертних порівнянь. Отримані вагові коефіцієнти (пріоритети) за рівнями ієрархії дозволяють визначити внесок елементів нижнього рівня на досягнення мети, яку сформульовано на верхньому рівні. Запропоновано процес оцінювання осередків ядерного ураження у вигляді трьох задач за критеріями по видах ядерного вибуху, тротиловому еквіваленту і типом боєприпаса, які являють собою комплексне експертно-аналітичне оцінювання уражаючих факторів ядерного вибуху. **Результати**. У роботі наводяться результати експертно-аналітичного оцінювання можливих осередків ядерного ураження у надзвичайних ситуаціях воєнного характеру в умовах невизначеності вихідної інформації при виявленні ядерних вибухів. **Висновки**. Підтверджено необхідність врахування спектра нейтронного випромінювання під час прогнозування осередків ядерного ураження в якості «достатньої» інформації з метою прийняття адекватних і ефективних прогнозів осередків ядерного ураження. Визначено, що під час проведення оцінки осередків ядерного ураження, як на основі виду ядерного вибуху, його потужності, так і типу ядерного боєприпаса найкраще буде прогнозуватися та виявлятися (ідентифікуватися) осередок радіаційно-механічного ураження. Під час виявлення комбінованого радіаційного ураження і радіаційного ураження в «чистому» вигляді найкращим є критерій на основі типу ядерного боєприпаса.

Ключові слова: осередок ядерного ураження; уражаючі фактори ядерного вибуху; метод аналізу ієрархій; експертно-аналітична оцінка.

Экспертно-аналитическое прогнозирование очагов ядерного поражения в задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций военного характера

Л. А. Писня, И. Ю. Чернявский, С. Ю. Петрухин, Е. Н. Серикова

Актуальность. Рассмотрена задача комплексной оценки возможных очагов ядерного поражения в чрезвычайных ситуациях военного характера. Целью работы является определение «необходимых и достаточных» параметров ядерного взрыва и оценка их вклада в задачах идентификации очагов ядерного поражения, выявление их особенностей и границ, оценки доз гамма-нейтронного облучения населения и эффективного распределения сил и средств для действий в очагах ядерного поражения. **Метод**. С целью корректной оценки ситуации в очагах ядерного поражения и планирования необходимых мер проведена оценка вклада исходных «необходимых и достаточных» параметров обнаружения ядерного взрыва различной мощности, вида и типа боеприпаса по критериям измеряемости с применением метода анализа иерархий Т.Саати, адаптированного для рассматриваемых задач. Преимуществом применения метода анализа иерархий для задач комплексной оценки возможных очагов ядерного поражения в чрезвычайных ситуациях военного характера, является возможность нахождения весовых коэффициентов каждого элемента сложной иерархической системы с учетом их взаимосвязей и взаимовлияния путем попарных экспертных сравнений. Полученные весовые коэффициенты (приоритеты) по уровням иерархии позволяют определить вклад элементов нижнего уровня на достижение цели, которая сформулирована на верхнем уровне. Предложено процесс оценивания очагов ядерного поражения в виде трех задач по критериям: виду ядерного взрыва, тротиловому эквиваленту и типу боеприпаса, которые представляют собой комплексное экспертно-аналитическое оценивание поражающих факторов ядерного взрыва. **Результаты**. В работе приводятся результаты экспертно-аналитического оценивания возможных очагов ядерного поражения в чрезвычайных ситуациях военного характера в условиях неопределенности исходной информации при выявлении ядерных взрывов. **Выводы**. Подтверждена необходимость учета спектра нейтронного излучения при прогнозировании очагов ядерного поражения в качестве «достаточной» информации с целью принятия адекватных и эффективных прогнозов очагов ядерного поражения. Определено, что при проведении оценки очагов ядерного поражения, как на основе вида ядерного взрыва, его мощности, так и типа ядерного боеприпаса лучше будет прогнозироваться и проявляться (идентифицироваться) очаг радиационно-механического поражения. При обнаружении комбинированного радиационного поражения и радиационного поражения в «чистом» виде лучшим является критерий на основе типа ядерного боеприпаса.

Ключевые слова: очаг ядерного поражения; поражающие факторы ядерного взрыва; метод анализа иерархий; экспертно-аналитическая оценка.

УДК 004.7 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.24**

А. С. Свиридов [1], А. А. Коваленко [1], Г. А. Кучук [2]

[1] Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
[2] Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

МЕТОД ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КРИТИЧНОЇ ДІЛЯНКИ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ ON/OFF-МОДЕЛІ ТРАФІКУ

Актуальність. Основним недоліком існуючих моделей трафіку критичної ділянки мережі є неврахування тієї обставини, що в періоди активності кожного окремого джерела трафіку передача пакетів здійснюється групами. Також звичайно не враховуються особливості бездротових мереж. **Мета статті** – розробка методу перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку для використання у бездротових мережах. **Методи**, що використовувались у дослідженнях: методи аналізу черг, фрактальний аналіз, статистична обробка даних. **Результати.** У статті розглянута класична ON/OFF модель трафіку, були виявлені недоліки такої моделі при застосуванні її для бездротової мережі передачі даних. Була запропонована розширена ON/OFF модель трафіку, яка виправляє недоліки існуючої, були виявлені умови, при яких вдосконалена модель буде працювати найбільш раціонально. Було запропоновано метод перерозподілу пропускної здатності на основі удосконаленої розширеної ON/OFF-моделі трафіку на вході критичної ділянки бездротової мережі передачі даних в якій, на відміну від аналогів, точка розподілу між службовим і інформаційним трафіком забезпечує пропорційний розподіл пропускної здатності, що дозволяє зменшити кількість ітерацій пошуку точки розподілу на основі втрати пакетів і забезпечити збільшення частки пропускної здатності, що надається для передачі інформаційного трафіку користувача. **Висновки.** Для зменшення часу передачі даних в умовах обмеженої пропускної здатності критичних ділянок бездротової мережі передачі даних найбільш раціонально використовувати методи, засновані на використанні властивостей фрактального трафіку, що дозволяють провести короткострокове прогнозування його інтенсивності. Запропонований варіант розширеної ON/OFF-моделі трафіку дозволить виконати короткостроковий прогноз його інтенсивності. Запропонований метод перерозподілу пропускної здатності дозволяє забезпечити збільшення частки пропускної здатності, що надається для передачі інформаційного трафіка користувачу.

Ключові слова: мережа; плаваюче вікно; трафік; метод; передача пакетів; алгоритм; ON/OFF модель.

Вступ

Постановка задачі та аналіз літератури. Процес агрегування трафіку безлічі окремих джерел в об'єднаній мережі (що включає також ділянки, побудовані на бездротових мережах передачі даних), призводить до стрибкоподібних зміна інтенсивності трафіку, який можна розглядати як фрактальний процес, статистичні характеристики якого виявляють властивості масштабної інваріантності.

Були розглянуті властивості й особливості таких трафікових процесів з урахуванням особливостей критичної ділянки бездротової мережі передачі даних. Було розглянуто дискретний у часі випадковий процес, який представлений часовим рядом X (t), t є Z, де X (t) інтерпретується як обсяг трафіку в байтах за час t; t – відлік трафіку. За аналогією з джерелом [1], об'єднаний (агрегований) процес X (m) для X при рівні об'єднання (агрегування) m має вигляд:

$$X^{(m)}(i) = \frac{1}{m} \sum_{t=m(i-1)+1}^{mi} X(t).$$

Тоді процес X(t) є строго фрактальним, в широкому сенсі, з показником Херста H (0,5 < H < 1). X (t) є приблизно фрактальним другого порядку, якщо виконується

$$\lim_{m\to\infty} R^{(m)}(k) = \frac{\sigma^2}{2}\left((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}\right)$$

Фрактальність другого порядку є основною структурою для аналізу і моделювання трафіку мереж передачі даних [2]. На рис. 1, 2 показана властивосты фрактального процесу на прикладі як трафіку в реальному масштабі часу, так і перемасштабованого: обидві траси виглядають статистично подібними.

