



International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics and Telecommunications

**dedicated to the 85th anniversary of the Department
of Theoretical Radio Engineering and Radio Measurements**

May 22–23, 2024

Lviv, Ukraine



**Міжнародна науково-технічна конференція
Сучасні проблеми
в радіоелектроніці, телекомунікаціях**
**присвячена 85-річчю кафедри
теоретичної радіотехніки та радіовимірювань**

22–23 травня, 2024

Львів, Україна

**Dedicated to the 85th anniversary
of the Department of Theoretical Radio
Engineering and Radio Measurements**

**Присвячено 85-річчю кафедри
теоретичної радіотехніки
та радіовимірювань**

Lviv Polytechnic National University
Institute of Telecommunications, Radioelectronics
and Electronic Engineering

**INTERNATIONAL
CONFERENCE ON**

**ADVANCED TRENDS
IN RADIOELECTRONICS
AND TELECOMMUNICATIONS
ATRT'2024**

Proceedings

May 22–23

Lviv, Ukraine

Lviv
Lviv Polytechnic Publishing House
2024

Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут телекомунікацій, радіоелектроніки
та електронної техніки

**МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
В РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ,
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ
СПРТ'2024**

МАТЕРІАЛИ

22–23 травня

Львів, Україна

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2024

УДК 621.3, 004
С 89

Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми в радіоелектроніці, телекомунікаціях» (СПРТ'2024), Львів, Україна, 22–23 травня 2024. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2024. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/apr/34397/atrt-2024conferenceproceedings.pdf>, вільний. – Заголовок з екрана. – Мова укр. і англ. – 287 с.
ISBN 978-966-941-945-3

У матеріалах конференції СПРТ'2024 відображено сучасні тенденції розвитку науки й інженерії в галузях радіоелектроніки, комп'ютерних наук і телекомунікацій. Ці матеріали рекомендовано науковцям й інженерам у галузі радіоелектроніки та телекомунікацій.

УДК 621.3, 004

The proceedings of the ATRT'2024 conference depict modern trends in the development of science and engineering in the fields of radio electronics, computer science and telecommunications. These proceedings are recommended for scientists and engineers in the field of radio electronics and telecommunications.

Матеріали подано в авторській редакції

ISBN 978-966-941-945-3

© Національний університет
«Львівська політехніка», 2024

PROGRAM COMMITTEE

Chairman:

Yu. Bobalo – Rector of Lviv
Polytechnic National University

Deputy Chairman:

B. Strykhalyuk (LPNU, Lviv)

Committee members:

Z. Bluvband (ALD, Tel Aviv, Israel)

A. Bondariev (LPNU, Lviv)

B. Volochiy (LPNU, Lviv)

S. Voloshynovskiy (University of
Geneva, Switzerland)

R. Goliaka (LPNU, Lviv)

N. Hots (LPNU, Lviv)

O. Hoholyuk (LPNU, Lviv)

I. Demydov (LPNU, Lviv)

M. Dyvak (WUNU, Ternopil)

A. Druzhinin (LPNU, Lviv)

F. Dubrovka (NTU KPI, Kyiv)

S. Zhuk (NTU KPI, Kyiv)

M. Ilchenko (NTU KPI, Kyiv)

V. Kychak (VNTU, Vinnytsia)

M. Klymash (LPNU, Lviv)

O. Kokhanov (OPNU, Odesa)

O. Lemeshko (KhNURE, Kharkiv)

V. Lytvyn (LPNU, Lviv)

I. Lisovuy (SUITT, Odesa)

J. Matuszewski (MUT, Warsaw,
Poland)

V. Mosorov (LUT, Lodz, Poland)

V. Oborzhytskyy (LPNU, Lviv)

L. Ozirkovskyy (LPNU, Lviv)

O. Osadchuk (VNTU, Vinnytsia)

Yu. Romanynshyn (LPNU, Lviv)

B. Rusyn (PMI, Lviv)

V. Teslyuk (LPNU, Lviv)

L. Uryvsky (NTU KPI, Kyiv)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Бобало Ю.Я. – проф., ректор
Національного університету
«Львівська політехніка»

Заступник:

Стрихалюк Б.М. (НУЛП, м. Львів)

Члени комітету:

Блувбанд З.М. (компанія «ALD»,
Тель-Авів, Ізраїль)

Бондарєв А.П. (НУЛП, м. Львів)

Волочій Б.Ю. (НУЛП, м. Львів)

Волошиновський С.В. (Університет
Женеви, Швейцарія)

Голяка Р.Л. (НУЛП, м. Львів)

Гоц Н.Є. (НУЛП, м. Львів)

Гоголюк О.П. (НУЛП, м. Львів)

Демидов І.В. (НУЛП, м. Львів)

Дивак М.П. (ЗУНУ, м. Тернопіль)

Дружинін А.О. (НУЛП, м. Львів)

Дубровка Ф.Ф. (НТУ «КПІ», м. Київ)

Жук С.Я. (НТУ «КПІ», м. Київ)

Ільченко М.Ю. (НТУ «КПІ», м. Київ)

Кичак В.М. (ВНТУ, м. Вінниця)

Климаш М.М. (НУЛП, м. Львів)

Коханов О.Б. (НУ «Одеська
політехніка», м. Одеса)

Лемешко О.В. (ХНУРЕ, м. Харків)

Литвин В.В. (НУЛП, м. Львів)

Лісовий І.П. (ДУІТЗ, м. Одеса)

Матушевський Я. (ВТА, м. Варшава,
Польща)

Мосоров В.Я. (ЛТУ, м. Лодзь,
Польща)

Оборжицький В.І. (НУЛП, м. Львів)

Озірковський Л.Д. (НУЛП, м. Львів)

Осадчук О.В. (ВНТУ, м. Вінниця)

Романишин Ю.М. (НУЛП, м. Львів)

Русин Б.П. (ФМІ, м. Львів)

Теслюк В.М. (НУЛП, м. Львів)

Уривський Л.О. (НТУ «КПІ», м.
Київ)

G. Shilo (ZNU, Zaporizhzhia)
I. Yaremchuk (LPNU, Lviv)
Y. Yashchyshyn (WUT, Warsaw,
Poland)

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman:

I. Horbatiy, prof., head of
Department of Theoretical Radio
Engineering and Radio
Measurements, Lviv Polytechnic
National University

Deputy Chairman:

M. Kiselychnyk (LPNU, Lviv)

Secretary:

I. Maksymiv (LPNU, Lviv)

Committee members:

S. Altunin (LPNU, Lviv)
M. Zmysnyi (LPNU, Lviv)
A. Kuzyk (LPNU, Lviv)
N. Kuzyk (LPNU, Lviv)
S. Nichkalo (LPNU, Lviv)
Y. Pyrih (LPNU, Lviv)
V. Fast (LPNU, Lviv)
O. Shkiliuk (LPNU, Lviv)

Шило Г.М. (ЗНУ, м. Запоріжжя)
Яремчук І.Я. (НУЛП, м. Львів)
Ящишин Є.М. (Варшавська
політехніка, Польща)

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Горбатий І.В., проф., зав. кафедри
теоретичної радіотехніки та
радіовимірювань Національного
університету «Львівська
політехніка»

Заступник:

Кіселичник М.Д. (НУЛП, м. Львів)

Секретар:

Максимів І.П. (НУЛП, м. Львів)

Члени комітету:

Алтунін С.І. (НУЛП, м. Львів)
Змисний М.М. (НУЛП, м. Львів)
Кузик А.О. (НУЛП, м. Львів)
Кузик Н.І. (НУЛП, м. Львів)
Нічкало С.І. (НУЛП, м. Львів)
Пиріг Ю.В. (НУЛП, м. Львів)
Фаст В.М. (НУЛП, м. Львів)
Шкілюк О.П. (НУЛП, м. Львів)

CONTENS / ЗМІСТ

Plenary Reports / Пленарні доповіді

Бобало Ю.Я., Горбатий І.В. Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань: віхи становлення і розвитку.....	16
Бондарєв А.П. Наукові здобутки кафедри ТРР як віхи технічного прогресу.....	21
Кузик А.О. Витоки радіотехнічної школи у львівській політехніці.....	24
Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Сальник Ю.П., Онищенко В.А. Застосування технології стохастичного моделювання до оцінювання ефективності радіоелектронних комплексів виявлення БПЛА.....	40
Яремчук І.Я., Булавінець Т.О. Поверхневий плазмонний резонанс в срібних наночастинках: вплив підкладки.....	45
Політанський Р.Л., Площик А.С. Використання наноматеріалів та метаматеріалів для пристроїв електромагнітного поля.....	47

Section 1. Theory of Signals and Electronic Circuits.

Radio Measurements. Metrology.

Секція 1. Теорія сигналів та електронних кіл.

Радіовимірювання. Метрологія.

Чесановський І.І., Табенський С.М. Узагальнення методів побудови оптимального базису в задачах узгодженої фільтрації сигналів.....	52
Озірковський Л. Д., Братюк П. В. Високоєфективний спосіб перетворення енергії напруги постійного струму на енергію імпульсів для живлення мобільних і автономних засобів радіоелектроніки.....	55

Катін П.Ю., Мішин О.В. Основи методики аналітичного розрахунку спектру широтно-імпульсного сигналу для систем радіокерування.....	59
Блащак Д.Ю. Цифрова обробка стохастичних сигналів.....	65
Прохоров А.В. Вимірювання частоти детермінованої періодичної послідовності однополярних прямокутних імпульсів за допомогою програмно- апаратних засобів.....	68
Горбатий І.В., Фурса Т.П. Дослідження ефективності сучасних телекомунікаційних систем передавання даних.....	73
Дзюба А.О., Бударецький Ю.І. Структурно-алгоритмічна уніфікація радіолокаційних вимірювачів параметрів руху високодинамічних об'єктів.....	77
Бобало Ю.Я., Кіселичник М.Д. Надійність систем суміснопрацюючих компонентів.....	81

Section 2. Modeling in Radio Electronics and Telecommunications. Design of Electronic and Telecommunication Systems and Networks.

Секція 2. Моделювання в радіоелектроніці та телекомунікаціях. Проектування радіоелектронних і телекомунікаційних систем та мереж.

Гліненко Л.К., Фаст В.М., Занічковський Ю.В., Шандра М.С. Проблеми і перспективи 3D MID технологій.....	90
Алтунін С.І., Бондарев А.П., Максимів І.П. Імітаційне моделювання стежних вимірювачів траєкторії мінометних снарядів.....	94
Досин Д.Г. Застосування середовища математичного моделювання sagemath для генерування завадостійких кодів за допомогою полів галуа.....	98

L. Ozirkovskyi, M. Zmysnyi, O. Shkiliuk Research of Failure Rate of Fault-tolerant Information and Control System with Majority Structure.....	101
B. Volochiy, M. Zmysnyi, O. Shkiliuk The Impact of Aging Effect of Core Modules the Fault-tolerant System with Majority Structure on Reliability Indicators.....	105

Section 3. Models, Algorithms, Software and Hardware of Information and Communication and Electronic Devices.

Секція 3. Моделі, алгоритми, програмно-апаратні засоби інформаційно-комунікаційних та радіоелектронних пристроїв.

Бугайов М. В. Метод фільтрації імпульсних сигналів у каналах із завмираннями.....	111
Маленчик Т.В., Жук С.Я. Адаптивний алгоритм супроводження рухомої цілі за даними FMCW радару.....	115
A. Bench Experimental Estimation of the Raspberry PI 4 and Raspberry PI 5 GPIO Speed.....	119
Озірковський Л.Д., Волочій Б.Ю., Приймак Н.І., Жук Ю.П. визначення показників живучості LORA MESH мереж.....	124
Горбатий І.В., Кобринець О.Т., Лаврів В.Б. Оцінка ефективності застосування радіоелектронної розвідки з використанням автономних систем в якості детекторів.....	128
Шаповалов Ю.І., Бачик Д.Р., Романюк Р.О. Метод блочних матриць та матричні моделі лінійних параметричних елементів у частотній області.....	133

**Section 4. Radio Electronic Systems. Antennas,
Microwave Technology and Electromagnetic Compatibility.
Avionics. Biomedical Engineering.**

**Секція 4. Радіоелектронні системи. Антени,
мікрохвильова техніка та електромагнітна сумісність.
Авіоніка. Біомедична інженерія.**

Кривов'яз А.Т. Розробка, модернізація і серійне виробництво вітчизняної апаратури супутникової навігації.....	139
Мельник С.І., Мельник С.С., Лабазов С.М. Особливості вирішення задач георадарної томографії у ближньопольовому діапазоні частот.....	141
Мельник С.І., Мельник С.С., Лабазов С.М. Особливості застосування інформаційно-алгоритмічного методу до задач георадарної томографії.....	145
Зубков А.М., Бударецький Ю.І., Онищенко В.А., Янов С.Г. Застосування засобів стільникового зв'язку для радіолокаційного спостереження за літальними апаратами в межах урбанізованої місцевості.....	150
Стрихалюк Б.М., Зайвий Р.О., Ткаченко В.Ф. Шляхи оптимізації маршрутизації при груповому використанні БпЛА.....	154
Саратов Є.М., Дубровка Ф.Ф. Ультраширокопосмуговий пристрій збудження конічних рупорних антен.....	157
Максимів І.П., Фабіровський С.Є. Особливості застосування квадрифілярних антен для постановки радіозавад.....	160
Оборжицький В.І., Сторож В.Г., Фабіровський С.Є., Матієшин Ю.М., Протасевич В.Г. Широкопосмугова патч антена.....	165
Залуцький Я.М., Шкробот А.В. Попередні результати розробки багатоцільового швидкісного БпЛА ЗШ-33 «Ласка».....	169

**Section 5. Telecommunication Systems and Networks.
Wired and Wireless Systems, Network Services,
Management, Operation.**

**Секція 5. Телекомунікаційні системи та мережі.
Проводові та безпроводові системи,
мережеві послуги, керування, експлуатація.**

Малий О.Ю., Фурманова Н.І., Онищенко В.Ф.

Шифрування аналогового відеосигналу
з використанням хаотичних сигналів..... 172

Халімонов Я. І., Сотник С. В. Створення інтелектуального
модулю для автоматизованого моніторингу
середовища у приватних та комерційних
приміщеннях з використанням комп'ютерно-
інтегрованих технологій..... 176

Кирпота Ф. В., Сотник С. В. Визначення функціональних
вимог в автоматизованій теплиці..... 182

Abhishek Pandey Enhancing Student Engagement Through
Telecommunications in Distance and Online Learning..... 186

Невінський Д.В., Скочеляс В.В. Концепція розвитку
енергетичної інфраструктури..... 189

Section 6. Electronics, Photonics and Semiconductor Electronics.

**Секція 6. Електроніка, фотоніка та напівпровідникова
електроніка.**

Кузик Н.І., Стахіра П.Й., Іванюк Х.Б. Використання
похідних BODIPY в технології виготовлення
органічних сонячних елементів..... 194

D.-H. Talanchyk, O. Kuttrakov, A. Druzhinin, S. Nickkalo
Medical Sensor Based on Silicon-on-insulators
Structures..... 196

Невінський Д.В., Мельничок О.Я. Перспективи повністю
оптичних мереж зв'язку..... 199

**Section 7. Information Systems and Technologies.
Automated Control Systems. Robotics.**

**Секція 7. Інформаційні системи та технології.
Автоматизовані системи керування. Робототехніка.**

K. Menkov, M. Sidorova Projectpalnner: Web Application Tool For Project Task Management.....	204
Теслюк В.М., Цмоць І.Г., Різник О.Я. Підвищення завадостійкості та скритності передачі інформації з використанням баркероподібних кодів.....	207
Дирів А. І., Лозинська О. В. Аналіз проблематики плагіату формул в наукових публікаціях та дослідження методу порівняння на основі схожості змінних.....	210
Линник Р.О., Андруник В.А. Дослідження проблематики визначення громадської думки на конфліктні ситуації у соціальних мережах.....	214
V. Yakovyna, O. Khil Challenges of Using Machine Learning Algorithms for Evaluating and Predicting Software Defects.....	218
Мельник С.І., Мельник С.С. Вирішення зворотних задач томографії в інформаційному просторі можливих рішень.....	222
Гарасимчук О.І. Тестування розподілених інформаційних систем.....	226
A. Lomovatskyi, T. Basyuk Classification of Machine Learning Methods for Determining the Emotional Coloring of Ukrainian Language Content.....	230
Харченко А. І., Кобилін І. О. Особливості роботи з часовими рядами в робототехніці.....	234
Хохлов В.С., Твердохліб Є.Р. Еволюція та перспективи розвитку робототехніки в інформаційних системах та автоматизованих системах керування.....	238

Артамонов О.О. Сучасні підходи в оптимізації хмарних продуктів.....	241
Коваленко А. О., Федасюк Д.В. Метрики архітектури програмного забезпечення з урахуванням особливостей мови C++.....	243
Чернова І.С., Лисенко В.П. Моделювання процесів інтелектуального управління виробництвом ентомофагів.....	249
Балич П.Є. Вдосконалення логістичних операцій постачання за допомогою систем підтримки та прийняття рішень.....	251
Щербак С.С., Назаревич О.В. Дослідження деяких аспектів безпечного застосування графових нейронних мереж в DATA-DRIVEN додатках на основі хмарної архітектури.....	254
M. Seniv, S. Zdebskyi The Module for Automated Determination of Operational Conditions and Visualization of State Graphs for an Improved Software System for Automated Calculation of Reliability Indicators of Technical Systems.....	258
Yu. Romanyshyn, S. Yelmanov, M. Durkot, O. Tehlivets, V. Melnyk Neural Network Classification of CEED2016 Base Images by Types of Their Contrast Enhancement.....	262

Section 8. Security of Information and Communication Systems.