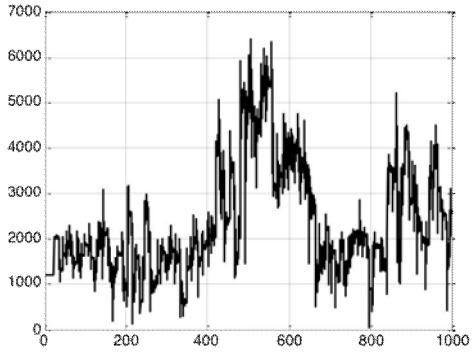


Рис. 1. Дискретна траса фрактального вихідного процесу при рівні агрегування з H = 0,8

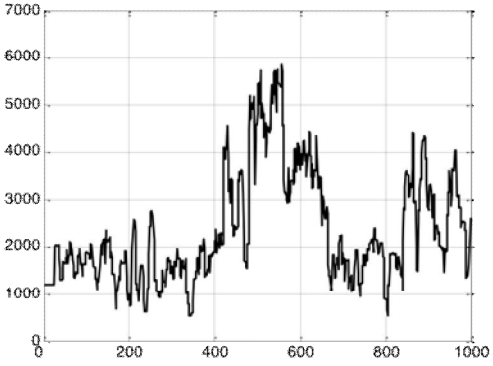


Рис. 2. Дискретна траса фрактального процесу при рівні агрегування (m = 10) у масштабованому процесі

Оцінка показника Херста на основі аналізу графіка автокореляційної функції [1]. Даний метод використовує аналіз графіка автокореляційної функції в подвійному логарифмічному масштабі. Кутовий коефіцієнт апроксимуючої прямої – наближене значення H (рис. 3, 4).

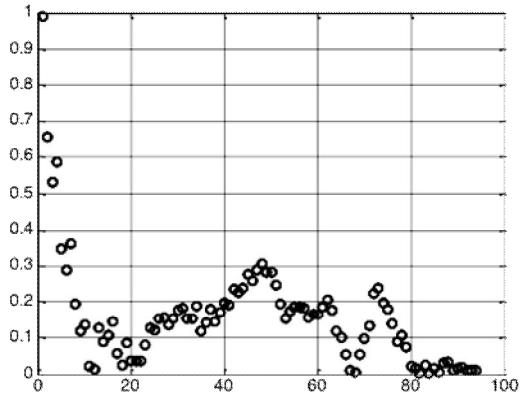


Рис. 3. Графік коефіцієнта кореляції для процесу, відповідного досліджуваного зрізу трафіку;

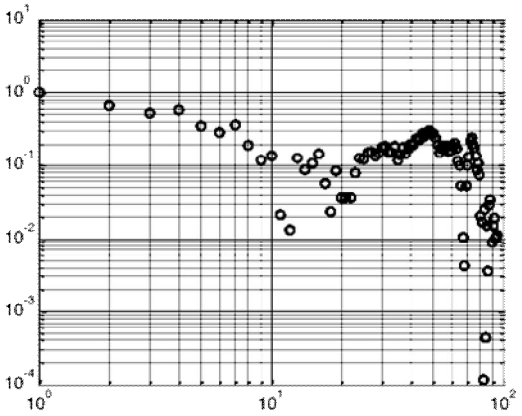


Рис. 4. Графік значень в подвійному логарифмічному масштабі

Для даного процесу значення буде H = 0,8. Розглянуті характеристики й особливості трафікових процесів критичної ділянки бездротової мережі передачі даних служать основою для проведення моделювання трафіку на вході критичної ділянки (з боку джерела трафіку) [3].

Однією з найпопулярніших моделей, яку можна зустріти в літературі для телекомунікаційного трафіку з вираженими фрактальними властивостями є ON/OFF-модель.

Традиційна ON/OFF-модель формує процес, який може приймати два стани: 0 або 1. Основними недоліками такої моделі є те, що не враховується що в періоди активності кожного окремого джерела трафіку передача пакетів здійснюється групами, також при цьому не враховуються особливості бездротових мереж [4].

Таким чином, завдання удосконалення даної моделі для бездротових мереж, є **актуальним**.

Метою даної статті є розробка методу перерозподілу пропускної здатності на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку з метою використання у бездротових мережах.

Результати досліджень

1. Удосконалення ON/OFF моделі трафіку окремого джерела. Перший з перерахованих вище факторів врахований за рахунок розширення традиційної ON/OFF-моделі структурою обліку періодів активності джерела. Для цього для j-го джерела, задається розбиття інтервалу часу [0, T] на деякій кількості періодів активності джерела де j - індекс джерела; i - номер інтервалу активності j-го джерела (ON-період); $tj_{,i}^{(0)}$ - початок i-го ON-інтервалу тривалістю дорівнює середньому часу джерела по інтервалу активності (рис. 5, 6).

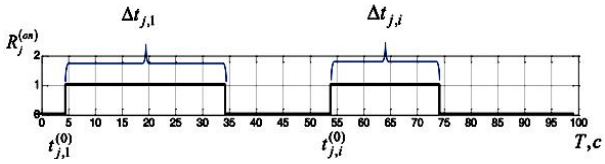


Рис. 5. Ієрархічна структура ON/OFF-моделі трафіку критичної ділянки бездротової мережі передачі даних, інтервали активності j-го джерела

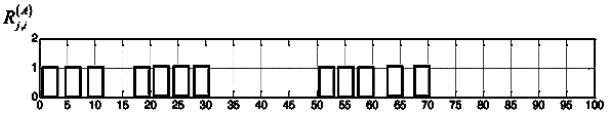


Рис. 6. Ієрархічна структура ON/OFF-моделі трафіку критичного ділянки бездротової мережі передачі даних, інтервали передачі груп пакетів в i-х інтервалах активності

Таке розбиття дозволяє врахувати порядок проходження груп пакетів на кожному ON-інтервалі даного джерела, а також враховує структуру періодів активності джерела.

Таким чином, в моделі враховуються дві з перерахованих вище причин, які обумовлюють прояв властивостей фрактальності трафіку: поведінка користувача і генерація трафіку [5, 6].

2. Прогнозування зміни інтенсивності трафіку. Згідно з дослідженнями, потоки даних в сучасних мережах, в тому числі і бездротових, характеризуються високим коефіцієнтом відхилення пікових значень інтенсивності. Таким чином, при об'єднанні великої кількості потоків даних, процес не згладжується, розподілених на часових інтервалах [7, 8]. З огляду на те, що процес управління перевантаженнями зазвичай реалізується на підставі аналізу втрат пакетів під час перевантаження, зниження швидкості передачі не завжди є виправданим заходом. В результаті пропускна здатність з'єднання використовується не в повній мірі. З огляду на те, що трафік на вході критичної ділянки бездротової мережі передачі даних може мати властивість фрактальності та може бути прогнозованим за рахунок кореляційної залежності, характерною для фрактальних процесів. Цю властивість можна використовувати для прогнозування необхідної для передачі розміру смуги пропускання [9].

Рис. 7 ілюструє статичне завдання необхідної пропускної здатності та можливість динамічної зміни пропускної здатності за рахунок прогнозування зміни інтенсивності трафіку.

Таким чином, для розробки методу перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки бездротової мережі передачі даних необхідно розробити метод прогнозування зміни інтенсивності трафіку та метод перерозподілу пропускної здатності. Однак, необхідно враховувати, що при роботі мережі в нормальному режимі службовий трафік займає 5...10% загальної пропускної здатності, а при динамічній зміні топології мережі, при утворенні в бездротовій мережі передачі даних сегментів, які є критичними ділянками, службовий трафік може займати 80 і більше відсотків загальної пропускної здатності на даній ділянці (рис. 8) [10].

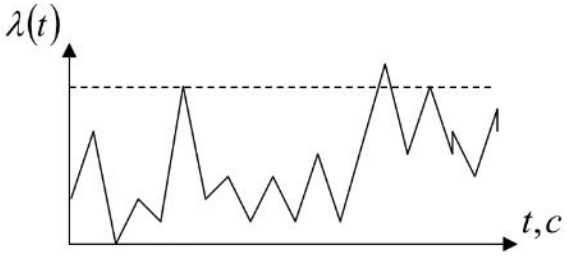


Рис. 7. Ілюстрація принципу динамічної зміни пропускної здатності на основі прогнозування інтенсивності трафіку, статичне завдання ПЗ

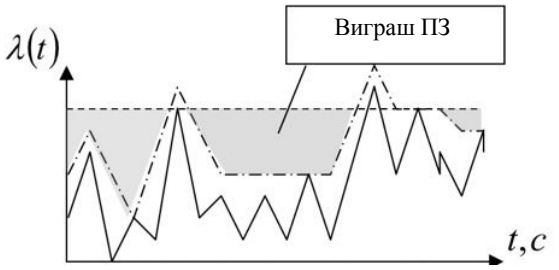


Рис. 8. Ілюстрація принципу динамічної зміни пропускної здатності на основі прогнозування інтенсивності трафіку, динамічне завдання ПЗ

Це призводить до зниження швидкості передачі пакетів інформаційного трафіку, їх втрат, а, отже, і до збільшення часу передачі даних. Отже, виникає необхідність перерозподілу пропускної здатності на критичній ділянці між потоками службового та інформаційного трафіку таким чином, щоб забезпечити і передачу пакетів інформаційного трафіку, і роботу мережі в умовах зміни її структури і складу.

3. Перерозподіл пропускної здатності на критичній ділянці. Пошук доступного розміру смуги пропускання для кожного з'єднання здійснюється за допомогою методів, заснованих на зворотному зв'язку між джерелом і споживачем. Протоколи за допомогою алгоритмів, заснованих на цих методах, визначають точку розподілу на основі відкидання пакетів при перевищенні потоком доступної пропускної здатності.

Для зменшення часу передачі даних і установки максимального розміру плаваючого вікна, при прояві трафіком властивостей фрактальності, можливе використання прогнозування на основі запропонованої ON/OFF моделі [11].

Запропонований метод передбачає визначення точки розподілу на основі прогнозування значень інтенсивності на основі прогнозування сумарного інформаційного трафіку за допомогою розробленої ON/OFF -моделі. Це дозволяє визначити максимальні значення інтенсивності інформаційного трафіку на інтервалі прогнозування. Для цього проводиться аналіз статистичних характеристик вхідних потоків та їх перевірка на наявність властивостей фрактальності. Якщо значення показника Херста вказує на фрактальність трафіку (0,75 = <H <1), то проводиться прогнозування за допомогою розробленої удосконаленої ON/OFF-моделі трафіку на вході критичної ділянки. В іншому випадку точка розподілу визначається за середнім значенням службового трафіку та інформаційного трафіку або використовуються існуючі методи пошуку точки розподілу [12].

Особливістю запропонованого методу є відмова від пріоритетності на критичній ділянці у визначенні точки розподілу і пропорційний розподіл пропускної здатності між потоками службового та інформаційного трафіку. Впливом можливого збільшення часу затримки пакетів службового трафіку можна знехтувати, так як час реакції мережі на зміну топології на порядок більше, ніж час проходження пакета через критичну ділянку.

5. Алгоритм управління інтенсивністю трафіку на критичній ділянці на основі зміни розміру плаваючого вікна. Розроблений метод пропорційного розподілу пропускної здатності на основі розробленої ON/OFF-моделі трафіку на вході критичної ділянки в якій, на відміну від аналогів, точка розподілу між службовим та інформаційним трафіком забезпечує пропорційний розподіл пропускної здатності та може бути реалізовано за рахунок виконання наступного алгоритму: аналіз статистичних характеристик потоків даних; аналіз показника Херста ;визначення точки розподілу для прогнозованих значень; прийняття рішення на основі суми максимальних значень інтенсивності; визначення потоків, які сумарно перевищують значення пропорційне розподілення пропускної; здатності; подальший моніторинг потоків на вході.

Продовжений метод і алгоритм перерозподілу пропускної здатності між службовим та інформаційним трафіками можна модифікувати для перерозподілу складових інформаційного трафіку.

Для проведення прогнозування, в кожному потоці інформаційного трафіку оцінюється значення показника Херста. Якщо це значення не задовольняє умові 0,75 = <H <<1, застосовуються відомі методи розподілу пропускної здатності, інакше – здійснюється прогнозування значень порогової інтенсивності для цих потоків за допомогою розробленої ON/OFF-моделі.

Знаючи значення інтенсивності вхідних потоків, можна здійснити перерозподіл пропускної здатності на критичній ділянці відповідно до даних прогнозу.

6. Перерозподіл пропускної здатності на основі прогнозування. З огляду на можливість перерозподілу пропускної здатності на основі прогнозування порогової інтенсивності потоку на вході, розглянемо таку характеристику, як – додаткова пропу-

скна здатність. Таким чином, інтервал часу на якому прогнозується значення порогової інтенсивності, і відповідно до якого пропускна здатність перерозподіляється на ньому так, що виконується умова

$$\min\left(R_{прог}(\tau)\right) \to \max\left(\lambda_{прог}(\tau)\right).$$

Виходячи з умови можна записати умову, необхідну при перерозподілі пропускної здатності з урахуванням прогнозування значення інтенсивності потоку даних (трафіку) на вході критичної ділянки:

$$\Delta\lambda_{ку} = \sum_{i=1}^{N_{вк}} \left(\left(R_{вых}^{(i)} + R_{доп}^{(i)} \right) - \lambda_{прогн}^{(i)} \right) \to 0$$

де $R_{выд}^{(i)}$ – виділена пропускна здатність для і-го віртуального каналу, що проходить через критичну ділянку (i = 1, Nвк); $R_{доп}^{(i)}$ – додаткова пропускна здатність для і-го віртуального каналу через критичну ділянку.

Для розглянутого випадку, чим більше значення $k_п$, тим менша пропускна здатність буде виділена для потоку даних з інтенсивністю λ_j і тим більше інформації буде втрачено та буде потребувати повторної передачі або чекатиме в черзі до каналу. У будь-якому випадку це призводить до збільшення часу передачі даних.

На рис. 9 показано перерозподіл пропускної здатності, суть якого полягає в тому, що в кожен інтервал часу *t* для кожного потоку даних λ_i виділяється кількість пропускної здатності відповідно до прогнозування значення інтенсивності потоку даних (трафіку) на вході критичної ділянки.

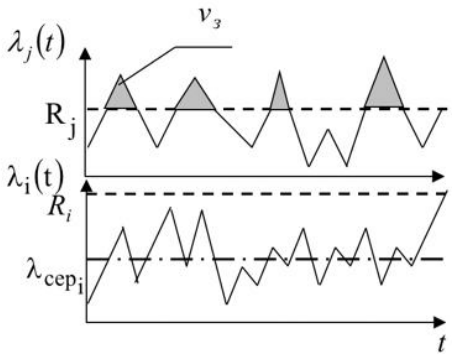


Рис. 9. Перерозподіл пропускної здатності з отриманням, що обумовлює зменшення об'єму втраченої або затриманої інформації

З огляду на його велике $k_п$, було отримано можливість виділення для потоку даних з інтенсивністю λ_j додаткової пропускної здатності:

$$R_{доп} = R_i - R_{прог}$$

Таким чином, при незмінній загальній пропускній здатності критичної ділянки $R_{кд}$, збільшується пропускна здатність критичної. Отриману додаткову пропускну здатність $R_{дод}$ можна використовувати або для збільшення швидкості передачі даних потоку даних з інтенсивністю λ_j, або для створення нового віртуального маршруту, що проходить через критичну ділянку, або для передачі службового трафіку, обсяг якого зростає при зміні структури та складу мережі та може бути в 3-4 рази більше, ніж сумарна інтенсивність потоків даних.

Збільшення виділеного розміру пропускної здатності, що характеризується збільшенням пропускної здатності для даного потоку даних, призводить до зменшення часу передачі пакету даних за рахунок додаткової пропускної здатності при незмінній пропускній здатності критичної ділянки.