Секція 8. Безпека інфокомунікаційних систем.

Котух Є.В., Халімов Г.З. Новий підхід до розробки алгоритмів криптосистем з відкритим ключем в телекомунікаційних системах.....	267
Полікаровських О.І. Протидія атакам проти системи GNSS на морському транспорті.....	270

Іваницька С. М., Іваницький М. А. Правове забезпечення безпеки даних при використанні технології блокчейн.....	272
Y. Stefinko, A. Piskozub Penetration Testing Expert System in the Context of Russian Cyber-war Against Ukraine.....	274
Ільчук Н.Г. Безпекові виклики в кіберфізичних системах.....	279
Маньковський С.В., Матісшин Ю.М. Python-модель протоколу узгодження секретного ключа у групі з довільної кількості учасників.....	283
Іванов А.В., Коваленко Т.М. Безпека інфокомунікаційних систем.....	285

PLENARY REPORTS

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

Бобало Ю.Я., д-р. техн. наук., проф.
Горбатий І.В., д-р. техн. наук., проф.
giv@polynet.lviv.ua
НУ «Львівська політехніка»

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ РАДІОТЕХНІКИ ТА РАДІОВИМІРЮВАНЬ: ВІХИ СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТКУ

Вступ

Ця стаття присвячена історії зародження, становлення і розвитку кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, заснованої у жовтні 1939 р. як кафедра радіотехніки під керівництвом професора Грошковського Януша Теодоровича (згідно із витягом з протоколу №11 від 9 травня 2024 р. засідання Вченої ради Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету «Львівська політехніка»).

Віхи становлення і розвитку кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

У жовтні 1939 р. професор Я.Т. Грошковський створив й очолив кафедру радіотехніки в складі електротехнічного факультету Львівського політехнічного інституту, використовуючи наявну радіотехнічну групу, що існувала на кафедрі фізики №1 [1]. Перший випуск інженерів-електриків, які прослухали курс радіотехніки, відбувся 14 червня 1941 р.

У 1941 р. Львівський політехнічний інститут припинив свою роботу і відновив лише в 1944 р. Наказом № 57 від 1 жовтня 1944 р. на електротехнічному факультеті організована кафедра радіотехніки та телемеханіки, очолювана Загаєвським Тадеушом Карловичем. У штат кафедри також увійшли: Величко Ю.Т., Любельський К.К., Корняга Ч.Д., Ганявець Г.Г. Ця кафедра була утворена на базі раніше створеної професором Я.Т. Грошковським кафедри радіотехніки.

З 7 жовтня 1944 р. завідувачем кафедри радіотехніки та телемеханіки призначено д.т.н., професора Харкевича Олександра Олександровича, відомого вченого в галузі теорії автоколивань, теорії інформації та електроакустичних апаратів. Професор О. О. Харкевич заклав у Львівському політехнічному інституті підвалини науково-дослідної лабораторії радіотехнічного профілю, яка відтак виросла в Науково-дослідний конструкторський інститут електронної вимірювальної та обчислювальної техніки (НДКІ «ЕЛВІТ»).

У березні 1945 р. кафедру радіотехніки і телемеханіки було розділено на дві кафедри – «Радіотехніка» та «Автоматика та телемеханіка». Завідувачем кафедри «Радіотехніка» призначено доцента Гітшова Георгія Вільгельмовича. У 1946 р. перший випуск інженерів спеціальності «Радіотехніка» налічував 4 особи – Захарія Й.А., Вакуленко О.Л., Магура Н.О., Новіцький І.В.

Із червня 1946 р. завідувачем кафедри «Радіотехніка» призначено старшого викладача Величка Юрія Теофановича. У 1947 р. Ю.Т. Величко успішно захистив кандидатську дисертацію і став першим викладачем із науковим ступенем. У цьому ж році на кафедру «Радіотехніка» було зараховано на посаду старшого викладача Є.Ф. Замору, випускника Московського інституту інженерів зв'язку, а через рік – випускників кафедри Г.А. Шевцова й О.Л. Вакуленко – на посади асистентів. Відтак у 1949 р. на посаду асистента зараховано випускника першого випуску спеціальності «Радіотехніка» Й.А. Захарію, який, згодом, у 1950 р., успішно захистив під керівництвом професора К.Б. Карандєєва кандидатську дисертацію і став другим викладачем кафедри з науковим ступенем.

У лютому 1952 р. наказом Міністерства вищої освіти СРСР у Львівському політехнічному інституті організовано радіотехнічний факультет зі спеціальностями «Радіотехніка» та «Автоматичні вимірювальні пристрої». Деканом РТФ було призначено д.т.н., професора Карандєєва Костянтина Борисовича. У цьому ж році на базі кафедри «Радіотехніки» утворено дві кафедри – «Теоретичної радіо-

техніки» (зав. кафедри, доцент, к.т.н. Величко Ю.Т.) та «Радіоприймальних пристроїв» (зав. кафедри, д.т.н., професор Карандєєв К.Б.), які забезпечували підготовку та випуск інженерів спеціальності «Радіотехніка».

У 1960 р. відбулись нові зміни: на базі радіотехнічного факультету утворено факультет радіотехніки та автоматики (ФРА), деканом якого затверджено доцента Євгена Федоровича Замору. Кафедра «Теоретична радіотехніка» дістала нову назву: «Теоретична радіотехніка та радіовимірювання» (ТРР). Частина викладачів перейшла на кафедри «Радіотехнічні пристрої» та «Конструювання і технологія виробництва радіоапаратури».

У 1962 р. після поділу факультету радіотехніки та автоматики на радіотехнічний факультет (РТФ) і факультет автоматики і напівпровідникової електроніки (ФАНЕ) кафедра ТРР залишилась у складі РТФ, але була переведена разом із РТФ із головного в окремий «радіотехнічний» корпус (ХІ корпус).

У лютому 1976 р. Ю.Т. Величко перейшов на посаду професора кафедри, а завідувачем кафедри був обраний доцент Мандзій Богдан Андрійович. У цей час викладацький склад кафедри ТРР являв собою сформований науково-педагогічний колектив із широким спектром наукових інтересів.

З 1986 р. на кафедрі ТРР працює к.т.н. (а пізніше д.т.н.) Юрій Ярославович Бобало на посадах асистента, доцента, з 2004 р. – професора, поєднуючи педагогічну діяльність з обов'язками заступника проректора з наукової роботи у 1986–2002 рр., проректора з наукової роботи у 2002–2005 рр., першого проректора у 2005–2007 рр., а з 2007 р. – ректора Національного університету «Львівська політехніка».

У лютому 1986 р. завідувачем кафедри був обраний доцент Б.Ю. Волочій. На кафедрі в рамках спеціальності «Радіотехніка» організовані спеціалізації «Автоматизоване схемотехнічне проектування інтегральних схем», «Надійнісне проектування радіоелектрон-

них систем», «Побутова радіоелектронна апаратура». Уперше в Україні відкрито нову спеціальність «Медичні радіоелектронні прилади і системи».

Протягом 1997–2004 рр. кафедру вдруге очолював д.т.н., професор Б.А. Мандзій. У цей період відбувся перехід на дворівневу підготовку студентів – бакалаври й магістри. Кафедра приймала участь у підготовці бакалаврів у напрямках «Радіотехніка» та «Телекомунікації». Для підготовки спеціалістів та магістрів спеціальності «Радіотехніка» за ініціативою доцента А.П. Бондарева започаткована спеціалізація «Радіомережі інформаційно-комп'ютерних систем». Для підготовки спеціалістів та магістрів за спеціальністю «Радіоелектронні пристрої, системи і комплекси» продовжувала існування спеціалізація «Медичні радіоелектронні прилади і системи».

У жовтні 2001 р. кафедра увійшла до складу новоствореного Інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки (ІТРЕ). Першим директором ІТРЕ був призначений професор Б.А. Мандзій.

Протягом 2005–2014 рр. кафедру очолював д.т.н., професор Недоступ Л.А.

З лютого 2015 р. до лютого 2016 р. кафедру очолював д.т.н., професор Бондарев А.П. У 2015 р. для підготовки спеціалістів та магістрів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» за ініціативою доцента Озірковського Л.Д. започаткована спеціалізація «Програмно-апаратні пристрої та системи». Спеціалізація була успішно акредитована та на сьогодні трансформована в спеціалізацію «Програмно-апаратні засоби радіотехнічних систем» у межах спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка», гарантом якої є професор А.П. Бондарев.

Протягом 2016–2022 рр. кафедру очолював к.т.н., доцент Кіселичник М.Д. У 2017 р. спеціалізація «Телекомунікаційні системи та мережі» була трансформована в спеціальність «Телекомунікаційні системи та мережі».

З вересня 2022 р. кафедру ТРР очолює д.т.н., професор І.В. Горбатий. У 2023 р. замість НДЛ-51, яка припинила свою роботу, при кафедрі ТРР створено науково-дослідну лабораторію телекомунікаційних, інформаційно-керуючих та контрольно-випробувальних радіотехнічних систем (НДЛ-132) Національного університету «Львівська політехніка». Науковим керівником лабораторії призначено професора Горбатого І.В., завідувачем лабораторії – к.т.н., с.н.с. Бударецького Ю.І.

У 2023 р. працівники кафедри прийняли активну участь у розробці та впровадженні нової бакалаврської ОПП «Програмно-апаратні засоби радіотехнічних систем» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» з ухилом на підготовку спеціалістів, що одночасно володіють основними мовами програмування і схемотехнікою радіоелектронних пристроїв та систем, а також магістерської ОПП «Програмно-апаратні пристрої інфокомунікаційних систем» для студентів цієї ж спеціальності. У 2024 р. на кафедрі ТРР розпочались роботи з удосконалення бакалаврської ОПП «Програмно-апаратні засоби радіотехнічних систем» введенням нового вибіркового блоку «Автомобільна електроніка» з ухилом на підготовку спеціалістів, що одночасно володіють основними знаннями в галузі програмно-апаратних пристроїв та автомобільної електроніки традиційних автомобілів, гібридів і електромобілів.

Висновки

Протягом багатьох років професорсько-викладацький склад та інженерно-допоміжний персонал кафедри ТРР зробив вагомий внесок у становлення й розвиток радіотехнічної освіти і науки в Україні та Львівській політехніці зокрема. Підтвердженням цьому є тисячі випускників-радіотехніків, десятки захищених кандидатів та докторів наук, десятки виконаних науково-дослідних робіт, значна кількість опублікованих наукових та науково-методичних праць. Сьогодні колектив кафедри не зупиняється на досягнутому, а рухається до нових

наукових здобутків і пропонує абітурієнтам освіти за новими освітньо-професійними програмами.

Список використаної літератури

1. Prof. Janusz Groszkowski [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pg.edu.pl/uczelnia/ludzie-pg/doktorzy-honoris-causa/prof-janusz-groszkowski/>

Бондарев А.П., д-р. техн. наук, проф.
andrii.p.bondariev@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

НАУКОВІ ЗДОБУТКИ КАФЕДРИ ТРР ЯК ВІХИ ТЕХНІЧНОГО ПРОГРЕСУ

За 85 років існування кафедри теорія та інженерна практика радіотехнічних засобів зробила величезний стрибок, який до невпізнання змінив теоретичні та інженерні методи і технологічні засоби розробки і виготовлення радіотехнічних пристроїв і систем. Тож у своїй доповіді я хочу висвітлити окремі напрямки і результати наукової роботи кафедри у історичній ретроспективі.

У роботах Ю.Т. Величка, крім дослідження схем генераторів та зв'язаних резонансних кіл, є дуже важлива складова – запровадження матричного методу аналізу. Зараз цим вже нікого не здивуєш, але у ті часи для кожної розробленої схеми писали свої рівняння (тепер кажуть математичну модель). А розроблений на базі методу вузлових потенціалів спосіб матричного опису радіоелектронних кіл став основою усіх сучасних оболонок схемотехнічного проектування. Тепер цей метод часто називають тензорним.

Ці теоретичні положення знайшли практичне втілення у роботах студентського проектно-конструкторського бюро (СПКБ), науковим

керівником якого був Б.А. Мандзій. Основними працівниками були Р.В. Дмитришин, М.Р. Подольський, О.Й. Фелиштин, Г.Г. Акуліч, Арій Ісаєвич Захарія, а також було залучено великий контингент студентів.

Це зараз такі оболонки, як P Spies, P Cad, Work Bench є загально відомими і широко застосованими. Розробники сучасних однокристальних платформ супроводжують їх програмою Creator, яка має можливості візуалізації схемотехнічного проектування.

Слід нагадати, що ПК на той час не існували, комп'ютери займали величезні зали у обчислювальних центрах. Крім того, режим роботи програмістів, без дисплеїв і клавіатури, передбачав «вихід на машину», де користувач мав 2...3 години часу та 200...300 кБайт оперативної пам'яті.

І от за таких умов програмною групою СПКБ був розроблений і реалізований комплекс автоматизованого проектування радіоелектронної апаратури ПАРУС. У комплексі були надані можливості введення параметрів схем до 1 000 вузлів із лінійними та нелінійними параметрами, редукція розріджених несиметричних матриць, варіативна зміна параметрів та їх оптимізація за заданим критерієм.

Приблизно у той самий час стараннями Б.А Мандзія, Б.Ю Волочія та Т.І. Бардили був розгорнутий перший у Львівській Політехніці комп'ютерний клас на базі ПК «Львів». Ці ПК не мали жорсткої пам'яті, але закладений теоретичний базис давав можливість студентам за одну пару увести програму і отримати результати розрахунків амплітудно частотних та фазочастотних характеристик досліджуваного кола.

Окремо хочу зупинитися на способах представлення інформації. У сучасних оболонках типовим є метод «що бачиш, то й маєш» (What You See is What You Get). А згадайте ситуацію, коли обчислювальною потужністю були арифмометр та логарифмічна лінійка за часів Ю.Т. Величка або калькулятор за часів Т.І. Бардили та Р.Д. Грицьків. Тож були розроблені відповідні номограми із нанесенням на них годографів, які відображують частотні або просторові характеристики проєктованих пристроїв. Навіть у сучасних умовах номограма гіперболічних функцій (Й.А. Захарія) покаже розробнику властивості довгої лінії за час, менший від часу увімкнення персонального комп'ютера.

Детальніше хочу розказати про напрямок дослідження пристроїв синхронізації, зокрема фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Хоча ФАПЧ є єдиним фізично реалізованим оптимальним фільтром, науковців, які займалися його дослідженням і розробкою, тривалий час вважали «білими воронами». Адже пасивні та активні фільтри і автономні генератори можна було спаяти та подати студентам на лабораторних роботах. А пристрої ФАПЧ на рівні того часу були досить складними у технічній реалізації, тому основні роботи були спрямовані на математичне моделювання. Вершиною досліджень стала теорія коливальних, про яку один з її авторів, О.А. Ляпунов, сказав: «ми розробили досконалу теорію, але не знаємо теорію чого». Йому також приписують ще один вислів: «ми дикуни, для нас три – це забагато». Малось на увазі, що для математичних систем другого порядку все відомо, а вже третій вимагав окремих досліджень.

Виходячи із такої ситуації Б.А. Мандзій організував співпрацю із декількома науковими школами. Тут була московська (В.В. Шахгільдян, М.А. Миронов, В.Б. Пестряков, М.І Жоздіжскій), Нижньогородська (Л.М. Белюстіна, В.М. Бєлих, В.Д. Шалфєєв), Київська (В.К. Стеклов, О.В. Самков) та Львівська школи. Львівську презентували М.С. Мартинів з ЛДНРТІ та Л.А. Синицький (зав. кафедри) і Г.Г. Злобін з кафедри теоретичних основ електрорадіотехніки (ТОЕР) Університету ім. І. Франка.

З кафедри ТОЕР на нашу кафедру прийшли Б.О. Капустій та Я.М. Матвійчук. Б.О. Капустій, крім того що є бойовим офіцером, дослідив у своїй роботі області стійкості ФАПЧ третього порядку, а Я.М. Матвійчук – властивості дивних атракторів та генераторів хаосу.

На цей час доцентом І.П. Максимівим проведено моделювання, а к.т.н. С.І. Алтуніним апаратна реалізація пристрою ФАПЧ із підвищеною завадостійкістю.

Отже, у доповіді я намагався виокремити такі аспекти внеску кафедри ТРР у розвиток теоретичної радіотехніки. Перше – розробка методу матричного (тензорного) аналізу електричних кіл. Друге –

номограм та годографів як зручного та наочного способу представлення результатів аналізу електричних кіл. Третє – теоретичне обґрунтування та технічна реалізація засобів автоматизованого проектування електричних кіл включно із багатоваріантним аналізом та елементами оптимізації. Четверте – розвиток теорії та практики проектування автономних і керованих генераторів та пристроїв фазового автопідстроювання частоти.

Кузик А.О., ст. викл.
andrii.o.kuzyk@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ВИТОКИ РАДІОТЕХНІЧНОЇ ШКОЛИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ПОЛІТЕХНІЦІ

Вступ. Світові тенденції радіотехнологій та особливості «іскрової» ери

Досліджуючи витоки радіотехнічної школи у Львівській політехніці слід констатувати той факт, що перші паростки цього напрямку виникли у далекі часи розрізненого перебування українських земель під окупацією різних режимів та імперій. Як, відомо, стрімкому розвитку радіотехнологій та засобів передачі повідомлень на початку ХХ ст. сприяли потреби зв'язку на великі відстані як на суші (телеграф, пошта), так і на морі (зв'язок із суднами, радіонавігація і т.д.). Очевидно, найбільше зацікавлення до можливостей радіозасобів проявляли військові відомства.

Процес впровадження «радіо» розпочався на зламі ХІХ-ХХ ст., коли у 1895 році Гульєльмо Марконі та Ніколою Теслою були розроблені перші практичні системи радіозв'язку з використанням іскрових передавачів. Період перших трьох десятиліть, протягом якого були використані ці передавачі називається **бездротовою телегра-**

фією або «**іскровою**» ерою. Потужність таких генераторів досягала декількох **кіловатів**, а частота – **20 кГц** [1].

Низка великих мілітарних держав, серед яких Австро-Угорська імперія, Велика Британія, Німеччина, Італія, царська Росія, намагаючись бути у фарватері тодішніх технологічних тенденцій, розпочали інтенсивно впроваджувати радіозасоби у військову справу як на морі, так на суші [3]. Цей час позначений утворенням цілої індустрії – радіопромисловості для виробництва корабельних, а згодом і польових радіостанцій.

Безперечно, наукова думка в закладах освіти, які знаходилися тоді у великих містах, що адміністративними центрами сучасної України, перебувала під впливом цих тенденцій, особливо в царині радіотехніки та електротехніки.

Витоки радіо в контексті українського походження

Як відомо, День працівників радіо, телебачення та зв'язку в Україні був встановлений Указом Президента України від 11 листопада 1994 р. і відзначається щороку 16 листопада. Саме цього дня 1924 року в Харкові вийшла в ефір перша передача Українського радіо. Однак, слід зауважити, що на теренах сучасної України радіо виникло значно раніше. Стверджувати цю тезу надає ціла низка фактів.

Перша згадка про «українського радіо» датується **1892** роком, коли київський студент В. П. Добровольський запропонував проект бездротової електричної сигналізації [4]. У листі до журналу «Електрика» він навів схему передавального і приймального пристрою бездротового телеграфу, який своїми зовнішніми рисами нагадував відомі іскрові радіотелеграфні установки, що з'явилися трохи пізніше. Однак стаття не була опублікована, тому що редакція у своїй відповіді вважала цей проєкт не здійсненним.

25 березня 1898 року український вчений Микола Пильчиков в Одесі прочитав публічну лекцію та **вперше у світі продемонстрував радіокеровані пристрої з радіоканалом, захищеним від дій завад**. Радіоканал був обладнаний передавачем із кодованими сигналами та

модифікованим приймачем Лоджа з когерером, реле, виконавчими механізмами, «радіопротектором Пильчикова» [5]. Фактично, історія українського радіо розпочинається з Харкова, який від початку XX століття став передовим центром розробки нових радіотехнологій. Саме Микола Дмитрович Пильчиков – професор Харківського технологічного інституту, відомий у всьому світі як український фізик-теоретик, експериментатор, винахідник, зробив величезний внесок у напрямку розвитку радіотехнічної думки. Микола Пильчиков стояв біля витоків створення систем управління машинами і механізмами на відстані – по радіо, вперше створив прилад, який був здатний налаштовуватися на певну хвилю, сконструював радіопротектор для захисту радіопередач від перехоплення. У Харківському технологічному інституті професор Пильчиков обладнав радіостанцію з антеною (35 м), а у 1904 році за власні кошти, вмонтувавши радіоапаратуру в автомобіль, створив першу в Україні та Російській імперії пересувну радіостанцію.



*Микола Дмитрович
Пильчиков,
професор Харківського
технологічного
інституту*



*Лабораторія професора Миколи
Дмитровича Пильчикова у приміщенні
Харківського технологічного
інституту*



*Підприємець та
радіоінженер
С. М. Айзенштейн*

Початки історії українського радіо також пов'язують із підприємцем та радіоінженером, киянином Семеном Айзенштейном (1884–1962). Вищу освіту здобув у Київському та Берлінському університетах і Шарлоттен-бургському політехнічному інституті (Німеччина). У 1901 р. С. Айзенштейн демонстрував у Києві радіозв'язок на короткій відстані, у 1904 р. – одержав патент на апарат бездротового телеграфу "Система одночасного телеграфування і телефонування без проводів", організував приватну лабораторію для виконання замовлень військового відомства на виготовлення радіоапаратури. У 1907 р. Айзенштейн одним з перших серед дослідників почав проводити практичні дослідження по використанню незатухаючих коливань, одержуваних за допомогою дугових ламп. Того ж року Військове відомство Російської імперії запропонувало Айзенштейну закрити лабораторію у Києві і перевезти усе обладнання у Петербург, де талановитий український інженер заснував і очолив «Акціонерне товариство бездротових телеграфів та телефонів системи С. Айзенштейна». З 25 квітня до 4 травня 1907 року в Києві проходив IV Всеросійський електротехнічний з'їзд, на якому у роботі його п'ятого відділу "Техніка слабких струмів" брав участь С. Айзенштейн зі своєю доповіддю "Станції бездротового телеграфування великої потужності". У 1908 р. під керівництвом Айзенштейна закінчено будівництво радіостанцій в Києві та Жмеринці, які були на той час найпотужнішими в Росії, що дозволило встановити радіозв'язок Київ-Жмеринка-Одеса-Севастополь. Через деякий час Військове відомство купило ці станції за 70000 рублів. Згодом Айзенштейн побудував потужну дугову радіостанцію у Севастополі (1910), розробив проекти найбільш потужних іскрових радіостанцій в Москві (Ходинська і Тверська,

1914), Царському Селі (1915). Радіостанції, потужність яких сягала по 300 кВт, використовувалися для зв'язку зі столицями країн Антанти [6].

З 1922 року винахідник працював у фірмі «Марконі» в Англії, був залучений до будівництва радіотехнічних заводів у Польщі (1922–1935) та Чехословаччині. У 1947-55 роках був генеральним директором компанії «English Electric Valve Co. Ltd.».

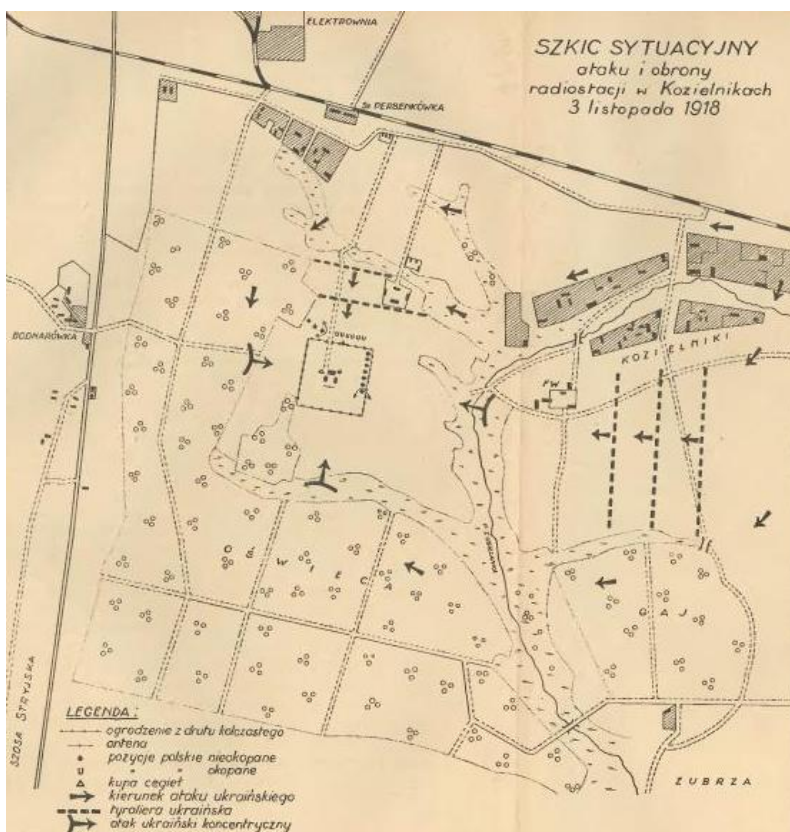
Радіозасоби зв'язку в українських арміях УГА та УНР

Звичайно, не можна оминати повз увагу факти та приклади технічного оснащення українських збройних формувань, зокрема армії УГА та УНР.

В основному військова техніка, що використовувалась в українсько-більшовицькій війні, була «спадком» від російської армії. Зокрема, у 1917 р. армією УНР було захоплено до 330 російських літальних апаратів. На жаль, в умовах порушеного війною господарства промислове виробництво «української» зброї і військової техніки майже припинилося. Тому використовувалося все, що мало бодай якусь цінність. Пізніше вдалося придбати й дещо з озброєння австрійської та німецької армій. Завдяки технічним частинам при війську забезпечувались ремонт і підтримання всіх технічних засобів у бойовому стані.

Певним кроком у справі оперативно-технічного забезпечення процесу інформаційного постачання Генштабу УНР було встановлення при **1-му генерал-квартирмейстерстві потужної радіостанції**, що працювала на прийом і передачу. Як ішлося в наказі військового міністра УНР від **13 квітня 1918 р.**, ця радіостанція в оперативному відношенні підлягала начальнику відділу зв'язку Генштабу, а в технічному – інспекторові радіотелеграфу. Станція вела роботу в інтересах усіх провідних підрозділів, в тому числі й розвідувального, Генштабу УНР [7]. Рівно ж в Одесі, а також у Миколаєві були розташовані два інженерні взводи (телеграфний і телефонний), а у Очакові – піврота саперів і мотоциклетна команда. II-й відділ сухопутної оборони обслуговували радіостанції Миколаєва та Очакова [8].

У дисертаційній роботі Вовк Наталії Степанівни у підрозділі «4.1. Служба зв'язку» наведені численні факти використання в українських арміях УГА та УНР не лише засобів телеграфного чи телефонного зв'язку, але й бездротового телеграфу (радіотелеграфу) [9]. Як зазначає сучасний дослідник М. Литвин, **війська зв'язку зародилися**, власне, під час **Першолистопадового зриву в битві за Львів** [10]. Про відомі події в контексті застосування засобів радіозв'язку демонструє документ у вигляді мапи бойових дій перед штурмом радіостанції в Козельниках.



Ситуаційна карта розташування сил УСС та польського війська перед штурмом радіостанції в Козельниках

З джерел відомо, що влітку 1919 р. кожний корпус або група військ УГА мали **радіодивізіон**, до складу якого входили **чотири радіотелеграфні команди з апаратами Морзе чи Юза** для зв'язку з командуванням армії чи групами армії [11]. На той час в УГА основоположником і головним фахівцем в провадженні **радіозв'язку** виступив недавній **учитель заліщицької семінарії і старшина радіозв'язку австрійської армії поручик М. Сітницький**. Власноруч він змонтував **три радіостанції для ДСВС і НК УГА (радіус дії 3 000 і 1 000 км.), які спочатку працювали лише на прийом**. Ними користувалися органи інформації. Крім цього, вони записували і розшифровували секретні радіоповідомлення супротивника. У **дешифрувальному відділі** працювали знавці європейських мов: сотник **В. Хирівський**, десятник **К. Лучка**, вістун **М. Галицький**. Згодом радіостанціями було укомплектовано і окремі корпуси УГА. **Основою для створення радіослужби УГА були установи австрійської радіо-групи розташованої в Чистиліві біля Тернополя**. Як зауважує у своїй статті «Радіослужба УГА» **Л. Лейнберг**: «В день **10 падолиста 1918 р.** ці установки радіо-груп, були зібрані для потреб української армії, і поділивши весь матеріал та апарати між трьома бойовими групами та Державним Секретаріатом були встановлені для потреб війська» [12]. При групах організовувались окремі приймальні станції, які слугували для інформаційних цілей. Так, головна станція при ДСВС складалась з двох приймальних і одного передавального апаратів. Передавальна спроможність станції на початковому етапі діяльності була незначною – **700–1 000 км**. Для збільшення діапазону дії радіозв'язку, щоб ловити і передавати сигнали з Парижа, Лондона, Берліна, Військовим Секретаріатом **було закуплено передавальний апарат радіусом дії 3 000 км**.

Наказом Головної команди Армії УНР ч. 220 від **24 жовтня 1919 року** були запроваджені штати **10-кіловатної радіостанції**. [13].

Отже, розглядаючи питання **встановлення та розвитку служби зв'язку УГА**, можна наголосити, що вона відігравала немало важливу роль в **побудові й обороні української державності**. Не зважаючи на

недостачу технічного обладнання, короткочасність вишколу новобранців, і ряд інших проблем зв'язкова служба УГА працювала справно.

Станом на 11 серпня 1919 р. армія УНР мала 34-35 тис. складу, з них 15 тис. багнетів і шабель, 149 гармат і 28 гавбиць, 533 кулемети, 9 панцерних потягів, 6 панцерних самоходів, 26 літаків і 4 радіостанції. **Чотири радіостанції** були приділені до Державного секретаріату військових справ (ДСВС) і до **3-х корпусних команд** [14]. Засобами радіозв'язку оснащували також окремі бойові формування, зокрема, у грудні 1918 року в Тернополі, для самооборони єврейського населення від польських шовіністів, було сформовано Жидівський пробоевий курінь **1-го корпусу УГА**. Він мав 4 сотні по 220 стрільців, кулеметну сотню, чету кінноти, сотню саперів, **чету телефоністів та саморобну радіостанцію** [15].

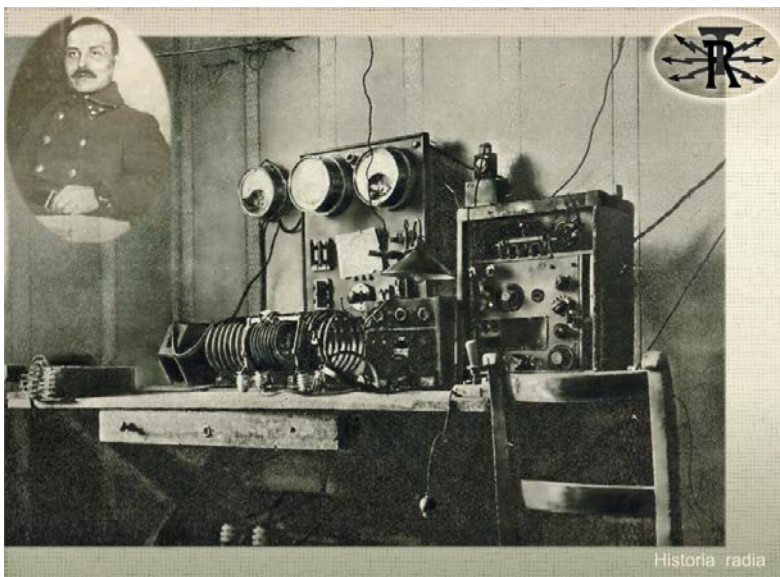
Цікавим є факт захоплення 24 травня 1919 року армією Галлера, покликаної на допомогу армії УНР, значної частини воєнного добра І Корпусу УГА. Так, у Радивиліві було захоплено: 8 гармат, 30 кулеметів, 1.200 рушниць, великі запаси муніції, 2.000 вагонів, кільканадцять льокомотивів, 8 санітарні потяги, авіаційний потяг-майстерню з двома новими літаками, **поїзд-радіостанцію**, панцирний поїзд, 100 самоходів і харчові склади. [16].