Таким чином, розроблений метод перерозподілу пропускної здатності на основі прогнозування вхідних потоків даних в умовах обмеженої пропускної здатності, який дозволяє враховувати властивості фрактальності інформаційного трафіку.

На основі моніторингу потоків, на інтервалі часу T, на вході проводиться аналіз статистичних характеристик потоків службового трафіку та інформаційного трафіку здійснюється класифікація кожного з них за критерієм значення показника Херста.

Якщо значення показника Херста для будь-якого з них має значення – H = <0.75, то розподіл пропускної здатності для даного потоку здійснюється згідно відомих методів управління. Разом з цим здійснюється подальший моніторинг на черговому часовому інтервалі.

Якщо значення показника Херста лежить в межах 0.75 <H <1, то відповідно до алгоритму пропорційного розподілу пропускної здатності між службового трафіку та інформаційного трафіку визначається точка розподілу на інтервалі часу T.

На основі моніторингу потоків вже тільки інформаційного трафіку на інтервалі часу T, на вході проводиться аналіз статистичних характеристик потоків інформаційного трафіку і здійснюється класифікація кожного з них за критерієм значення показника Херста.

У межах інтервалу T здійснюється прогнозування значень інтенсивності потоків інформаційного трафіку, що володіють властивістю фрактальності на інтервалі часу t.

Для потоку, що володіє властивостями фрактальності, виділяється пропускна здатність відповідно до результатів прогнозування.

Якщо сума максимальних значень інтенсивності потоків інформаційного трафіку не перевищує значення сумарної пропускної здатності, проводиться або допуск в мережу нових користувачів, або збільшення швидкості передачі на величину, відповідну різниці існуючою та можливої пропускної здатності.

Якщо сума максимальних прогнозованих значень інтенсивності потоків інформаційного трафіку перевищує значення сумарної пропускної здатності для інформаційного трафіку, відповідно до процедури повідомлення про перевантаження, джерела з підтвердженням отримання пакету отримують і команду на зниження швидкості передачі. Швидкість передачі знижується без втрати пакетів до встановленого в протоколі рівня. Потім швидкість передачі збільшується відповідно до фази адитивного збільшення швидкості передачі.

Якщо в подальший моніторинг потоків на вході вказує на те, що для них показник Херста приймає значення H = <0.75, то здійснюється перехід до відомих раніше методів розподілу пропускної здатності. Разом з цим здійснюється подальший моніторинг на черговому часовому інтервалі.

Таким чином, вдосконалена розширена ON/OFF-модель вхідного трафіку для критичної ділянки, яка використовується при перерозподілі пропускної здатності критичного ділянки на основі прогнозування в бездротовій мережі передачі даних дозволяє зменшити час передачі даних на критичній ділянці.

Висновки

В статті було визначено, що для зменшення часу передачі даних в умовах обмеженої пропускної здатності критичних ділянок бездротової мережі передачі даних найбільш раціонально використовувати методи, засновані на використанні властивостей фрактального трафіку, що дозволяють провести короткострокове прогнозування його інтенсивності.

Була вдосконалена розширена ON/OFF-модель трафіку, яка використовується на вході в критичну ділянку, що в свою чергу дозволяє при моделюванні врахувати особливості хендовера і, в разі фрактального характеру трафіку, виконати короткостроковий прогноз його інтенсивності.

Також запропоновано метод перерозподілу пропускної здатності на основі удосконаленої розширеної ON/OFF-моделі трафіку на вході критичної ділянки бездротової мережі передачі даних в якій, на відміну від аналогів, точка розподілу між службовим і інформаційним трафіком забезпечує пропорційний розподіл пропускної здатності, що дозволяє зменшити кількість ітерацій пошуку точки розподілу на основі втрати пакетів і забезпечити збільшення частки пропускної здатності, що надається для передачі інформаційного трафіка користувачу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Willinger, W. A/ Bibliographical Guide to Self-Similar Traffic and Performance for Modern High-Speed Networks [Text] / W. Willinger, M. Taqqu, A. Erramilli // Stochastic Networks: Theory and Applications. – Oxford: Oxford University Press, 1996. – P. 282–296.
2. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – Вип. 2(35). – С. 97-102.
3. Олифер, В. Г. Новые технологии и оборудование IP-сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб.: БХВ, 2000. – 512 с.
4. Королев, А. В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях [Текст] / А. В. Королев, Г. А. Кучук, А. А. Пашнев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.
5. Ekwall R. Robust TCP Connections for Fault Tolerant Computing / R. Ekwall, P. Urban, A. Schiper // Proc. Int. Conf. on Parallel and Distributed Systems, 2003. – P. 501-508.
6. Кучук Г. А. Метод прогнозування фрактального трафіка / Г. А. Кучук, О. О. Можаєв, О. В. Воробйов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 6 (18). – С. 181-188.
7. Кучук, Г. А. Метод перераспределения пропускной способности для уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети [Текст] / Г. А. Кучук, А. С. Мохаммад, А. А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 3 (29). – С. 140–145.
8. Perkins, D. D. Factors Affecting the Performance of Ad Hoc Networks [/ Dmitri D. Perkins, Herman D. Hughes, Charles B. Owen // ICC. – 2002. – Vol. 4. – P. 2048–2052.
9. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E.Ruchkov // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2016. –P. 1-6. doi : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
10. Kuchuk G. A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G. A. Kuchuk, A. A. Kovalenko, A. A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
11. Xylomenos, G. TCP Performance Issue over Wireless Links [Text] / G. Xylomenos, G. C. Polyzos, P. Mahonen, M. Saarenen // IEEE Communications Magazine. – 2001. – № 4. – P. 52–58.
12. Кучук Г. А. Минимизация загрузки каналов святи вычислительной сети / Г. А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.

REFERENCES

1. Willinger, W.A., Taqqu, M. and Erramilli A. (1996), "Bibliographical Guide to Self-Similar Traffic and Performance for Modern High-Speed Networks", *Stochastic Networks: Theory and Applications*, Oxford University Press, Oxford, pp. 282–296.
2. Kuchuk, G.A. (2013), "Method of synthesis of the information structure of the coherent fragment of the corporate multiservice network", *Collection of scientific works of the Kharkiv University of Air Forces*, No. 2 (35), pp. 97-102.
3. Olifer, V.G. (2000), *New Technologies and Equipment for IP Networks*, BHV, SPb., 512 p.
4. Korolyov, A.V., Kuchuk, G.A. and Pashnev A.A. (2003), *Adaptive routing in corporate networks*, HVU, Kharkiv, 224 p.
5. Ekwall, R., Urban, P. and Schiper, A. (2003), "Robust TCP Connections for Fault Tolerant Computing,", *Proc. Int. Conf. on Parallel and Distributed Systems*, pp. 501-508.
6. Kuchuk, G.A., Mozhaev, O.O. and Vorobyov O.V. (2006), "Method of forecasting fractal traffic", *Radioelectronic and computer systems*, NAU "KhAI", Kharkiv, No. 6 (18), pp. 181-188.

7. Kuchuk, G.A., Mohammad, A.S. and Kovalenko A.A. (2011), "The method of redistributing the bandwidth to mitigate the transmission time of data in a wireless network", *Collection of scientific works of Kharkiv University of Air Forces*, KhUPS, Kharkiv, No. 3 (29), pp. 140-145.
8. Perkins, D.D., Hughes, H.D. and Owen C.B. (2002), "Factors Affecting the Performance of Ad Hoc Networks", *ICC*, Vol. 4, pp. 2048–2052.
9. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, pp. 1-6, available at : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
10. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Mozhaev, A.A. (2010), "An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010)*: Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010, NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, Kyiv, pp. 158-160.
11. Xylomenos, G., Polyzos, G.C., Mahonen, P. and Saarenen, M. (2001), "TCP Performance Issue over Wireless Links", *IEEE Communications Magazine*, No. 4, pp. 52–58.
12. Kuchuk, G.A. (1998), "Minimizing the loading of channels of the sacred network", *Information processing systems*, NASU, PANM, HVU, Kharkiv, No. 1 (5), pp. 149-154.