Початки польського періоду радіотехнічної школи у Львівській політехніці

У цій частині статті наведено матеріали з польських джерел без коментарів, оскільки з ідеологічно-державницької позиції ці факти польської історії можуть бути сприйняті нами, українцями, як право поляків трактувати свою історію по-своєму.

«Під час боїв за Львів та південно-східні кордони головну роль відігравали радіостанції у Львові (позивний LWO) та у Перемишлі (розпочаті австрійцями у 1913 році). Вони оснащувалися **дуговими (іскровими) передавачами потужністю 4 кВт** (інші джерела дають 1,5 кВт). Станція Перемишль була напівстаціонарною радіостанцією. Після придбання їй було присвоєно назву «Радіотелеграфічна станція

Перемишля» і була підпорядкована генералу дивізії Тадеушу Розвадовському. З 5 січня 1919 року вона підтримувала зв'язок з радіостанцією у Львові і була єдиним засобом комунікації цього міста з Краковом і Варшавою, виконуючи транзитну роль. До складу технічної служби входили мол. поруч. Здислав Ярош (пізніше SP2JK) і підпоручн. Олександр Стебельський, мол. поруч. Роман Пікель. У той час, коли радіостанція в Перемишлі була закрита (через реконструкцію), вона була замінена польовою радіотелеграфічною станцією № 1, імпортованою з Варшави, яка потім працювала в Білостоці.



Станція «Lwów» з викличним LWO розташована в телеграфних підрозділах австро-угорської армії за адресою вул. Хотинська і в аеропорту на Левандівці. Служба Львівської станції включала, мол. підпоруч. Віктор Флах, підпоруч. Казімеж Міч, підхорунж. Маріан Конопацький, підхорунж. Болеслав Марковський, лейтенант (і один з командирів) Альфред Гладний, підпоруч. Юзеф Хохфельдер (пізніше SP3DV) і сержант. штаб-квартири Дулик. Її екіпаж складався зі сту-

дентів Львівської політехніки. Крім того, в міській ратуші, з 3 грудня 1918 року, працювала приймаюча станція, а з січня 1919 року також станція в Городку. У Львові було відкрито також дві приймальні радіостанції: на Персенківці та на Личакові. Одним із командирів радіостанцій у Львові та Перемишлі був д-р інж. Тадеуш Малярський – фактично він був організатором і першим командувачем станції у Львові, а потім продовжував працювати в Перемишлі. Наступними її командирами були: підпоруч. Альфред Гладний, хорунж. (підпоручик) Маріан Конопацький і підпоручик Юзеф Хохфельдер.» [17].

Текст до вищезгаданого фото:

Польською (опис фото)

«Początki radia w Polsce. Radiotelegrafia wojskowa. Obrona Lwowa. Na zdjęciu (foto.1919 r.) prowizoryczna, stała radiostacja zamontowana w ratuszu, we Lwowie. Stacja została zmontowana przy częściowym użyciu podzespołów zdobytych na URL (Ukraińska Repulika Ludowa) w okolicach Brodów i Radziwiłłowa. Posługiwała się sygnałem wywoławczym "LWO". Stacja prowadziła poza korespondencją z Przemyślem, Krakowem i Warszawą również radio-wywiad. Zbudowano ją pod kierunkiem pracownika Politechniki Lwowskiej dr inż. Tadeusza Malarskiego (foto z lewej) pierwszego dowódcy stacji. Kolejnym dowódcami byli: ppor. Alfred Hladny, ppor. Marian Konopacki i ppor. Józef Hochfelder. Po odblokowaniu miasta radiostacja "LWO" została zmodernizowana do mocy 1,2 kW. Po prawej stronie ówczesny znak polskich wojsk radiotelegraficznych»

Українською (опис фото)

«Початок радіо в Польщі. Військова радіотелеграфія. Оборона Львова. На фото (фото 1919) тимчасова, радіостанція встановлена в ратуші Львова. Станція була зібрана з частковим використанням вузлів, захоплених в армії УНР (Українська народна армія) біля Бродів та Радивилова. Вона використовувала позивний "LWO". Окрім листування з Перемишлем, Краковом та Варшавою, станція також надавала радіорозвідувальні дані. Станція побудована під керівництвом співробітника Львівського політехнічного університету д-р. Тадеуша Ма-

ларського (фото зліва) першого командира станції. Наступними командирами були: Другий лейтенант Альфред Гладний, лейтенант Маріан Конопаський і лейтенант Юзеф Хохфельдер. Після розблокування міста радіостанція "LWO" була модернізована до потужності 1,2 кВт. З правого боку – тодішній знак польських радіотелеграфних військ» [17].

І тут ми переходимо до аналізу подій, які стали причетними до розвитку радіотехнічної думки у Львівській політехніці. Цитуємо джерело одного із ресурсів наших польських друзів: «Припинення вогню 1 вересня 1919 року дозволило здійснити набір студентів, вчорашніх армійців, для університету. Навчальний рік на Політехнічному 1919/20 рр. Майже не був відкритий; для 1500 студентів, 30% були військовими, звільнені на чотири місяці. Скромна інавгурація на вільній батьківщині відбулася 16 жовтня 1919 року.» [18].

За матеріалами архівних справ Львівської політехніки

Працюючи над даною тематикою вдалося вийти на електронний ресурс архівних матеріалів **Навчальних програм** «Львівської політехніки» (Program Politechniki Lwowskiej) за період з 1876 р. до 1939 включно, який було детально вивчено на предмет встановлення факту першого заняття чи лекції з радіотехніки як навчальної дисципліни. Таким чином було встановлено наступне.

1. В програмі Цісарсько-Королівської Політехнічної школи у Львові за **1890/91** н.р. дисципліна **«Електротехніки»** мала дві частини: курс загальної електротехніки та курс спеціальної електротехніки, в якому **вперше** розглядалися питання **телефонії** [19].

2. В програмі Цісарсько-Королівської Політехнічної школи у Львові за **1913/14** **вперше** введена дисципліна **«Телеграфія та телефонія»**.

Під час Першої світової війни та Польсько-української війни (1914–1920 рр.) навчання у Львівській Політехніці часто переривалися і у навчальних корпусах розміщувався військовий шпиталь. Але не дивлячись на усі труднощі у 1917 році відбувся перший випуск **ін-**

женерів-електротехніків. Першим студентом, що отримав диплом із відзнакою був Станіслав Фризе. (З біографії *Романа Дзеслевського*).

II. Elektrotechnika.

Docent prywatny: **Frańciszek Dobrzyński.**

(3 godziny tygodniowo w obudwu półroczach).

A) Kurs ogólny Elektrotechniki.

Przegląd zastosowań elektryczności i magnetyzmu.

1. Pojęcia i prawa zasadnicze. Jednostki absolutne i praktyczne. Metody i przyrządy miernicze.
2. Źródła, transformacja i kanalizacja energii elektrycznej.
3. Metody i transmisje elektryczne. Oświetlenie. Zastosowania elektrolityczne. Telegrafia i Telefonía. Piorunochrony. Inne drobniejsze zastosowania.

B) Kurs specjalny Elektrotechniki.

Telefonia.

(2 godziny tygodniowo w półroczu letniém).

1. Wiadomości wstępne z akustyki. Teorya telefonu i mikrofonu. Opisanie ważniejszych form tych przyrządów.
 2. Przewody telefoniczne.
- Urządzenie i wprawienie w ruch stacyi telefonicznych.

*Bumaz z «Program C. K. Szkoły Politechnicznej
we Lwowie na rok naukowy 1890»*

У 1918/19 н.р. заняття не проводилися оскільки головний корпус був занятий австрійськими військами під шпиталь. У 1918 році факультет **Будови машин** змінив назву на **Механічний**. Лекційні заняття зі студентами почалися лише 3 січня 1921 року [20].

3. В програмі Політехнічної школи у Львові за 1919/20 **вперше** в дисципліну «**Телеграфія та телефонія**» введено питання теорії передавання та приймання радіохвиль та застосування їх у приймально-передавальних станціях.

На кафедрі електротехніки Механічного факультету доцент **Юзеф Макаревич** читав дисципліни: на 3-му курсі *Telegraf bez drutu*, на 4-му – *Telegrafia i telefonia*. Як видно з фрагменту світлини (копії) – витягу з Програми Львівської політехніки за 1919 рік доцент Йозеф Макаревіч 1 раз на тиждень читав лекції зі дисципліни «**Телеграфія**

та телефонія». В анотації цієї дисципліни сказано наступне: *«Загальна інформація про електромагнітні хвилі і розвиток історичний телеграфії. Теорія передавання хвиль і будова передавальних радіостанцій. Теорія прийому хвиль і побудова приймальних станцій. Теорія поширення хвиль. Бездротова телефонія».*

127. Telegrafia i telefonia.

Docent płatny: Józef Makarewicz.

(Tygodniowo 1 godzina wykładu w obu półroczach).

Wiadomości ogólne o falach elektromagnetycznych i rozwój historyczny telegrafii. Teoria wysyłania fal i budowa stacyi nadawczych. Teoria przyjmowania fal i budowa stacyi odbiorczych. Teoria rozchodzenia się fal. Telefonia bez drutu.

Витяг з «Program Szkoły Politechnicznej we Lwowie 1919»: 127.

Телеграфія та телефонія. Доцент: Юзеф Макаревич.

(Щотижнева 1-годинна лекція в обох семестрах).

Висновки

За викладеними матеріалами у даній статті, усі наведені вище факти та перебіг подій і обставини є пов'язані із становленням української державности і можуть сприйматися як витoki радіотехнічної думки, які необхідно врахувати задля історичного тлумачення і прив'язки усієї наступної хронології розвитку радіотехніки в Україні загалом і радіотехнічної школи у Львівській політехніці зокрема.

Серед таких подій є наступні:

1. **1 листопада 1918 р.** під час Листопадового чину у Львові сотник-інженер **Лев Шепарович** телеграфом повідомив про встановлення ЗУНР.
2. **20 грудня 1918 р.** референт зв'язку ДСВС **Роман Білінський** заснував у Тернополі – тодішній столиці ЗУНР, школу телеграфістів.
3. Проект організації Звідомного полку був зреалізований в **травні 1919 р.**

4. **1 вересня 1919 року**, коли у програмі Політехнічної школи у Львові за 1919/20 **вперше** в дисципліну «Телеграфія та телефонія» (доцент **Юзеф Макарович**) введено питання **теорії передавання та приймання радіохвиль та застосування їх у приймально-передавальних станціях**. Ця дата, **на жаль**, не відображає української присутності та участі в контексті досліджуваного питання української історії в галузі радіотехніки, а є, радше, тріумфом польського режиму над українською технічною думкою, яка в умовах польської окупації не мала можливості свого розвитку у вищій школі. В контексті історії **Львівської політехніки**, як навчального закладу різних державних формацій та періодів свого розвитку, цю дату можна вважати як факт першого викладу питань радіотехніки (теорії передавання та приймання радіохвиль) у навчальній дисципліні «Телеграфія та телефонія», яка була **вперше** введена у програму Цісарсько-Королівської Політехнічної школи у Львові ще у **1913/14** навчального року (за часів Австро-Угорської імперії).

Поданий матеріал є спробою історичної розвідки для встановлення **факту і дати** події, яку можна трактувати витоком української радіотехнічної думки та **передумовою становлення радіотехнічної школи у Львівській політехніці**. З огляду на морально-патріотично аспекти події, які потенційно можуть розглядатися як святково визначальні та символічні, повинні мати повчальний та позитивний характер і мати українське походження.

Список використаної літератури

1. Sarkar T. K. History of Wireless / T. K. Sarkar, Robert Mailloux, Arthur A. Oliner, M. Salazar-Palma, Dipak L. Sengupta / John Wiley & Sons, 2006. – 577 p.
2. В. Пестриков Искровые радиостанции Российской империи http://www.computer-museum.ru/connect/radio_iskra.htm
3. Recent developments in field station apparatus', Wireless World, 7, March 1919, pp.656–62.

4. Глущенко А. А. В кн.: Место и роль радиосвязи в модернизации России (1900–1917 гг.). – С-Пб: ВМИРЭ, 2005.
5. Пильчиков Микола Дмитрович – професор Харківського університету. До 160 річчя з дня народження. Веб – сторінка Харківського університету
(<http://www.univer.kharkov.ua/images/redactor/news/2017-05-18/pilchikov.pdf>)
6. Валерій Лисенко. Семен Айзенштейн – забутий піонер вітчизняної радіотехніки. Історична правда. 13.11.2016.
7. Виникнення військових та загальнодержавних спецслужб УНР. 233, ф.1074, оп.2, спр.37, арк.35 – <http://exlibris.org.ua/sidak/r2-p2.html>.
8. Морська піхота УНР – www.wikiwand.com/uk/Морська_піхота_УНР.
9. Вовк Н. С. Інформаційне забезпечення Української Галицької Армії (листопад 1918 – липень 1919 рр.) : дис. канд. геол. наук : 07.00.01. Львів, 2015. 158 с.
10. Литвин М. Українсько-польська війна 1918 – 1919 рр. / М. Литвин. – Львів: Ін-т українознавства НАНУ; Ін-т. Центрально-Східної Європи, 1998. – 488 с., С. 178.
11. Ткачук П.П. Сухопутні війська України доби революції 1917–1921 рр. / П.П. Ткачук. – Львів: ЛІСВ. – 2009. – 311 с, С. 201.
12. Ляйнберг Л. Радіослужба в УГА / Л. Ляйнберг // Календар Червоної Калини. – 1922. – С. 130–132.
13. В. Сергійчук. Симон Петлюра. Статті-листи-документи. Київ. 2006.
14. Українська галицька армія [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електрон. дані. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Українська_Галицька_армія – Назва з екрану. – Дата останньої правки: 26.04.2020. – Дата перегляду: 17.05.2024.
15. Нахман Г. Історія жидівського пробоевого куреня 1-го корпусу УГА // Укр. скиталець. Ліберець, 1921; Жидівський курінь // УГА у 40-річчя її участі у визв. змаганнях (мат. до історії). Вінніпег, 1958; Селезінка В. Єврейський курінь // Золотої нитки не згубить. Чц., 2001. –

- Режим доступу: http://esu.com.ua/search_articles.php?id=19141 – Назва з екрану. – Дата останньої правки: 2009. – Дата перегляду: 17.05.2024.
16. Шанковський Л. Українська Галицька Армія. – Львів, 1999. – С. 145-158 – Велика польська офензива й І відворот Галицької Армії. – Режим доступу: <https://zbruc.eu/node/22341> – Назва з екрану. – Дата останньої правки: 14.05.20114. – Дата перегляду: 17.05.2024.
 17. Radioelektronicy polscy. Radiokomunikacja wojskowa. – Режим доступу: <https://www.facebook.com/185565191490364/photos/pocz%C4%85tki-radia-w-polsce-radiotelegrafia-wojskowa-obrona-lwowa-na-zdj%C4%99ciu-foto191/1281790151867857/> – Назва з екрану. – Дата останньої правки: 13.11.2016. – Дата перегляду: 17.05.2024.
 18. Politechnika Lwowska [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електрон. дані. – Режим доступу: https://pl.wikipedia.org/wiki/Politechnika_Lwowska – Назва з екрану. – Дата останньої правки: 07.04.2024. – Дата перегляду: 17.05.2024.
 19. Program C. K. Szkoły Politechnicznej we Lwowie na rok naukowy 1890.
 20. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki PG, ISSN 2353-1290, Nr 43/2015.

Волочій Б.Ю., д-р техн. наук, проф.
Озірковський Л.Д., д-р техн. наук, доц.
bohdan.y.volochii@lpnu.ua
leonid.d.ozirkovskyi@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»
Сальник Ю.П., д-р техн. наук, с.н.с.
Онищенко В.А., канд. техн. наук
jurasalnik@ukr.net
onishchenkovolodymyr@gmail.com
Національна академія сухопутних військ

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ ВИЯВЛЕННЯ БпЛА

Проблемі створення засобів боротьби з безпілотними літальними апаратами (БпЛА) приділяється велика увага. Про це свідчить довідник [“Counter-drone systems”, 2nd Edition, Arthur Holland Michel, December 2019], в якому представлено 537 засобів боротьби з БпЛА з 38 країн світу. Наведені дані показують, що засоби боротьби поділяються на засоби виявлення, засоби ураження та засоби в яких поєднані функції виявлення та ураження. Зауважимо, що в нашій доповіді об’єктом розгляду є засоби виявлення БпЛА. Згідно поданих в довіднику даних розробленням та виготовленням засобів боротьби з БпЛА в світі займаються 277 фірм. В довіднику наведені засоби виявлення, що представляють собою окремі системи, так і засоби побудовані об’єднанням кількох систем. Однак в довіднику відсутні значення показників ефективності засобів виявлення, які є окремими системами, так і для засобів створених об’єднанням кількох систем. Надалі засіб виявлення БпЛА, створений об’єднанням кількох систем, називаємо радіоелектронним комплексом (РЕК). Наявність значень показників

ефективності кожного засобу виявлення БпЛА забезпечить об'єктивний (правильний) його вибір для практичного використання.

В якості показника ефективності засобу виявлення БпЛА прийнято використовувати «ймовірність виявлення БпЛА». Для отримання значень показника ефективності засобу виявлення БпЛА є відомими два підходи. Один підхід передбачає передачу засобу в експлуатацію та фіксацію даних про результативність виявлення БпЛА. На основі цих даних визначається значення показника «ймовірність виявлення БпЛА». Другий підхід визначення показника ефективності передбачає розроблення стохастичної моделі віртуальної експлуатаційної функційної поведінки РЕК виявлення БпЛА. Слово «віртуальної» вказує на те, що експлуатаційна поведінка існує в уяві РОЗРОБНИКІВ її стохастичної моделі.

Розроблена стохастична модель віртуальної експлуатаційної функційної поведінки РЕК необхідного ступеня адекватності призначена для інформаційної технології проектування засобів виявлення БпЛА. Важливим чинником актуальності розроблення стохастичної моделі і відповідної методики визначення показника ефективності є можливість за її допомогою визначати системи з числа існуючих, які доцільно включати в склад РЕК і відповідно зменшити кількість натурних випробувань.

Отже об'єктом розгляду в доповіді є експлуатаційна функційна поведінка РЕК виявлення БпЛА, в склад якого передбачається включити чотири системи – радіолокаційну систему (РЛС), оптико-електронну систему (ОЕС), тепловізійну систему (ТВС), акустичну систему (АС). Радіоелектронний комплекс згідно алгоритму функціонування виявляє цілі в трьох зонах: в дальній зоні працює РЛС, в середній працює ОЕС або ТВС та в ближній працює АС. Радіоелектронний комплекс функціонує з використанням денного і нічного режимів роботи. В денному режимі роботи РЕК, виявлення БпЛА в середній зоні забезпечує ОЕС. В нічному режимі роботи РЕК, виявлення БпЛА в середній зоні забезпечує ТВС.

У доповіді показано вирішення задачі розроблення дискретно-неперервної стохастичної моделі експлуатаційної функційної поведінки радіоелектронного комплексу із заданим алгоритмом функціонування згідно технології стохастичного моделювання в такій послідовності:

1) Створення вербальної моделі експлуатаційної функційної поведінки радіоелектронного комплексу виявлення безпілотних літальних апаратів в складі системи радіоелектронної розвідки, РЛС, ОЕС, ТВС, АС, інформаційно-керуючої системи. Вербальна модель сформована для заданого варіанту алгоритму його функціонування.

2) Сформульовані припущення та умови, які враховано в стохастичній моделі експлуатаційної функційної поведінки РЕК.

3) Визначені базові події експлуатаційної функційної поведінки РЕК для розроблення опорного ймовірнісного графа.

4) Обґрунтовано призначення компонент вектора станів для представлення вербальної моделі експлуатаційної функційної поведінки РЕК у вигляді ймовірнісного графа.

5) Вказані показники ефективності систем, які будуть представлені в стохастичній моделі експлуатаційної функційної поведінки РЕК.

6) Показано опорний ймовірнісний граф віртуальної експлуатаційної функційної поведінки РЕК, розроблений на основі її вербальної моделі.

7) Показано структурно-автоматну модель експлуатаційної функційної поведінки РЕК, розроблену на основі її опорного ймовірнісного графа.

ЗАУВАЖИМО, що структурно-автоматна модель в поєднанні з програмним засобом АСНА утворюють програмну стохастичну модель, яка дає змогу автоматизувати процес виконання досліджень ефективності різних варіантів побудови РЕК.

Для оцінювання ефективності радіоелектронного комплексу виявлення БпЛА використано 2 показники. Це показник «ймовірність виявлення БпЛА» і показник «ймовірність не виявлення БпЛА». В цій роботі прийнято, що факт виявлення БпЛА фіксується у трьох варіантах виконання завдання радіоелектронним комплексом. У першому

варіанти виконання завдання РЕК врахована частина БпЛА, які виявлено трьома системами. У другому варіанті виконання завдання РЕК врахована частина БпЛА, які виявлено двома будь-якими системами із трьох. У третьому варіанті виконання завдання РЕК врахована частина БпЛА, які виявлено будь-якою одною системою із трьох. Зауважимо, що другий і третій варіанти виконання завдання РЕК вважаємо частковими.

У доповіді показані результати порівняльних досліджень варіантів поєднання в одному РЕК виявлення БпЛА радіолокаційної, оптико-електронної, тепловізійної і акустичної систем з застосуванням розробленої дискретно-неперервної стохастичної моделі його експлуатаційної функційної поведінки.

Результати порівняння ефективності чотирьох варіантів формування радіоелектронних комплексів для виявлення БпЛА типу «Ланцет», «Shahed-136» та «Куб» подані в табл. 1. Розглядаються варіанти формування радіоелектронних комплексів з використанням в їх складі РЛС, ОЕС і АС із заданими значеннями показників ефективності при автономному їх застосуванні. Підвищення ефективності використання РЕК виявлення БпЛА оцінюємо відношенням значень ймовірності невиявлення БпЛА одною системою при автономному її застосуванні і ймовірності невиявлення БпЛА радіоелектронним комплексом.

Таблиця 1. Порівняння ефективності варіантів формування радіоелектронних комплексів виявлення БпЛА з включенням в їх склад РЛС, ОЕС і АС

Тип БпЛА	Значення показника «ймовірність не виявлення БпЛА» ...						
	... радіоелектронними комплексами з різним складом систем				... одною системою при автономному її використанні		
	РЛС+ОЕС+АС	ОЕС+АС	РЛС+ОЕС	РЛС+АС	РЛС	ОЕС	АС
Ланцет	0,003767	0,025	0,038	0,015	0,15	0,25	0,1
Shahed-136	0,000121	0,001	0,010	0,001	0,1	0,1	0,01
Куб	0,007517	0,050	0,075	0,015	0,15	0,5	0,1

У табл. 2 показані результати про підвищення ефективності виявлення БпЛА типу «Ланцет» від використання радіоелектронних комплексів в складі РЛС+АС, РЛС+ТВС, ТВС+АС і РЛС+ТВС+АС в порівнянні з ефективністю автономного використання РЛС, або ТВС, або АС. Для оцінювання підвищення ефективності створюваних РЕК виявлення БпЛА використано показник у вигляді відношення значень ймовірності невиявлення БпЛА одною системою при автономному її застосуванні та ймовірності невиявлення БпЛА створюваним радіоелектронним комплексом.

Таблиця 2. Підвищення ефективності виявлення БпЛА типу «Ланцет»

Автономне використання системи	Варіанти складу радіоелектронного комплексу виявлення			
	... РЛС+ТВС+АС	... ТВС+АС	... РЛС+ТВС	... РЛС+АС
заміна РЛС на ...	в 15,3 разів	в 2,3 рази	в 1,5 раза	в 10 разів
заміна ТВС на ...	в 66,3 разів	в 10 разів	в 6,6 разів	в 43,3 рази
заміна АС на ...	в 10,2 разів	в 1,5 рази	немає	в 6,7 разів

У доповіді показані отримані результати порівняння ефективності восьми варіантів формування радіоелектронних комплексів для виявлення БпЛА типу «Ланцет», «Shahed-136» та «Куб». У цих варіантах розглянуто два РЕК, в яких передбачено поєднання трьох систем, і шість РЕК, в яких передбачено поєднання двох систем.

Висновки

1. Запропонована дискретно-неперервна стохастична модель експлуатаційної функційної поведінки радіоелектронного комплексу в складі РЛС, ОЕС, ТВС, АС, системи РЕР та ІКС із заданим алгоритмом функціонування РЕК дає змогу розв'язувати задачу параметричного синтезу. Задача синтезу передбачає визначення значень показників ефективності конкретних систем, які планується включити в склад радіоелектронного комплексу для отримання заданого значення показника його ефективності.

2. Методика проведення представленого в доповіді дослідження придатна (буде корисною) для використання підчас розроблення стохастичних моделей експлуатаційної функційної поведінки РЕК: з іншими варіантами алгоритму функціонування радіоелектронного комплексу; з іншими умовами перетину БпЛА контрольованих зон; з іншими варіантами вибору типу систем, які будуть включені в склад радіоелектронного комплексу; і т. д.

Яремчук І.Я., д-р. техн. наук., проф.

Булавінець Т.О., др. філ., доц.

iryna.y.yaremchuk@lpnu.ua

НУ «Львівська політехніка»

ПОВЕРХНЕВИЙ ПЛАЗМОННИЙ РЕЗОНАНС В СРІБНИХ НАНОЧАСТИНКАХ: ВПЛИВ ПІДКЛАДКИ

Срібні наночастинки характеризуються екстраординарними оптичними властивостями в видимому діапазоні довжин хвиль за рахунок локалізованого поверхневого плазмонного резонансу [1]. Локалізовані поверхневі плазмони можуть викликати сильне розсіювання та поглинання електромагнітного випромінювання, підсилення локальних електромагнітних полів, які оточують наночастинки, що забезпечує широке поле для досліджень та застосувань. Довжина хвилі локалізованого поверхневого плазмонного резонансу може бути змінена в такому широкому діапазоні довжин хвиль шляхом керування розміром, формою та діелектричними властивостями плазмонних наночастинок [2]. Протягом останніх десятиліть значна увага приділялась дослідженню впливу форми плазмонних наночастинок на їх спектр екстинкції. Однак, найбільш досліджуваними та застосовуваними все ж залишаються плазмонні наночастинки сферичної форми. Наявність підкладки поблизу поверхні наночастинки впливає на її оптичні

властивості через індуковане поле в підкладці, хоча цим ефектом часто нехтують у літературі [3]. В проміжку між наночастинками та підкладкою може виникати підсилення ближнього поля, яке впливатиме на результуюче підсилення, для прикладу у SERS [4]. Тому дуже важливо чітко зрозуміти та дослідити взаємодію плазмонних наночастинок з підкладкою в умовах резонансу.

У цій роботі розраховано перерізи екстинкції срібних наночастинок сферичної форми осаджених на трьох різних поверхнях, матеріалами яких є целюлоза, оксид індію олова (ІТО) та срібло.

Результати проведених чисельних експериментів показали, що матеріал (діелектрична проникність) підкладки з нанесеними наночастинками срібла має ключове значення при проектуванні та виготовленні оптичних структур на їх основі. Встановлено, що поверхні з високою діелектричною проникністю головним чином призводять до значного зсуву піку перерізу екстинкції, а також збільшення його величини на робочій довжині хвилі. Максимальне значення перерізу екстинкції наночастинок є більшим у випадку коли компонента зовнішнього електричного поля прикладена по нормалі. Зміна розміру наночастинки практично не впливає на положення піку перерізу екстинкції для трьох досліджуваних матеріалів підкладки та випадку їх неврахування.

Представлені розрахунки дають уявлення про зв'язок між наночастинками та поверхнею, на яку вони осаджені, та будуть корисними при прогнозуванні оптичних властивостей та розробленні оптимізованих оптичних структур для багатьох технологічних застосувань.

Список використаної літератури

1. Alzoubi, F. Y., Ahmad, A. A., Aljarrah, I. A., Migdadi, A. B., & Al-Bataineh, Q. M. (2023). Localize surface plasmon resonance of silver nanoparticles using Mie theory. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(32), 2128.
2. Boken, J., Khurana, P., Thatai, S., Kumar, D., & Prasad, S. (2017). Plasmonic nanoparticles and their analytical applications: A review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 52(9), 774-820

3. Carvalho, D. F., Martins, M. A., Fernandes, P. A., & Correia, M. R. P. (2022). Coupling of plasmonic nanoparticles on a semiconductor substrate via a modified discrete dipole approximation method. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 24(33), 19705-19715
4. Phetsahai, A., Eiamchai, P., Thamaphat, K., & Limsuwan, P. (2023). The Morphological Evolution of Self-Assembled Silver Nanoparticles under Photoirradiation and Their SERS Performance. *Processes*, 11(7), 2207.

Політанський Р.Л., доктор тех. наук, проф.
Площик А.С., аспірантка,
r.politansky@chnu.edu.ua
ploshchuk.anna@chnu.edu.ua
ЧНУ ім. Ю. Федьковича

ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ ТА МЕТАМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

1. Вступ

Взаємодія мікрохвильового випромінювання та феромагнітного матеріалу може супроводжуватися феромагнітним резонансом, коли відбувається прецесія вектора намагніченості феромагнетика. Детектування коливань концентрацій електронів із різними напрямками спінів, що при цьому виникає, має значний науковий і практичний інтерес. Сфера застосувань є досить широкою: від конструювання високочутливих датчиків [1] до логічних елементів [2].

Значною науковою проблемою, що стає на шляху активної розробки і впровадження пристроїв спінтроники, є складність явищ, що пов'язані із спіновими властивостями електронів у зоні провідності. Тому розроблення теоретичних основ спінтронних пристроїв, що дають можливість отримувати їх кількісні характеристики є надзвичайно важливою і актуальною задачею. Переважна більшість розроблених і використовуваних на сьогоднішній день теорій ґрунтується на

класичних методах та макроскопічних моделях. Найбільш відомими із них є методи, що використовують класичне рівняння прецесії вектора намагніченості у магнітному полі, відоме як рівняння Ландау-Ліфшиця-Гільберта. Разом із тим взаємодія мікрохвильового випромінювання і електронів у зоні провідності має також і квантовий характер, а квантом цієї взаємодії є магنون. Численні експериментальні та теоретичні розрахунки дають можливість стверджувати, що магнони визначають хвильові процеси, частота яких є близькою до частоти збуджуючого електромагнітного поля, але при цьому спостерігаються складні дисперсійні залежності, які визначаються також взаємними напрямками намагніченості феромагнетика і прикладеного зовнішнього мікрохвильового випромінювання. Крім хвильового процесу, який називається спіновою хвилею, також говорять про виникнення спінового струму. За фізичною сутністю ці явища мають однакову причину і визначаються коливаннями концентрацій електронів із різними напрямками спінів. Але моделі, які використовуються для їх описання є різними – квантові моделі для спінових хвиль і напівкласичні теорії для спінового струму. Зауважимо, що немає єдиної чіткої теорії, яка б охоплювала усю низку явищ, квантових та класичних ефектів, що виникають у процесах взаємодії мікрохвильового поля і феромагнітних матеріалів.

2. Схема детектора мікрохвильового поля та його дослідження

Один із методів детектування мікрохвильового випромінювання оснований на перетворенні енергії прецесії вектора намагніченості до енергії коливань концентрації спінів електронів, або так званих спінових хвиль, які далі перетворюються до форми електричного сигналу. Ми пропонуємо використовувати для цього відомий пристрій, що має назву спіновий вентиль. Детектувальна здатність цього пристрою пов'язана із значною зміною опору при зміні внутрішнього стану пристрою, який визначається взаємним напрямком двох феромагнітних шарів, розділених шаром немагнітного металу [3].

На основі напівкласичної моделі виконані порівняння значень струму, який можна отримати у спіновому вентилі і методом детектування, що використовує відомий обернений квантовий ефект Холла (ISHE) [4]. Зроблено висновок про значне переважання значення вторинного сигналу, якщо застосувати спіновий вентиль.

Методами теорії збурень було проведено моделювання коливань концентрацій спінів електронів. Застосувавши відоме наближення теорії збурень RWA (rotating wave approximation), отриманий результат, який показує, що частота коливань концентрацій електронів із різними спінами становить половину частоти зовнішнього магнітного поля, що співпадає із відомими даними, отриманими в результаті експерименту [5].

Висновки

1. Порівняно два методи детектування: за допомогою ISHE і за допомогою спінового вентиля, зроблено висновок про значно більше значення вторинного сигналу у випадку використання спінового вентиля. 2. Запропоновано квантову модель збурення в наближенні RWA для спінової хвилі (або магнона).

Проведення подальших досліджень

Значне зростання кількості досліджень у галузі наноматеріалів, основою яких є спінові властивості частинок, можна співвідносити із значим обсягом досліджень, що пов'язані із взаємодією метаматеріалів та високочастотного електромагнітного поля. Ми порівнюємо перспективи використання наноматеріалів та метаматеріалів, що відображено у табл. 1 (знак «+» означає переважання).