Received (Надійшла) 21.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

Метод перераспределения пропускной способности критического участка сети на основе совершенствования ON/OFF-модели трафика

А. С. Свиридов, А. А. Коваленко, Г. А. Кучук

Актуальность. Основным недостатком существующих моделей трафика критического участка сети есть неучет того обстоятельства, что в периоды активности каждого отдельного источника трафика передача пакетов осуществляется группами. Также обычно не учитываются особенности беспроводных сетей. **Цель статьи** - разработка метода перераспределения пропускной способности критического участка сети на основе совершенствования ON/OFF-модели трафика для использования в беспроводных сетях. **Методы**, которые использовались в исследованиях: методы анализа очередей, фрактальный анализ, статистическая обработка данных. **Результаты.** В статье рассмотрена классическая ON/OFF модель трафика, были обнаружены недостатки такой модели при применении ее для беспроводной сети передачи данных. Была предложена расширенная ON/OFF модель трафика, которая исправляет недостатки существующей, были обнаружены условия, при которых усовершенствованная модель будет работать наиболее рационально. Был предложен метод перераспределения пропускной способности критического участка беспроводной сети передачи данных на основе усовершенствованной расширенной ON/OFF-модели трафика на входе этого участка, в которой, в отличие от аналогов, точка распределения между служебным и информационным трафиком обеспечивает пропорциональное распределение пропускной способности. Это позволяет уменьшить количество итераций поиска точки деления на основе потери пакетов и обеспечить увеличение доли пропускной способности, предоставляемой для передачи информационного трафика пользователя. **Выводы.** Для уменьшения времени передачи данных в условиях ограниченной пропускной способности критических участков беспроводной сети передачи данных наиболее рационально использовать методы, основанные на использовании свойств фрактального трафика, позволяющие провести краткосрочное прогнозирование его интенсивности. Предложенный вариант расширенной ON/OFF-модели трафика позволит выполнить краткосрочный прогноз его интенсивности. Предложенный метод перераспределения пропускной способности позволяет обеспечить увеличение доли пропускной способности, предоставляемой для передачи информационного трафика пользователю.

Ключевые слова: сеть; плавающее окно; трафик; метод; передача пакетов; алгоритм; ON/OFF модель.

The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic

A. Sviridov, A. Kovalenko, H. Kuchuk

Relevance. The main disadvantage of the existing traffic models of the critical network section is that it does not take into account the fact that during the periods of activity of each separate traffic source, packets are transmitted by groups. Also, the characteristics of wireless networks are not usually taken into account. **The purpose of the article** is to develop the method for re-distributing the bandwidth of the critical network segment based on the improvement of the ON/OFF model of the traffic for use in wireless networks. **The methods** used in the studies: queuing analysis methods, fractal analysis, statistical data processing. **Results.** The classic ON/OFF model of traffic is considered in the article, the disadvantages of this model were discovered when applying it for a wireless data transmission network. An extended ON/OFF traffic model was proposed, which corrects the shortcomings of the existing one, conditions were found in which the improved model would work most rationally. A method was proposed for redistributing the bandwidth of the critical section of the wireless data network based on the improved extended ON / OFF model of traffic at the entrance of this section, in which, unlike analogues, the distribution point between the service and information traffic ensures a proportional distribution of the bandwidth. This makes it possible to reduce the number of iterations of the point of division search based on the loss of packets and to provide an increase in the proportion of bandwidth provided for the transmission of user traffic information. **Conclusions.** To reduce the time of data transfer in conditions of limited bandwidth of critical sections of the wireless data network, it is most rational to use methods based on the use of fractal traffic properties, allowing short-term forecasting of its intensity. The proposed version of the extended ON / OFF model of traffic will allow performing a short-term forecast of its intensity. The proposed method of bandwidth redistribution allows to increase the share of bandwidth provided for the transmission of information traffic to the user.

Keywords: network; floating window; traffic; method; packet transfer; algorithm; ON/OFF model.

UDC 621.373.54 **doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.25**

A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, V. Kravets

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

METHOD OF CODING INFORMATION DISTRIBUTED BY WIRELESS COMMUNICATION LINES UNDER CONDITIONS OF INTERFERENCE

The subject matter of the paper is the processes of analysis and evaluation of the effectiveness of information coding methods in wireless systems. The aim is to improve noise immunity of information messages under conditions of powerful electromagnetic interference, with the help of complex signal-code constructions. **The objective** is to develop a method for noise-immune encoding in a wireless information transmission system, providing increase in information transmission rate. The methods used: Simulation and digital signal coding. The following **results** have been obtained: A method for encoding information transmitted via wireless communication lines in presence of interference. For signal coding, it is proposed to use Gaussian monocycle with time-dependent position-pulse modulation (PPM). It is shown that for organization of independent channels within a single frequency band, it is practical to use a system of orthogonal codes. Pulses of the useful information signal accumulated in a receiver correlator provide significantly increase in signal-to-noise ratio, allowing transmission of information over a wide frequency range well below the noise level. As a result of encoding information in wireless information transmission systems with the help of ultra-short pulse signals, the effectiveness of the proposed method is a quantitatively and qualitatively evaluated. **Conclusion.** Using Pulse Position Modulation coding in wireless information transmission systems allows transmitting large volumes of information with high transmission rate and high noise immunity of the communication channel as well as protecting the channel from message interception. Ability to work with low radiating power and high signal capacity to penetrate various obstacles ensure fulfilment of electromagnetic compatibility requirements as well as stable communication in conditions of multipath radio wave propagation. A possibility that powerful electromagnetic disturbances accompanying a lightning discharge may have catastrophic impact on the information transmission channel is also eliminated.

Keywords: wireless communication line; information coding method; time-dependent position-pulse modulation; lightning discharge; electromagnetic compatibility; electromagnetic interference.

Introduction

Ongoing complication of the tasks to be solved in critical systems, for example, in control systems of nuclear power plants or in space rocket complexes, necessitates increase in quantity and variety of computer equipment involved.

The requirements to the reliability of such equipment constantly grow as well. However, an analysis of failures of such systems [1] shows that the number of accidents and the risks associated with them have been steadily increasing recently. This is mainly due to computer software failures. In 10% of cases, rocket and space equipment (RSE) failures occur because of on-board computer software failures [2, 3]. Therefore, software is one of the main sources of errors that lead to emergencies. Software failures caused by distortions of information occurring in inter-unit communication lines exposed to external interference are among the most dangerous. In particular, a powerful electromagnetic field accompanying a lightning is an extremely dangerous source of interference [4]. Such interference is characteristic for wide frequency range (0.3-30 MHz) in combination with the large amplitude of pulsed electromagnetic field (15-100 kV/m). These are extremely dangerous factors, especially for wire communication lines.

Problem analysis and task formulation

Information coding solves two tasks – synchronization and noise immunity improvement. Here noise immunity of an information transmission channel means the maximum level of electromagnetic interference affecting the communication channel, such that the channel retains the required quality of operation [5]. Reed-Solomon codes, as a kind of error correction block codes, have a huge advantage in comparison with binary codes when external impulse noise is considered. However, these codes require dual redundancy and complex modem schemes.

Therefore, the encoding comes at a price of reduction in the useful information transmission rate. At the same time, there is a need for increasing transmission rate between radio system (RS) units in wireless communication channels and it requires using the widest possible frequency range. Therefore, the use of Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) method for widening the spectrum while modulating and demodulating information signals makes it possible to increase interference immunity of a communication channel substituting one bit of original information with N bits of a spreading code combination.

Physical limitations of radio frequency resources enforce stringent requirements as to ensuring electromagnetic compatibility (EMC) of a system. Especially important is to solve this problem for limited and closed spaces, e.g. interior of RSE cases. Thus, to transmit information between RSE blocks, it is necessary to use ultrashort pulse signals with ultra-wide spectrum.