Таблиця 1. Порівнювання перспектив використання наноматеріалів та метаматеріалів

	НАНОСЕНСОРИ	МЕТАМАТЕРІАЛИ
Компактність	+	-
Складність виготовлення	-	+
Можливості застосування	-	+ (детектування, керування ЕМ полем, перетворення енергії ЕМП)

	НАНОСЕНСОРИ	МЕТАМАТЕРІАЛИ
Точні та надійні методи моделювання і проектування	-	+ (Добре розвинені чисельні методи: метод моментів, метод мод Флокета)
Точні, надійні і дешеві методи експериментальних досліджень	- (складність прямих методів вимірювання)	+ (Добре розвинені методи вимірювання коефіцієнтів розсіяння – векторний аналізатор, приміщення із нулевим рівнем випромінювання)
Перспективність	+	+

Список літератури

1. Zografos, O., et al., Design and Benchmarking of Hybrid CMOS-Spin Wave Device Circuits Compared to 10nm CMOS. 2015 Ieee 15th International Conference on Nanotechnology. 2015, New York: Ieee. 686-689.
2. Khitun, A. and K.L. Wang, Non-volatile magnonic logic circuits engineering. Journal of Applied Physics, 2011. 110(3): p. 11.
3. Р.Л. Політанський, П.М. Шпатар, М.В. Вісьтак, І.Т. Когут, І.С. Дісковський, Ю.А. Рудяк. Детектори електромагнітного поля на основі пристроїв спінтроники. Фізика і хімія твердого тіла. Т. 24, № 3 (2023) С. 433-440.
4. Y. Xu, D.D. Awschalom, J. Nitta, Handbook of Spintornics (Springer, Dordrecht Heidelberg New York London, 2016).
5. O. V. Prokopenko, D. A. Bozhko, V. S. Tyberkevych, et al. Recent trends in microwave magnetism and superconductivity. Ukr. J. Phys. 2019. Vol. 64, No 10.

**SECTION 1. Theory of Signals and Electronic Circuits.
Radio Measurements. Metrology.**

**СЕКЦІЯ 1. Теорія сигналів та електронних кіл.
Радіовимірювання. Метрологія.**

Чесановський І.І., канд. техн. наук., доцент

Табенський С.М.

chesanov.i@gmail.com

tlkkaf16@gmail.com

НАДПСУ ім. Б.Хмельницького

УЗАГАЛЬНЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОГО БАЗИСУ В ЗАДАЧАХ УЗГОДЖЕНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ

Сучасна елементна база електронних сенсорів і схем цифрової обробки сигналів (ЦОС) дають змогу застосовувати більш складні нелінійні методи та алгоритми виявлення і розрізнення сигналів, що характеризуються значно вищими показниками завадостійкості. Основні тенденції розвитку цих методів можна окреслити як пошук оптимального (узгодженого) базису синтезованого та адаптованого для кожного конкретного випадку (сигналу), оскільки, в задачі обробки сигналів на фоні шумів і завад, використання оптимального базису є ключовим для досягнення максимальних показників ефективності, таких як співвідношення сигнал-шум (SNR), спектральна ефективність та завадостійкість навіть за умови не повної апріорної обізнаності про завади.

Як показує проведене дослідження, сучасні методи синтезу узгодженого (оптимального) базису можна класифікувати на два основних типи: прямі методи – оптимальний базис будується безпосередньо шляхом розв’язку оптимізаційної задачі; ітеративні методи – оптимальний базис отримується шляхом адаптації початкового базису поки не буде досягнуто оптимального стану.

Методи першого типу є більш обчислювально складні, але дають кращі результати. Методи другого типу зазвичай менш обчислювально складні, ніж прямі методи, але можуть не гарантувати досягнення найкращого результату. Окремий тип базису для аналізу сигналів, що є на сьогодні, найбільш перспективним – це адаптивний базис, який

залишаються нелінійними навіть в процесі обробки сигналів і динамічно змінюється залежно від характеристик сигналу. Такого типу базис є найефективнішим, але вкрай складним у реалізації.

Вирішальним при виборі методу синтезу є тип базису, що буде отримано. Якщо важливим є збереження енергетичних співвідношень в сигналах, або подальша їх реконструкція, то необхідно шукати ортонормовані базиси. Ці базиси легко реалізувати, але вони можуть не бути оптимальними для задач виявлення та розрізнення. Неортонормовані базиси, як показують результати дослідження, навпаки – мають кращу ефективність в задачах виявлення та розрізнення, простіше синтезуються, але потребують значного обчислювального ресурсу при реконструкції сигналів.

В практичних задачах сьогодні виділяються чотири методи побудови оптимальних базисів, які отримані в результаті пошуку оптимальних (універсальних) алгоритмів для окремих типів задач, проте, можуть бути розширені до адаптивних.

Метод головних компонентів (PCA). В якості базису використовуються власні вектори кореляційної матриці сигналу. Він максимізує дисперсію проекційного сигналу на базисні вектори і часто використовують для стиснення даних та видалення завад.

Метод множинних гармонійних вимірювань (MUSIC). В якості базису використовуються власні вектори завадової кореляційної матриці, що робить його ортогональним в просторі завад.

Метод незалежних компонентів (ICA). Базис ітеративно будується, максимізуючи статистичну незалежність компоненти сигналу при проектуванні в цей базис. Є вкрай ефективним при видаленні завад при їх нестационарному характері.

Метод проекції на опуклі множини (POCS). Отримується шляхом ітеративного проекції початкового базису на множині, що задовольняють певним обмеженням, поки не буде знайдено оптимальний базис. Знаходить широкого застосування в задачах відновлення сигналів та фільтрації.

Методи випуклої оптимізації. Клас адаптивних методів, що ґрунтуються на методах лінійного та напівдефінітного програмування (метод оптимізації, який використовується для вирішення задач, що включають лінійні обмеження та квадратичні об'єктивні функції, які містять напівдефінітні матриці). Завдання побудови оптимального базису формулюється шляхом постановки оптимізаційної задачі та вибору ефективних алгоритмів для її розв'язання. Цей метод забезпечує гарантовану збіжність та оптимальність.

Таким чином, задача вибору методу синтезу оптимального базису не має однозначного розв'язку. Вибір залежить від характеристики сигналу, наявності та повноти апіорної інформації, обчислювальних ресурсів та вимог до продуктивності й точності. Очевидною стає проблема формулювання критеріїв, що можуть бути застосовані для вирішення цього завдання.

Мінімізація помилки – мінімізація середньої квадратичної помилки між оригінальним сигналом та його реконструкцією з використанням базису. Застосування цього критерію вимагає достатньої апіорної обізнаності про сигнал.

Максимізація SNR – максимізувати співвідношення сигнал-шум при виявленні або розрізненні сигналів. Застосування цього критерію вимагає достатньої апіорної обізнаності і про сигнал і про завади.

Максимізація спектральної ефективності – мінімізація множини значимих проєкцій (ширини смуги) сигналу, відображеного в базисі. Застосування цього критерію вимагає повної апіорної обізнаності про сигнал. В якості додаткових факторів, що впливають на вибір методу можна привести обчислювальну складність та тип (структура) сигналу – стаціонарні, нестаціонарні, вузькосмугові, широкосмугові, тощо.

Можна стверджувати, що вибір оптимального методу побудови базису залежить від конкретної задачі обробки сигналів та доступних ресурсів. Перед тим як приступати до синтезу оптимального базису важливо ретельно оцінити різні методи та вибрати той, який найкраще відповідає конкретним потребам і заданому критерію ефективності.

Озірковський Л. Д., д-р. техн. наук, доц.
Братюк П. В., студент магістратури
leonid.d.ozirkovskyi@lpnu.ua
pavlo.bratiuk.mtrpa.2023@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ЕНЕРГІЮ ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ МОБІЛЬНИХ І АВТОНОМНИХ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Широке впровадження дистанційних технологій на основі мобільних та автономних радіоелектронних засобів (МАРЕЗ) у всіх галузях суспільного життя, й передовсім у сфері безпеки, призвело до зростання використання електричних акумуляторів.

Суттєвим недоліком є обмеження часу безперервної роботи одним зарядом акумулятора, а збільшення його ємності збільшує вагу та розміри МАРЕЗ, що погіршує їх можливості.

Поширеною практикою збільшення тривалості безперервної роботи є зниження витрат енергії шляхом вимкнення деяких функцій у різних режимах роботи МАРЕЗ.

Наприклад, політ квадрокоптера DJI Air 3, який виробляє компанія QUADRO.ua [1], триває 46 хвилин до повного вичерпання акумулятора при вимкненні відео-спостереження та інших функцій. А мобільний комплекс протидії дронам RIFF-P цієї ж компанії працює до 60 хвилин від одного заряду акумулятора. Політ дрона Black Hornet Nano, який розроблений фірмою Prox Dynamics і стоїть на озброєнні армії Великої Британії, триває 25 хвилин [2].

Також, застосовуються альтернативні джерела живлення, наприклад, сонячні батареї, як в безпілотному літальному апараті NASA Pathfinder [3]. Але ці й аналогічні заходи є лише допоміжними, і не усувають необхідності підвищення ефективності використання енергії

джерел живлення при виконанні основних функцій МАРЕЗ для збільшення тривалості їх безперервної роботи, або використання джерел меншої ємності без її скорочення.

Різні компоненти МАРЕЗ вимагають живлення напругами, які можуть бути і вищі, і нижчі від напруги джерела. Для їх забезпечення у будову МАРЕЗ входять step-up та step-down dc-dc перетворювачі напруги. А упродовж експлуатації МАРЕЗ необхідні й інші види перетворювачів, як step-down ac-dc – для заряджання акумуляторів від мереж змінного струму.

Основою сучасних імпульсних dc-dc перетворювачів напруги є базові Boost, Buck і Buck-Boost (Inverting) топології. Ці топології, їх модифікації і методи їх вдосконалення полягають у використанні двох видів накопичувачів енергії – індуктивних та ємнісних, для виконання функцій, які традиційно відокремлюються. А саме, індуктивних – для підсилення напруги, а ємнісних – для підсилення струму.

З цією метою енергію джерела акумулюють в індуктивному накопичувачі, і одразу після його комутації отримують імпульс ЕРС самоіндукції. Потужність і амплітуда напруги такого імпульсу можуть перевищувати потужність і напругу джерела у відношенні тривалості акумуляції енергії до тривалості утилізації акумульованої енергії. А в ємнісному накопичувачі енергію імпульсів самоіндукції акумулюють у вигляді енергії постійної напруги, яка вища, або нижча від напруги джерела.

Огляд понад 1000 релевантних джерел показав, що інновації dc-dc перетворювачів напруги не виходять за рамки відокремлення функцій індуктивних і ємнісних накопичувачів енергії. Але, порівняно з базовими топологіями, вони передбачають суттєве збільшення кількості компонентів перетворювачів і складності їх з'єднань, а число режимів роботи в періоді комутації зростає до шести й більше.

Водночас, необхідність цих ускладнень будови перетворювачів та підстав заявлених результатів не має теоретичного обґрунтування.

Це вказує на те, що рішення стосовно цих інновацій отримані емпіричним шляхом формального комбінування відомих топологій та методів.

Натомість, підвищення ефективності перетворювачів фактично спинилося, а результати заявляються авторами без їх підтвердження вимірюваннями незалежних лабораторій. А низка останніх результатів випадково відрізняється на величини, близькі до похибок вимірювань.

Як альтернатива, запропонований спосіб перетворення енергії напруги постійного струму на енергію імпульсів шляхом одночасного взаємодоповнення дуальних властивостей індуктивного та ємнісного накопичувачів енергії під час перехідного процесу в аперіодичному режимі у послідовному RLC колі [1, 2].

Дослідження, на результатах яких заснований запропонований спосіб, показали, що традиційна методика аналізу перехідних процесів в RLC колах охоплює не всі аспекти їх перебігу, хоча вивчення перехідних процесів в RLC колах вважається уже завершеним.

Зокрема, це стосується порівняння ефективності утилізації в опорі R енергії, акумульованої в L і C компонентах RLC кола, у різних режимах перехідного процесу: коливному (underdamped), критичному (critically damped) і аперіодичному (overdamped).

На розширення традиційної методики виконано порівняння величини потужності, яка за час T періоду вільних коливань в RLC колі у різних режимах перехідного процесу перетворюється на тепло Джоуля в опорі R. Порівняння виконано для ряду нормованих відносно хвильового опору величин $R = \rho \cdot k$, де $k = \{0,1; 0,5; 1; 2; 10\}$.

Результати подані на рис. 1 у виді графіків потужності $P(t)$ утилізованої енергії для обраного ряду значень R за час T.

З графіків видно, що максимальна потужність $P(t)$ виділяється за час $0,5 \cdot T$ у режимі, наближеному до аперіодичного, коли $R = 1,3 \cdot \rho$, що є умовою узгодження опору навантаження R з опором послідовно з'єднаних з ним джерела напруги у виді ємності C, та джерела струму у виді індуктивності L. При поглибленні коливного і аперіодичного

режимів відбувається спад потужності, а в критичному режимі, коли $R = 2 \cdot \rho$, вона нижча від максимальної.

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує максимальну теоретичну обґрунтовану ефективність перетворення енергії джерела напруги постійного струму на енергію імпульсу у послідовному RLC колі, яка складає 98,6% за умови узгодження $R = 1,3 \cdot \rho$.

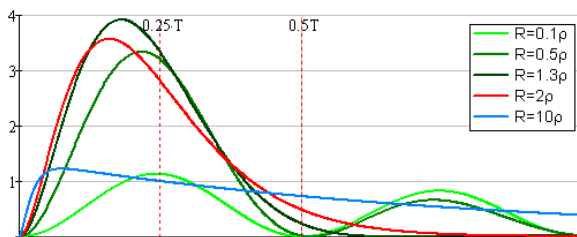


Рис. 1. Графіки потужності, яка утилізується в опорі R

За запропонованим способом збудовано лабораторний прототип імпульсного step-up dc/dc перетворювача напруги.

Протоколи проведених у незалежних лабораторіях вимірювань підтверджують ефективність протипа на рівні 96,2%, що наближається до максимальної теоретичної величини 98,6% і перевищує більшість відомих результатів.

Список літератури

1. QUADRO.ua. Режим доступу: <https://store.quadro.ua>.
2. Wikipedia. Black Hornet Nano.
3. Wikipedia. NASA Pathfinder.
4. Братюк П. В. (2020). Спосіб перетворювання енергії струму в енергію імпульсів. Патент від 12.10.2020, бюл. № 19/2020.
5. Bratiuk, P., & Ozirkovskyi, L. (2023). Method of increasing efficiency, mean of control and tool of analysis of the use energy of power source pulse laser range finder. *Automation of Technological and Business Processes*, 15(3), 9-19.

Катін П.Ю. канд. техн. наук, доц.
Мішин О.В., маг., аспірант
pv72ka@gmail.com
posuigart@gmail.com
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСНОВИ МЕТОДИКИ АНАЛІТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ СПЕКТРУ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ СИСТЕМ РАДІОКЕРУВАННЯ

У роботі надано перший етап методики отримання аналітичного виразу для розрахунку спектру широтно-імпульсного сигналу у системах радіокерування. Отриманий практичний результат у вигляді аналітичного виразу для спектру послідовності імпульсів, що модельовані синусоїдальним сигналом.

Актуальність даної методики полягає в тому, що існує клас програмованих систем управління, які є технічними системами реального часу (real-time technical systems (RTTS)) [1] і мають типові узагальнені структурні схеми, що описані у [1]. На відміну від цих структурних схем, системи радіокерування містять радіоканали для сигналів управління. Ці сигнали, у більшості випадків, є імпульсними сигналами з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), далі будемо називати їх ШІМ сигналами. Прикладом систем радіокерування з ШІМ сигналами є деякі моделі квадрокоптерів, радіокерованих моделей літаків, наземних керованих платформ, радіокерованих промислових механізмів, тощо. В деяких радіокерованих або напівавтономних системах ШІМ сигнал в радіоканалі безпосередньо модулюється високою частотою, а управління об'єктом здійснюється цим сигналом. Активно використовується часове ущільнення.

В умовах великої кількості сторонніх джерел радіо випромінювання (промислові, природні, та інші.) можуть виникати навмисні або ненавмисні радіозавади каналу управління. Для захисту радіоканалу з ШІМ

сигналом доцільно проводити моніторинг ефіру, результати якого представляються у вигляді частотного спектру. Найбільш точним способом отримання спектру є аналітичний метод розрахунку. Існує багато рішень цього напрямку [2-4], в той же час питанню формалізації методик аналітичного розрахунку частотного спектру ШІМ сигналів визначається недостатньо уваги.

1. Постановка задачі та введення обмежень.

Нехай в якості основи вихідного сигналу, що підлягає переведенню у частотний спектральний вигляд, використовується нескінченна періодична послідовність прямокутних відеоімпульсів, на якому передбачена ШІМ модуляція. Даному сигналу з великою точністю відповідає математична модель – нескінченна послідовність прямокутних імпульсів, що визначається на позитивній і негативній ділянці вісі абсцис. Ця періодична послідовність має фіксований період, амплітуду і тривалість імпульсів. Крім того вона має такий зсув відносно вісі ординат, що найближчий прямокутний імпульс до вісі ординат у точці ($t=0$) розділяються цією віссю на дві рівних частини. Будемо називати цю послідовність базовою моделлю сигналів (БМС).

Модулювання відбувається за рахунок збільшення або зменшення ширини імпульсу пропорційно вхідному сигналу модуляції для БМС. Звичайно, що для передачі сигналу через радіоефір використовуються імпульси, що модульовані високою частотою. Отже у перспективних дослідженнях у якості БМС буде використовуватися нескінченна періодична послідовність радіоімпульсів.

Припустимо, що нелінійні викривлення у БМС і ШІМ сигналі відсутні. Частота повторення імпульсів не змінюється. З використанням введених обмежень сформулюємо основи методики аналітичного розрахунку спектру ШІМ сигналу для відеоімпульсів.

2. Методика знаходження частотного спектру сигналу для нестандартних випадків.

Для формування методики застосуємо перетворення Фур'є, як найбільш універсальний математичний апарат знаходження спектральних

складових сигналів. Тобто для отримання спектру треба взяти інтеграл перетворення Фур'є від БМС і ШІМ сигналу. Оскільки значення амплітуди не дорівнюють нулю лише в межах імпульсів, замінюємо базовий інтеграл перетворення Фур'є на суму інтегралів. Кожний елемент цієї суми буде відповідати інтегралу, взятого на тривалості відповідного імпульсу.

На першому етапі пронумеруємо імпульси (і відповідні інтеграли) так, що нульовим імпульсом буде той, що розділений віссю ординат на 2 частини. Імпульси, що знаходяться на від'ємній частині вісі абсцис мають номери -1, -2, ..., а на позитивній частині – +1, +2, ...

На другому етапі знайдемо інтеграл для нульового імпульсу I_0 . Аналітично можна показати, що значення будь якого іншого інтеграла (I_j) у послідовності БМС і ШІМ сигналу можна виразити через I_0 . Позначимо характеристики БМС для подальших розрахунків наступним чином: A – амплітуда сигналу, T – період повторення, τ – ширина імпульсу. Після відповідних обчислень і перетворень отримаємо результат для довільного імпульсу БМС і ШІМ сигналу, що визначається формулою (1):

$$I_j = \int_{jT - \frac{\tau}{2}}^{jT + \frac{\tau}{2}} A e^{-i\omega t} dt = I_0 e^{-ij\omega T}. \quad (1)$$

Аналітичні вирази для I_0 , I_j є ключовими для даної методики і залишаються коректними як для БМС, так і для ШІМ сигналу (з врахуванням того, що значення ширини імпульсів вже не буде сталим).

На третьому етапі методики, при застосуванні до БМС, можна упорядкувати суму інтегралів (1) у три групи, якими є: нульовий інтеграл – I_0 ; інтеграли I_j для позитивної частини вісі абсцис; інтеграли I_j для від'ємної частини. Результат набуде вигляду (2):

$$s(\omega) = \left(\sum_{j=1}^{\infty} e^{-i\omega jT} + \sum_{j=1}^{\infty} e^{i\omega jT} + 1 \right) I_0 \quad (2)$$

Для отримання аналітичного виразу спектру, розглянемо два випадки: коли частоти у виразі (2) кратні частоті повторення імпульсів БМС, і коли частоти не є кратними. У першому випадку можна довести, що

вираз (2) будуть дорівнювати 0. Якщо ж частота ω кратна частоті імпульсів, отримаємо вираз:

$$C(\omega) = \frac{I_0}{T} = A \frac{\tau}{T} \frac{\sin\left(\tau \frac{\omega}{2}\right)}{\tau \frac{\omega}{2}}. \quad (3)$$

Таким чином перетворення Фур'є для БМС призводить до виродження щільності в дискретний вигляд, що відповідає ряду Фур'є.

Скористуємося цією ж методикою для отримання аналітичного виразу спектру ШІМ сигналу на прикладі однотональної модуляції. Розглянемо послідовність імпульсів, модульовану по ширині імпульсу синусоїдальним сигналом з частотою Ω , що набагато менша за частоту повторення імпульсів БМС. Далі будемо називати це ШІМ сигналом. У цьому випадку для ширини імпульсу справедливий такий запис:

$$\tau \rightarrow \tau(t) = \tau_0 + \Delta\tau \sin(\Omega t). \quad (4)$$

Будемо вважати, що модуляція відбувається так, що зміна ширини імпульсів не зсуває їх середину, симетрично зсуваючи обидва фронту імпульсу відповідно закону модуляції однією частотою Ω . У контексті застосування методики і не змінюючи загального характеру досліджень, розглянемо послідовність ШІМ сигналу на одному періоді модуляції. Введемо позначку N , що буде відповідати кількості імпульсів БМС в одному періоді Ω для ШІМ сигналу. Тоді, з урахуванням введених позначень, вираз (2) набуває вигляду:

$$s(\omega) = \frac{1}{TN} \sum_{j=0}^{N-1} \int_{jT - \frac{\tau(t)}{2}}^{jT + \frac{\tau(t)}{2}} A e^{-i \cdot \omega t} dt = \frac{1}{NT} \sum_{j=0}^{N-1} I_j.$$

Значення I_j для ШІМ сигналу співпадає з (1), за винятком того, що τ вже не є константою а функцією часу і відповідає закону модуляції однією частотою Ω :

$$I_j = A \tau(t) \frac{\sin\left(\tau(t) \frac{\omega}{2}\right)}{\tau(t) \frac{\omega}{2}} e^{-i \omega jT}.$$

Виконуючи математичні перетворення, отримаємо наступний результат: щільність спектру рівна нулю для всіх частот, крім частот кратних частоті імпульсів, та частот, що відхиляються від них на цілу кількість

модуючих частот. Ненульові складові можна виразити наступним чином:

$$C_n(\omega) = J_n\left(\frac{\omega\Delta\tau}{2}\right) \frac{A}{\omega} \sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right); n = 2k, \quad (5.1)$$

$$C_n(\omega) = J_n\left(\frac{\omega\Delta\tau}{2}\right) \frac{A}{i\omega} \cos\left(\frac{\omega\tau}{2}\right); n = 2k + 1, \quad (5.2)$$

де J_n – n-та функція Бесселя. Для $n=0$ правий множник співпадає зі спектром немодульованого сигналу (3). Лівий множник являє собою значення Бесселя від аргументу, пропорційного частоті та амплітуді зміни інтервалу. Для малих частот і за вказаної вище малої зміни інтервалів цей множник буде близьким до 1, але при зростанні частоти буде спадати. Спектр приймає ненульові значення на частотах, кратних ω (нульове відхилення), та частотах, що відхиляються від них на цілу кількість Ω .

На рис. 1 наведений приклад застосування отриманих формул: червоним зображено спектр модульованого сигналу, синім – огинаюча, обчислена за (3), зеленим – огинаюча, обчислена за (5.1) для $n=0$.

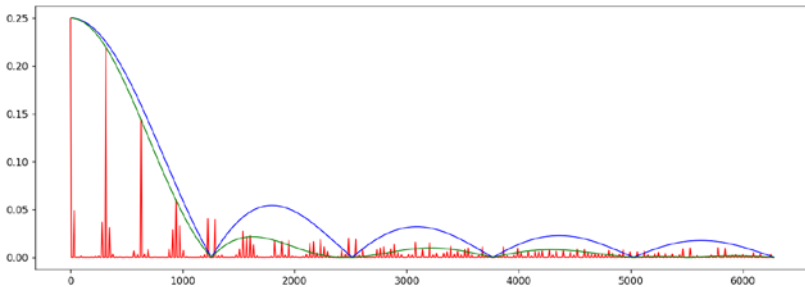


Рис. 1. Приклад спектру ШІМ сигналу
як графіку відносної амплітуди від частоти

Таким чином розроблений і протестований перший етап методики отримання аналітичного виразу для розрахунку спектру широтно-імпульсного сигналу у аналітичній формі для систем радіокерування. Він, після продовження досліджень, дозволить отримати аналітичний

вигляд спектру ШІМ сигналу для використання у задачах розробки, оцінки, проектування приладів (систем) для тестування електронної сумісності систем радіокерування.

У якості перспективного напрямку досліджень планується остаточно завершити методику і шляхом її вдосконалення за наступними напрямками: отримання аналітичного виразу спектру для фізичного ШІМ відеосигналу довільної форми; отримання аналітичного виразу спектру, що модульований радіочастотою і використовується в системах радіокерування; розробка рішення для дискретного випадку.

Список літератури

1. Katin P., Chmelov V., Shemaev V. Development of Typical „State“ Software Patterns for CortexM Microcontrollers in Real Time. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. N 3 (9(105)). P. 29–38. URL: <https://ssrn.com/abstract=3719729> .
2. Zi Tao1, a , Li Zhi2,b , Jia Long3. The SPWM Pulse Width Signal Spectrum Analysis Based on MATLAB Advanced Materials Research Online. 2013. Vols. 756-759, pp 4147-4151 doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.756-759.4147.
3. Soumya S. Dr. B. V. Sumangala. Application Of Space Vector Modulation Technique For Three Level Neutral Point Clamped Inverters. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2013. Vol. 2 Issue 6. C. 2909-2913 www.ijert.org.
4. Hang Zhu, Yubin Lan, Wenfu Wu. Development of a PWM Precision Spraying Controller for Unmanned Aerial Vehicles. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, P. R. China <https://www.ars.usda.gov/>

ЦИФРОВА ОБРОБКА СТОХАСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Вступна частина

Однією з галузей застосування цифрової обробки сигналів (ЦОС) є системи визначення доплерівського зміщення частоти відбитих від рухомих об'єктів радіолокаційних сигналів. При цьому застосовують методи прямого та зворотного підрахунку (методи частотоміру та періодоміру) [1] та метод оцінки повної фази [2].

Метод зворотного підрахунку (періодоміру) полягає в підрахунку часу, за який буде проходити визначена кількість періодів вхідної частоти шляхом підрахунку імпульсів тактової частоти, що вкладається в цю кількість періодів. Одночасний підрахунок кількості періодів вхідної частоти дозволяє визначити значення середнього періоду вхідного сигналу і, відповідно, його частоту. Середня похибка дискретності такого методу дорівнює половині тактової частоти. Таким чином, похибка дискретності при цьому методі не залежить від частоти вхідного сигналу. Тому, враховуючи високі значення тактової частоти сучасних як апаратних, так і програмних засобів ЦОС, похибка дискретності при використанні методу зворотного підрахунку (періодоміру) зводиться до незначних величин.

Оцінка середнього періоду вхідної частоти використовується при обробці доплерівських сигналів, що спотворені дією як шумів, так і впливом перевідбиттів від розподіленої земної поверхні. Використання спеціальних алгоритмів знаходження середнього значення періоду вхідної частоти дозволяє зменшити як флуктуаційну похибку вимірювань, так і усунути вплив розширення спектру доплерівського сигналу за рахунок вказаних перевідбиттів, які при пороговій обробці

призводять до порушення періодичності (пропусків) у вхідній послідовності імпульсів.

Змістовна частина

Використання методу зворотного підрахунку (періодоміру) дозволяє визначити середню оцінку періоду вхідної частоти стохастичного сигналу, який після попередньої обробки має пропуски в періодичній послідовності (рис. 1).

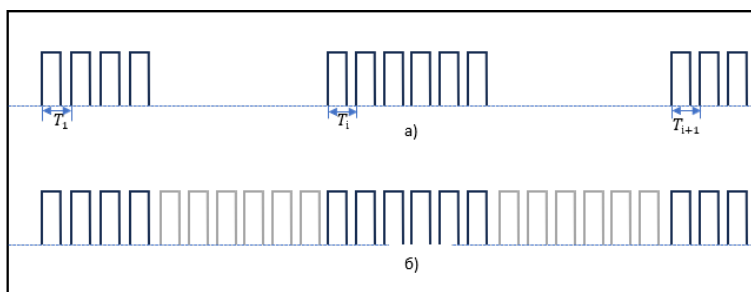


Рис. 1. Структура стохастичного сигналу:

а – вхідний сигнал; б – відновлена послідовність імпульсів

Запропоновано алгоритм який буде визначати середнє значення періоду вхідного сигналу без відновлення імпульсної послідовності за допомогою складної системи фазового автопідстроювання частоти.

Математична модель запропонованого алгоритму зворотного підрахунку (періодоміру) виглядає наступним чином:

$$T_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i, \quad (1)$$

$$\text{де} \quad \begin{cases} T_i & T_i \leq KT_{i-1} \\ T_i = 0 & T_i > KT_{i-1} \end{cases}$$

K – коефіцієнт пропорційності.

Такий алгоритм обрахунку середнього значення періоду T_c дозволяє в N разів зменшити значення флуктуаційної похибки і, відповідно, підвищити точність результату вимірювань.

Алгоритм можна реалізувати на програмно-апаратних засобах сучасних мікроконтролерів. Апаратна реалізацію пристрою на процесорі STM32 зображена на рис. 2.

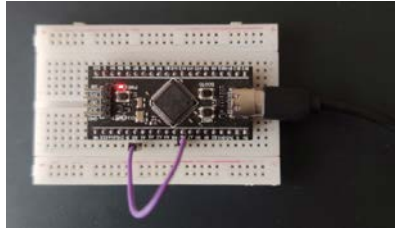


Рис. 2. Апаратна реалізація пристрою на базі мікроконтролера STM32

Для реалізації запропонованого алгоритму мікроконтролер використовуватиме counter для обрахунку кількості періодів, а clock обрахувуватиме значення періоду сигналу, використовуючи задній фронт сигналу як опорну точку для обрахунку. Після завершення циклу вимірювань контролер виводить значення періоду на дисплейний модуль або ж на інший пристрій відображення інформації для користувача.

Скріншот програмної реалізації алгоритму наведено на рис. 3.

```
60 void SystemClock_Config(void);
61 static void MX_GPIO_Init(void);
62 static void MX_TIM2_Init(void);
63 static void MX_USART1_UART_Init(void);
64 /* USER CODE BEGIN PFP */
65
66 /* USER CODE END PFP */
67
68 /* Private user code -----*/
69 /* USER CODE BEGIN 0 */
70
71 void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim) {
72     if (htim->Instance == TIM2) {
73         capture = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim, TIM_CHANNEL_1);
74         if (previous_capture != 0) {
75             period = capture - previous_capture;
76             sum_periods += period;
77             n++;
78         }
79         previous_capture = capture;
80     }
81 }
82
83 void transmit_period(float period) {
84     char buffer[50];
85     int len = sprintf(buffer, "Average Period: %f ms\r\n", period);
86     CDC_Transmit_FS((uint8_t*)buffer, len);
87 }
```

Рис. 3. Програмна реалізація пристрою на базі мікроконтролера STM32

Висновки

Запропонований алгоритм підрахунку середнього значення періоду стохастичних сигналів мінімізує статистичну похибку вимірювань, похибку дискретності та інваріантний до спотворень періодичності сигналів.

Запропонований алгоритм підрахунку середнього значення періоду стохастичних сигналів може використовуватись в доплерівських вимірювачах швидкості руху наземних рухомих об'єктів.

Шляхом подальших досліджень є оцінка таких параметрів руху наземного рухомого об'єкту, як пройдений шлях і приріст кутового положення його повздовжньої осі.

Перелік посилань

1. Веб ресурс. Код доступу: <https://www.rotr.info/electronics/prj/fmeter>
2. Справочник. – М.И. Жодзишский, Р.Б. Мазепа, Е.П. Овсянников и др. / Под редакцией М.И. Жодзишского. – М.: Радио и связь, 1990. – 208 с. – ISBN 5-256-00671-1

Прохоров А.В.
anton.prokhorov.tr.2022@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ДЕТЕРМІНОВАНОЇ ПЕРІОДИЧНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ОДНОПОЛЯРНИХ ПРЯМОКУТНИХ ІМПУЛЬСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

Вступна частина. З розвитком технологій частотоміри розвивалися і ставали все більш точними та універсальними, а з появою транзисторів та інтегральних мікросхем все більш компактними. Сьогодні сучасні частотоміри можна реалізувати за допомогою мікроконтролерів, які можуть використовувати програмні алгоритми обробки електричних сигналів [1].

Метою дослідження є вдосконалення методів вимірювання частоти прямокутних електричних імпульсів за допомогою програмно-апаратних засобів, зокрема на мікроконтролерах серії STM32.

Змістова частина. Функціональна схема частотоміру, який реалізовано на елементах жорсткої логіки наведена на рис. 1.

Підрахунок імпульсів періодичної послідовності починається за переднім фронтом імпульсу сформованого часового інтервалу і припиняється по його задньому фронту яким лічильник обнуляється і його данні переписуються в регістр і відображаються на індикаторі.