Task solution

An ultrashort pulse is not capable of information transmission. The transmission is possible only with a series of such pulses. A method of information encoding

and transmission being proposed here consists in generating a sequence of ultrashort pulses, which provides increasing information transmission rate. Some reference or basic sequence of pulses is used instead of a carrier signal. Pulses of the sequence are generated at strictly defined intervals. Information is encoded with the temporal shift of a pulse with respect to the reference signal. So a 0 bit can correspond to a pulse transmitted earlier than the reference one, while a pulse coming later than the reference one corresponds to a 1 bit (Fig. 1). This is a kind of time-dependent Pulse Position Modulation (PPM) [6, 7].

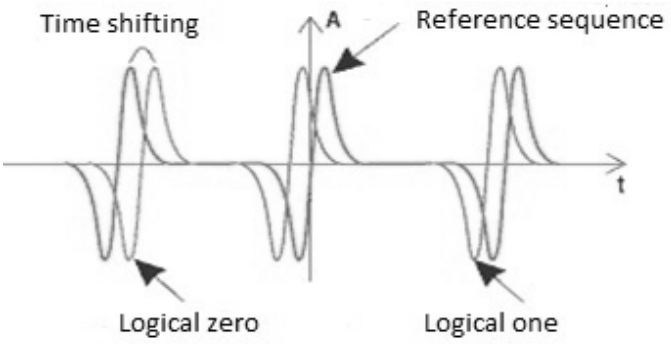


Fig. 1. PPM Modulation

Such coding sequence is based on a pulse signal whose shape is shown in Fig. 2 and is specified with equation (1). With a pulse front duration of 0.5 ns, its spectral range is 2 GHz:

$$A(t) = A_0 \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \frac{t}{\Delta t} \cdot \exp\left(t^2 / \Delta t^2\right), \qquad (1)$$

where Δt is pulse duration; t is time and A_0 is pulse amplitude.

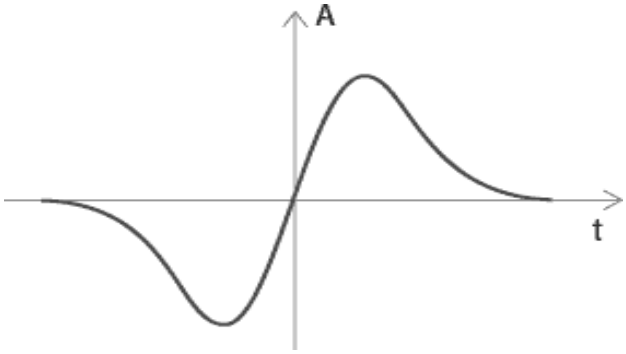


Fig. 2. The shape of an ultrashort pulse

Thus, the implementation of ultra-wideband (UWB) technology enables significant increase in data transfer rate up to 400-500 Mbit/s.

Inter-unit conductor communication lines of the system, e.g. cable lines or twisted pairs do not have sufficiently broad bands. Wireless links should be used for such broadband signals. Since the signal spectrum is broadband, it is necessary to provide for the possibility of frequency range sharing, i.e. multiple access.

At the same time, using many sources of broadband electromagnetic radiation in a closed confined space creates a complex electromagnetic environment (CEE) inside the object, putting forward higher requirements to noise immunity of circulating information. Reducing the radiation level of the broadband signal transmitters below the noise level makes it possible to meet the requirements of EMC, and this leads to improvement of noise immunity.

To separate several information communication channels, each of them is assigned its own spreading code combination. This is a pseudo-random sequence, whose elements constitute an orthogonal basis; this sequence specifies the channel code. And the information message is decoded only if the receiver and the transmitter share the same channel code, which improves interference immunity of the information circulating in the system.

Extraction of a useful signal in presence of noise is performed through correlating received and reference signals. A correlator performs convolution of the received signal and the reference signal. The correlator is an ideal detector for determining time shifts of the received pulses relative to the reference ones. When a 1 bit is received, the value of correlation function is equal to + 1, while its value is - 1 on reception of a 0 bit. In all other cases, the value of the correlation function is 0. Since a bit of information is represented e.g. with 200 ultrashort pulses and on codes coincidence the bits are accumulated in the receiver's integrator, a bit will be detected correctly even if 99 pulses out of 200 are corrupt.

A useful signal is extracted from the noise level and it exceeds the noise significantly: Signal-to-noise ratio here constitutes 23 dB. It should be noted that encoding an information bit with a series of ultrashort pulses eliminates the multipath signal propagation problem.

This is because any reflected signal received with an invalid time shift resulted from a different propagation path is discarded as an interference signal. At the same time, using a series of ultrashort pulses to encode an information bit makes it possible to eliminate inter-symbol interference because the energy of the preceding pulse completely dissipates before the following ultrashort pulse from the coding series is received.

A comparative analysis of noise-proof codes currently in use is shown in Figure 3. The analysis revealed that the duration of one information bit is within 1 to 4 seconds.

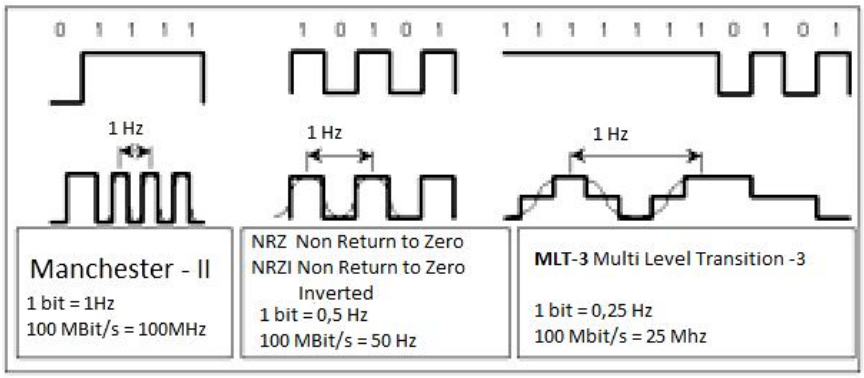


Fig. 3. Dependence of a carrier frequency on the encoding method

One Hertz of a carrier transmits one bit with Manchester code, two bits – with NRZ code and four bits – with MLT-3 (Multi Level Transmission-3).

Calculation of external interference impact on signal transmission and development of methods for reducing this impact are the main issues solved within the Theory of Noise Immunity. The most dangerous external interference affecting noise immunity of information circulating in a system is an electromagnetic field accompanying a lightning discharge with duration of 0.2 ms [4]. Such field always destroys an information bit encoded with any of the currently used noise-immune encoding methods. But with PPM encoding method, an external electromagnetic field accompanying a lightning bolt does not cause complete destruction of an information bit due to its representation, e.g. by 200 ultrashort pulses. The field can only reduce the signal-to-interference ratio at the receiver by 20%. In such case, the signal-to-noise ratio is decreased by 1 dB from 23 dB to 22 dB, and this would not cause an information signal failure.

Conclusions

Thus, application of PPM coding to information transfer in a confined space allows interference-free wireless information exchange in such conditions. This makes it possible to remove wired inter-block information communication lines, significantly reducing the weight of an RSE object. At the same time, due to the organization of ultra-wideband wireless communication, the information exchange rate between units of the system increases significantly. The catastrophic effect on information transfer channels resulted from powerful electromagnetic fields accompanying a lightning bolt can be eliminated as well.

REFERENCES

1. Kharchenko, V.S., Sklyar, V.V. and Tarasyuk, O.M. (2003), "Analysis of the risks of accidents for rocket and space technology: the evolution of causes and trends", *Radiotechnical and computer systems*, NAU "KhAI", Kharkiv, Vol. 3, pp. 135-149.
2. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov, E. (2016), "Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems", *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, pp. 1-6, available at : https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.
3. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Kharchenko, V. and Shamraev, A. (2017), "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems", *Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation*, Springer International Publishing, Vol. 105, pp. 313-338.
4. International Standard IEC 62305-1 Edition 2.0 2010-12 (2010), Annex A. Parameters of lightning current. Annex B. Time functions of the lightning current for analysis purposes.
5. IEC 1000-4-92 I(1992), Immunity tests. Resistant to interference. Level of noise immunity.
6. Serkov, A.A., Kravets, V.A., Breslavets, V.S. and Tolkachev M.Yu. (2018), *Research report under the contract No. 65708 of December 22, 2017*, "Computer modeling of the process of stress and current generation in cable communication lines as a result of electromagnetic field, accompanying lightning discharge", 57 p.
7. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M., Churyumov, G. and Issam, Saad (2017), "Noise-like signals in wireless information transmission systems", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 33-38, available at: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06.

Received (Надійшла) 21.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.05.2018

Метод кодування інформації,
що розповсюджується по безпроводовим лініям зв'язку в умовах завад

О. А. Серков, В. С. Бреславець, М. Ю. Толкачов, В. О. Кравець

Предметом вивчення є процеси аналізу та оцінки ефективності методів кодування інформації в безпроводових системах. **Мета** – підвищення завадостійкості інформаційних повідомлень в умовах дії потужних

електромагнітних завад шляхом застосування складних сигнально-кодових конструкцій. **Завдання:** формування методу завадостійкого кодування у безпроводовій системі передачі інформації, яка дозволяє підвищити обсяг та швидкість передачі інформації. Використовуваними **методами** є: методи імітаційного моделювання та цифрового кодування сигналів. Отримані такі **результати**. Запропоновано метод кодування інформації яка розповсюджується по безпроводовим лініям зв'язку в умовах завад. Обгрунтовано використання у якості кодового сигналу гаусівського моноциклу із кодуванням інформації за допомогою часової позиційно-імпульсної модуляції. Показано, що для організації незалежних каналів в одній смузі частот доцільно використовувати систему ортогональних кодів. Накопичені у кореляторі приймача імпульси корисного інформаційного сигналу дають можливість суттєво підвищити співвідношення сигнал / шум, забезпечуючи цим можливість передачі інформації у широкому частотному діапазоні значно нижче рівня шуму. В результаті кодування інформації надкороткими імпульсами у безпроводових системах передачі інформації проведена кількісна та якісна оцінка ефективності запропонованого методу. **Висновки.** Використання PPM – кодування у безпроводових системах передачі інформації дозволяє забезпечити великі обсяги та швидкості передачі інформації з одночасною високою завадозахищеністю каналу зв'язку та захистом його від перехоплення. Можливість працювати із малою потужністю випромінювання та висока проникливість сигналів крізь будь-які перешкоди дозволяють виконати вимоги електромагнітної сумісності та забезпечити стійкий зв'язок в умовах багатопроміневого розповсюдження радіохвиль. При цьому усувається можливість катастрофічної дії на канали передачі інформації потужних електромагнітних завад, які сіпроводжують розряд блискавки.

Ключові слова: шумоподібний сигнал; безпроводова система передачі інформації; часова позиційно-імпульсна модуляція; ортогональне кодування; електромагнітна сумісність.

Метод кодирования информации,
распространяющейся по беспроводным линиям связи в условиях помех

А. А. Серков, В. С. Бреславец, М. Ю. Толкачов, В. А. Кравец

Предметом изучения являются процессы анализа и оценки эффективности методов кодирования информации в беспроводных системах. **Цель** – повышение помехоустойчивости информационных сообщений в условиях действия мощных электромагнитных помех путем применения сложных сигнально-кодовых конструкций. **Задача**: формирование метода помехоустойчивого кодирования в беспроводной системе передачи информации, позволяющего повысить объем и скорость передачи информации. Используемыми **методами** являются**:** методы имитационного моделирования и цифрового кодирования сигналов. Получены следующие **результаты.** Предложен метод кодирования информации, распространяющейся по беспроводным линиями связи в условиях помех. Обосновано использование в качестве кодового сигнала гауссовского моноцикла с кодированием информации посредством временной позиционно-импульсной модуляции. Показано, что для организации независимых каналов в одной полосе частот целесообразно применять систему ортогональных кодов. Накопленные в корреляторе приемника импульсы полезного информационного сигнала дают возможность существенно повысить соотношение сигнал/шум, обеспечивая возможность передачи информации в широком частотном диапазоне значительно ниже уровня шума. В результате кодирования информации сверхкороткими импульсными сигналами в беспроводных системах передачи информации проведена количественная и качественная оценка эффективности предлагаемого метода. **Выводы.** Использование PPM – кодирования в беспроводных системах передачи информации позволяет обеспечить большие объемы и скорости передачи информации при высокой помехозащищенности канала связи и защиты его от перехвата. Возможность работы с малой излучаемой мощностью и высокая проникающая способность сигналов через различные препятствия позволяют выполнить требования по электромагнитной совместимости и обеспечить устойчивую связь в условиях многолучевого распространения радиоволн. При этом устраняется возможность катастрофического воздействия на каналы передачи информации мощных электромагнитных помех, сопровождающих разряд молнии.

Ключевые слова: шумоподобный сигнал; беспроводная система передачи информации; временная позиционно-импульсная модуляция; ортогональное кодирование; электромагнитная совместимость.

НАШІ АВТОРИ (AUTHORS)

АБЕД Эрич Аднан (Areej Adnan Abed) Університетський коледж Аль-Міраф (Al-Maaref University College), Анбар (Al Anbar), Республіка Ірак (Republic Iraq), викладач (Instructor), e-mail: maaref_database@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-1449-1037

АНДРЄЄВ Сергій Михайлович (Serhii Andreev) Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, e-mail: v.zhilin@khai.edu; ORCID: 0000-0003-4256-2637

АНТОНЕНКО Сергій Ігоревич (Serhii Antonenko) Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна; ад'юнкт; e-mail: sergey.antonenko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9085-7096

АРТЮХ Роман Володимирович (Roman Artiukh) Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", Харків, Україна, кандидат технічних наук, директор, e-mail: roman.artyuh77@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5129-2221

БАРИЛЮК Федір Анатолійович (Fedir Baryliuk) Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Україна, слухач, e-mail: barilyuk@gmail.com

БРЕСЛАВЕЦЬ Віталій Сергійович (Vitaliy Breslavets) Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, e mail: bres123@ukr.net ORCID: 0000-0002-9954-159X

ВАСІЛЕВ Велізар Ангелов (Velizar Vassilev) Технічний університет – Софія, Софія, Болгарія, кандидат технічних наук (Phd), доцент (Assist. Prof.) машинобудівного факультету, e-mail: vassilev_v@tu-sofia.bg

ВОЛОТІВСЬКА Дар`я Олександрівна (Darya Volotovskaya) Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, студентка кафедри кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, e-mail: v.zhilin@khai.edu

ГАВРИЛЕНКО Світлана Юріївна (Svitlana Gavrylenko) Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: gavrilenko08@gmail.com; ORCID: 0000-0006-4561-8368

ГРИШМАНОВ Дмитро Євгенійович (Dmytro Gryshmanov) Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна, аспірант кафедри льотної експлуатації, аеродинаміки та динаміки польоту, e-mail: di-sorry@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2373-0853

ДАНЮК Юрій Володимирович (Yuriy Danyuk) Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, e-mail: yuriydanyuk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3846-1078

ДОНЕЦЬ Володимир Віталійович (Volodymyr Donets) Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, студент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: vovan.s.marsa@gmail.com

ДОРОХІНА Анна Анатоліївна (Anna Dorokhina) Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", Харків, Україна; провідний архітектор, e-mail: annadorokhina2018@ukr.net; ORCID: 0000-0001-5073-7383

ДОЦЕНКО Зінаїда Олексіївна (Zinaida Dotsenko) Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, інженер, e-mail: zinadotsenko@gmail.com

ЖИЛІН Володимир Анатолійович (Volodymyr Zhilin) Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, e-mail: v.zhilin@khai.edu; ORCID: 0000-0002-7342-3456

КИСІЛЬ Дмитро Олександрович (Dmitriy Kisel) Військова частина А0135, Київ, Україна; e-mail: dima.bigman@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4408-4325

КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович (Andrey Kovalenko) Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, e-mail: andriy_kovalenko@yahoo.com; ORCID: 0000-0002-2817-9036

КОВАЛЮК Тетяна Володимирівна (Tetyana Kovalyuk) Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління, e-mail: tetyana.kovalyuk@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3944-658X

КОВТУН Анатолій Васильович (Anatolii Kovtun) Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин, e-mail: kav-60@ukr.net; ORCID: 0000-0002-8427-1005

КОЗІНА Ольга Андріївна (Olha Kozina) Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: kozina@kpi.kharkov.ua; ORCID: 0000-0003-0740-7068

КОРОЛЬОВ
Роман Володимирович
(*Roman Korolev*)
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри бойового застосування та експлуатації АСУ, e-mail: korolevrv01@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7948-5914

КРАВЕЦЬ
Валерій Олексійович
(*Valeri Kravets*)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри систем інформації, e-mail: vak@kpi.kharkov.ua

КУЧУК
Георгій Анатолійович
(*Heorhii Kuchuk*)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, email: kuchuk56@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2862-438X

КУЧУК
Ніна Георгіївна
(*Nina Kuchuk*)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: nina_kuchuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0784-1465

ЛИСИЦЯ
Аліна Олександрівна
(*Alina Lysytsia*)
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, студентка кафедри систем інформації, e-mail: lisitsia_alina@mail.ru

ЛИСИЦЯ
Дмитро Олександрович
(*Dmytro Lysytsia*)
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, аспірант кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: lysytsia-mail@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1778-4676

ЛІПЧАНСЬКА
Оксана Валентинівна
(*Oksana Lipchanska*)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, аспірантка кафедри обчислювальної техніки та програмування, email: lipchoks@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4173-699X

МАМУЗІЧ
Ілля
(*Ilya Mamuzić*)
Загребський університет (University of Zagreb), Загреб, Хорватія, доктор технічних наук, професор, професор факультету електротехніки та обчислювальної техніки

МЕЛЕШКО
Єлизавета Владиславівна
(*Yelyzaveta Meleshko*)
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кібербезпеки та програмного забезпечення, e-mail: elismeleshko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8791-0063

МЕЛЬНІКОВ
Сергій Михайлович
(*Serhii Melnikov*)
Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна, старший викладач кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин, e-mail: msm63@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7463-6798

ОБІХОД
Ярослав Якович
(*Yaroslav Obikhod*)
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна, аспірант, e-mail: ospf1988@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1186-9599

ПАРШЕНЦЕВ
Богдан Володимирович
(Bogdan Parshencev)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, аспірант кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: bogdanparshencev@gmail.com

ПЕТРУХІН
Сергій Юрійович
(Sergey Petrukhin)
Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії та бойових токсичних хімічних речовин, e-mail: s_petruhin@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4228-4622

ПІСНЯ
Леонід Андрійович
(Leonid Pisnia)
НДУ «Український науково дослідний інститут екологічних проблем», Харків, Україна, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник лабораторії, e-mail: leonid_pisnya@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3603-9412

ПОДРУБАЙЛО
Марина Вікторівна
(*Maryna Podrubailo*)
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, аспірант кафедри інформаційно-вимірювальної техніки, e-mail: podrubailo-maryna@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3758-4671

РАХІМІ
Яшар
(*Yashar Rahimi*)
Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського “ХАІ”, Харків, Україна, аспірант (Тегеран, Іран)

САЛЬНІКОВА
Ольга Федорівна
(*Olga Salnikova*)
Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна, доктор наук з державного управління, старший науковий співробітник, доцент кафедри, e-mail: olga_salnikova@ukr.net; ORCID: 0000-0001-9064-7078

СВИРИДОВ
Артем Анатолійович
(*Artem Svyrydov*)
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, e-mail: SvyrydovArtem@gmail.com

СЕМЕНОВ
Сергій Геннадійович
(*Serhii Semenov*)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, доктор технічних наук, с.н.с., завідувач кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: s_semenov@ukr.net; ORCID: 0000-0003-4472-9234

СЕРКОВ
Олександр Анатолійович
(*Aleksandr Serkov*)
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, e-mail: saa@kpi.kharkov.ua; ORCID: 0000-0002-6446-5523

СЄРІКОВА
Олена Миколаївна
(Elena Serikova)
Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна, інженер з охорони навколишнього середовища, e-mail: lelena.kharkov13@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0354-9720

СЄРОВ
Сергій Сергійович
(*Sergey Serov*)
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, інженер,
e-mail: sergsergi441@gmail.com

СИНИЦЯ
Валентин Іванович
(*Valentin Sinitsa*)
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-вимірювальної техніки,
e-mail: sinitsa47@i.ua; ORCID: 0000-0003-3944-658X

СКУЛИШ
Марія Анатоліївна
(*Mariya Skulysh*)
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігора Сікорського», Київ, Україна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж, e-mail: mskulysh@gmail.com; ORCID: 0000- 0002-5141-1382

СОКОЛ
Тетяна Владиславівна
(*Tatiana Sokol*)
Харківська медична академія післядипломної освіти, Харків, Україна, кандидат медичних наук, доцент кафедри фтизіатрії, пульмонології та сімейної медицини,
e-mail: sokol@kpi.kharkov.ua

СТАРОСТІНА
Альона Юріївна
(*Alona Starostina*)
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна, кандидат технічних наук, начальник науково-дослідної частини кафедри,
e-mail: Starostina-2010@yandex.ua; ORCID: 0000-0002-4923-0320

СТРАТІЄНКО
Наталія Костянтинівна
(Nataliia Stratiienko)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри програмної інженерії та інф. технологій управління, e-mail: strana@kpi.kharkov.ua; ORCID: 0000-0002-7925-6687

ТАБУНЕНКО
Володимир Олександрович
(*Volodimir Tabunenko*)
Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин, e-mail: tabunenko55@ukr.net; ORCID: 0000-0003-1347-5390

ТОЛКАЧОВ
Максим Юрійович
(*Maksym Tolkachov*)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, старший викладач кафедри систем інформації,
e-mail: tolkachov1@i.ua; ORCID:0000-0001-7853-5855

ТОЛСТОЛУЗЬКА
Олена Геннадіївна
(*Olena Tolstoluzka*)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: elenatolstoluzka@gmail.com

ТОМАШЕВСЬКИЙ
Роман Сергійович
(*Roman Tomashevskyi*)
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки, e-mail: romiocat.khpi@gmail.com

УЛІЧЕВ
Олександр Сергійович
(*Oleksandr Ulichev*)
Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна, аспірант кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення,
e-mail: askin79@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3736-9613

ФЕОКТИСТОВА
Олена Ігорівна
(*Olena Feoktystova*)
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна, асистент кафедри менеджменту,
e-mail: iv.shostak@gmail.com

ЧАЙКОВСЬКА
Олена Антонівна
(*Olena Chaikovska*)
Київський національний університет культури і мистецтв, Київ, Україна, кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук,
e-mail: lena@knukim.edu.ua; ORCID: 0000-0001-7769-1004

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; ORCID: 0000-0001-8265-2480

ЧЕЛАК
Віктор Володимирович
(*Victor Chelak*)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, магістрант кафедри обчислювальної техніки та програмування,
e-mail: Victor.Chelak@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8810-3394

ЧЕРНЯВСЬКИЙ
Ігор Юрійович
(Igor Cherniavskiy)
Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри РХБ захисту,
e-mail: chern.igor.71@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2785-0617

ШИШАЦЬКИЙ
Андрій Володимирович
(*Andrii Shyshatskyi*)
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, науковий співробітник,
e-mail: ierikon12@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6731-6390

ШМАТКОВ
Сергій Ігорович
(*Sergiy Shmatkov*)
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: tps@karazin.ua

ШОСТАК
Анатолій Васильович
(*Anatolii Shostak*)
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки, e-mail: A.Shostak@csac.khai.edu

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Наукове видання

Сучасні інформаційні системи

Advanced Information Systems

Науковий журнал

Том 2, № 2

Відповідальний за випуск *С. Г. Семенов*
Технічний редактор *Д. С. Гребенюк*
Комп`ютерна верстка *Н. Г. Кучук*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 19,0. Тираж 120 прим. Зам. 706-18

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 № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. **(057) 778-60-34**
e-mail: **bookfabrik@mail.ua**