Програмна реалізація такого частотоміру формується шляхом обробки переривань які формуються на входному порті періодичними імпульсами частоти, що вимірюється. За цими перериваннями активується лічильник кількості імпульсів і таймер, який формує вимірювальний інтервал. По його закінченню обнуляється лічильник і його дані записуються в регістр, виводяться на семисегментний індикатор (або індикатор типу LCD через шину I2C) і записуються в пам'ять послідовного порта UART та передаються на термінал персонального комп'ютера для подальшої обробки отриманих даних і відображення у вигляді таблиць і графіків залежностей [1].

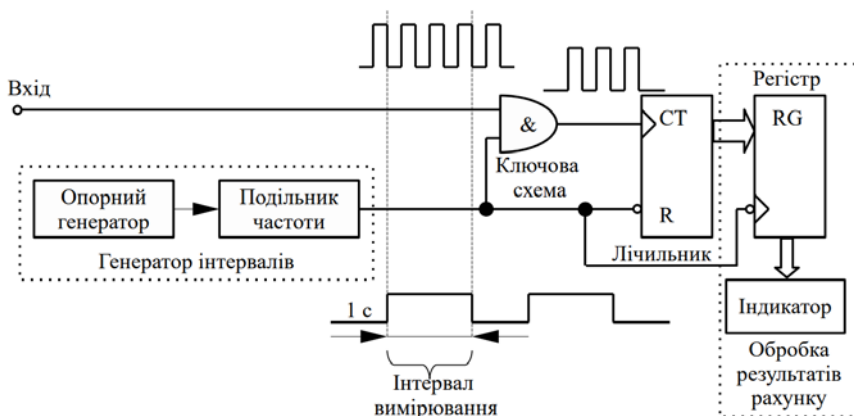


Рис. 1. Структурно-функціональна схема частотоміру, який працює за методом прямого рахунку

На підставі підрахованої лічильником кількості імпульсів N за інтервал виміру τ , обчислюється частота сигналу (1).

$$f \approx N/\tau, \quad (1)$$

де N – кількість імпульсів; τ – інтервал вимірювання.

При фіксованому вимірювальному інтервалі τ його тривалість не завжди кратна періоду частоти, що вимірюється. При цьому виникає похибка вимірювання частоти. Ілюстрація виникнення похибки оцінки частоти даним методом наведена на рис. 2.

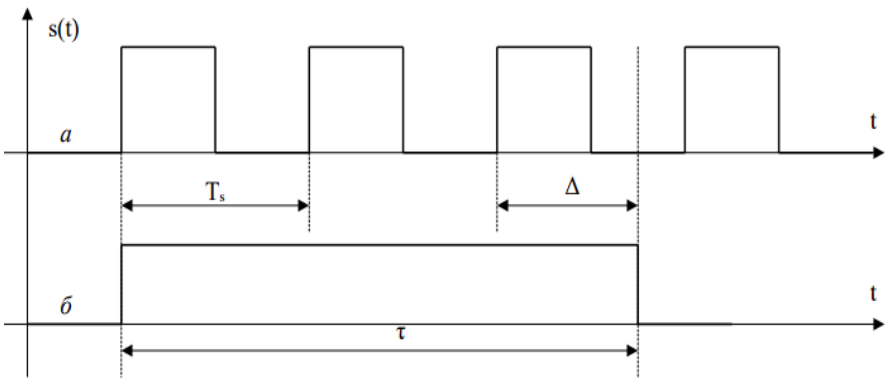


Рис. 2. Часове представлення детермінованих імпульсів (а) та інтервалу вимірювань (б)

Абсолютна середня похибка вимірювань становить

$$\Delta T_s \approx T_s/2, \quad (2)$$

де T_s – період вимірювального сигналу.

Як видно з (2), похибка вимірювань залежить від вимірювальної частоти (її періоду) і при вимірюванні низьких частот може перевищувати допустимі межі.

Для мінімізації похибки вимірювання частоти даним методом необхідно формувати змінний інтервал вимірювання який кратний цілій кількості періодів частоти, що вимірюється. Такий алгоритм вимірю-

вання ускладнює апаратну реалізацію частотоміра, однак, легко реалізується програмно.

Запропоновано алгоритм оцінки частоти детермінованої періодичної послідовності однополярних прямокутних імпульсів за допомогою мікроконтролера серії STM32 на базі відлагоджувальної плати BluePill. Згідно з цим алгоритмом при формуванні переривання переднім фронтом імпульсу сигналу вхідної частоти запускається лічильник таких імпульсів в межах часового інтервалу заданого темпом видачі інформації відносно значення цієї частоти [2], [3].

Одночасно цим перериванням запускається таймер, що формує значення часового інтервалу цілої кількості періодів вхідної частоти.

Після запису значень в регістр, необхідно очистити біт переривань. Це робиться за допомогою так званих «слабовизначених функцій», які прописуються в тексті програми (робиться для кожного таймера):

```
__HAL_TIM_CLEAR_FLAG(&htim1, TIM_SR_UIF);  
HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim1);
```

Команди виводу значень наведено нижче:

```
if (period <= 1)  
{  
    sprintf(lcd1602_tx_buffer, "period:%10.3f ns", period * 1000);  
    lcd1602_SetCursor(0, 0);  
    lcd1602_Print_text(lcd1602_tx_buffer);  
}
```

Алгоритм оцінки частоти детермінованої періодичної послідовності однополярних прямокутних імпульсів за допомогою мікроконтролера STM32 зумовлений середньою похибкою вимірювань

$$\Delta T_s \approx T_T / 2, \quad (3)$$

де T_T – тактова частота мікроконтролера.

Отримані значення також можна передати на термінал персонального комп'ютера, що наведено на рис. 3.

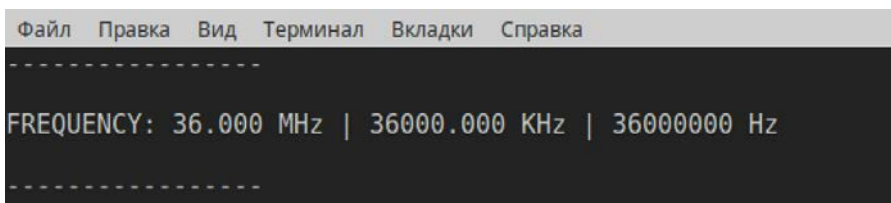


Рис. 3. Виведення значень у термінал ПК

Висновки. Враховуючи високу тактову частоту мікроконтролера серії STM32 середня похибка вимірювань за формулою (3) значно менша похибки за формулою (2) і не залежить від вимірювального сигналу. Також необхідно зазначити, що максимальна частота, яку можна виміряти платою BluePill, становить 190 МГц.

Запропонований частотомір може використовуватись при вимірюванні швидкості руху наземних об'єктів. Предметом подальших досліджень є оцінка пройденого шляху і визначення зміни кутового положення повздовжньою осі об'єкту встановлення для його автономної навігації.

Перелік джерел посилання.

1. Основні характеристики частотоміра [Електронний ресурс]. URL: <https://polaridad.es/>.
2. Цифрові методи вимірювання частоти [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rotr.info/>
3. Офіційний сайт виробника STM32 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.st.com/>.

Горбатий І.В.¹, д.т.н., проф.

Фурса Т.П.², к.е.н., доц.

¹giv@polynet.lviv.ua

²t.fursa@wunu.edu.ua

¹НУ «Львівська політехніка»

²Західноукраїнський національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

Вступ

До найважливіших показників сучасних телекомунікаційних систем передавання даних належить ефективність – властивість системи виконувати поставлену задачу в заданих умовах використання з необхідною якістю. Ефективність характеризує ступінь пристосування системи до виконання поставлених перед нею задач і є узагальненим показником її оптимального функціонування. Розрізняють наступні локальні показники ефективності: прагматичну (ступінь задоволення системою свого призначення), технічну (технічна досконалість), технологічну (простота й технологічність розроблення та створення), експлуатаційну (зручність використання й обслуговування) та економічну (доцільність здійснених затрат для створення й функціонування системи) ефективність.

Досягнення високої технічної ефективності передбачає ефективне використання ресурсів, затрачених на функціонування системи, зокрема, потужності передавального пристрою і виділеної смуги частот, що безпосередньо пов'язане з можливістю забезпечення високої економічної ефективності за рахунок зменшення здійснених затрат. Незважаючи на значну кількість публікацій у цьому напрямку, підвищення технічної ефективності телекомунікаційних систем залишається актуальною задачею. Метою цієї роботи є дослідження впливу параметрів телекомунікаційної системи на її технічну ефективність.

Методи формування й оброблення сигналів у телекомунікаційних системах

У телекомунікаційних системах інформацію передають за допомогою електричних сигналів. Саме тому застосовані в системі методи формування й оброблення сигналів безпосередньо впливають на ефективність такої системи. Серед них наважливішими при формуванні сигналів є методи модуляції/демодуляції сигналу, методи кодування/декодування сигналу, методи ущільнення/розділення сигналів, методи передавання/приймання даних із керуючим зворотним зв'язком.

У сучасних системах високошвидкісного передавання даних найуживанішими є різновиди фазової та амплітудно-фазової маніпуляції, при здійсненні яких в якості модулюючих сигналів застосовують прямокутні імпульси з певною кількістю дискретних рівнів амплітуди.

З точки зору представлення та подальшого здійснення сигнал з фазовою чи амплітудно-фазовою маніпуляцією зручно представити у вигляді суми двох ортогональних складових:

$$u_{K\Phi M_n}(t) = U_0 a_I u_{mI}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + U_0 a_Q u_{mQ}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0 - (\pi/2)), \quad (1)$$

де a_I , a_Q – коефіцієнти пропорційності для синфазного I та квадратурного Q каналів; $u_{mI}(t)$, $u_{mQ}(t)$ – модулюючі сигнали на синфазному I та квадратурному Q входах модулятора; U_0 , ω_0 і φ_0 – амплітуда, кутова частота й початкова фаза носійного коливання.

Для підвищення ефективності телекомунікаційних систем передавання даних доцільно використовувати новий різновид амплітудно-фазової модуляції – амплітудну модуляцію багатьох складових (АМБС), при цьому АМБС-сигнал має вигляд [1]:

$$u_{AMBC}(t) = \sum_{n=1}^N U_0 a_n u_{m_n}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \varphi_n), \quad (2)$$

де a_n – коефіцієнти пропорційності для n -их каналів модулятора, що є параметрами модулятора; $u_{m_n}(t)$ – модулюючі сигнали на n -их входах модулятора; Φ_n – початкові фази фазоповертачів для n -их каналів модулятора.

У сучасних телекомунікаційних системах найчастіше використовують згорткове кодування, кодування Ріда-Соломона, кодування Боуза-Чоудхурі-Хоквенгема, методи часового і частотного ущільнення/розділення каналів, методи передавання/приймання даних із зупинками та очікуванням, з N -поверненням, а також із вибіркоvim повторенням.

Ефективність методів формування й оброблення сигналів

Для оцінювання технічної ефективності телекомунікаційної системи застосовують коефіцієнт використання системи за потужністю β (енергетичну ефективність), коефіцієнт використання системи за смугою частот γ (частотну ефективність) та коефіцієнт використання системи за пропускнуою здатністю η (інформаційну ефективність):

$$\beta = v_{\delta} / \rho_0, \quad (3)$$

де v_{δ} – швидкість передавання даних, ρ_0 – відношення потужності сигналу P_c до спектральної густини потужності N_0 білого шуму в системі;

$$\gamma = v_{\delta} / \Delta F_{cuc}, \quad (4)$$

ΔF_{cuc} – смуга пропускання системи;

$$\eta = v_{\delta} / C_{cuc}, \quad (5)$$

де C_{cuc} – пропускна здатність системи.

Для комплексного оцінювання технічної ефективності телекомунікаційних систем передавання даних може бути використано коефіцієнт використання системи за застосованими методами формування й

оброблення сигналів (сигнальну ефективність) η_c , що враховує інформаційну ефективність η_{CKK} застосованих при формуванні сигнально-кодової конструкції методів модуляції та кодування, інформаційну ефективність методу розділення каналів η_p , ефективність методу передавання даних $\eta_{МП}$ і дорівнює:

$$\eta_c = \eta_{CKK} \eta_p \eta_{МП}, \quad (6)$$

Розглянемо застосування сигнальної ефективності на прикладі дослідження радіорелейної системи передавання прямої видимості (РРСП ПВ) в умовах зміни відношення потужності сигналу до потужності шуму в радіолінії, зумовленої дощем із різною інтенсивністю R_∂ . За результатами досліджень встановлено, що при зміні інтенсивності дощу R_∂ в межах від 16 до 22 мм/год застосування запропонованих методів модуляції 8-АМБС із трьома складовими зі зсувом, 16-АМБС із трьома складовими зі зсувом і 32-АМБС із трьома складовими зі зсувом замість 8-КАМ, 16-КАМ і 32-КАМ дає змогу збільшити кількість переданих даних і сигнальну ефективність РРСП ПВ на 5,3 % завдяки вищій завадозахищеності АМБС.

Висновки

Розглянуто показники телекомунікаційних систем передавання даних, що впливають на їх технічну й економічну ефективність. На прикладі РРСП ПВ показано можливість підвищення сигнальної ефективності системи, що є показником технічної ефективності системи, в умовах дощу на 5,3 % при використанні запропонованих більш ефективних різновидів модуляції сигналу.

Перелік джерел посилання.

1. Пат. №91942 Україна, МПК (2009) H04L27/34, H04L27/20, H03D3/00, H04L5/00. Спосіб передавання даних за допомогою

інформаційного сигналу, сформованого на основі амплітудної модуляції багатьох складових / І.В. Горбатий. – №а200905785 ; заявл. 5.06.2009 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. №17. – 8 с.

Дзюба А.О.,
artem.dzyuba@icloud.com

НАСВ

Бударецький Ю.І., канд. техн. наук, с.н.с.
yurii.i.budaretskyi@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНА УНІФІКАЦІЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ВИСОКОДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вступна частина. В практиці бойового застосування ракетних військ і артилерії (РВіА) актуальними завданнями являються:

- точний вимір швидкості руху наземних рухомих об'єктів (НРО) РВіА (артилерійських систем, засобів бойового управління і інструментальної артилерійської розвідки) для розрахунку місцезнаходження на марші і при розгортанні артилерійських підрозділів на позиції для скорочення часу топогеодезичної підготовки;
- точне визначення початкової швидкості вильоту снаряду для балістичної підготовки.

Змістова частина. Всепогодним і цілодобовим інструментом комплексного системотехнічного вирішення цих задач являються радіолокаційні вимірювачі параметрів руху (РВПР), що використовують доплерівський ефект. Однак існуючі РВПР, що розроблялися ще за часів ССРС морально застаріли і вичерпали свій ресурс. Враховуючи вищевказані обставини, а також порівняно високу ціну радіолокаційної апаратури, важливою науково-практичною задачею являється максимальна уніфікація технічних рішень по побудові вимірювачів, а саме: схемотехніки; елементної бази і матеріалів; методології випробувань.

Виробничо-технологічною основою такої уніфікації являється: єдине схемотехнічне і конструкторське застосування твердотільних передавальних і приймальних модулів РВПП; єдине схемотехнічне і алгоритмічне виконання процесорної частини апаратури на основі уніфікації елементної бази і програмного забезпечення при вимірюванні кількості і величини періодів доплерівської частоти. Вплив шумів, природніх і організованих завад на роботу вимірювачів для вимірювання швидкості об'єктів обумовлює реалізацію слідкуючих систем на основі фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ). Для обох варіантів вимірювачів, параметри петльового фільтра такої ФАПЧ оперативно змінюються під керуванням процесора відповідно до динаміки руху об'єкту.

Відповідно до сказаного об'єктом дослідження є процес високоточного вимірювання параметрів руху наземних об'єктів артилерії і боеприпасів артилерійських систем, а предметом дослідження – уніфікація структури вимірювачів та їх стежних пристроїв для забезпечення оптимізації по критерію «ефективність/вартість».

При цьому забезпечується зменшення витрат на розробку, модернізацію і технічне обслуговування при експлуатації зразків, пониження трудоємності і вартості виробництва.

Проведено аналіз сучасної елементної бази вітчизняних і закордонних виробників для реалізації такої уніфікації. Показано, що найбільш повно такій уніфікації задовольняють твердотільні мікрохвильові модулі для радіолокаційних систем надвисокочастотного діапазону довжин хвиль виробників передових країн світу.

Багатоканальний радіолокаційний передавач FMCW діапазону 24 ГГц (ISM) компанії ANALOG DEVICES рекомендований для застосування в наземних рухомих об'єктах і має наступні особливості: 2-канальний підсилювач потужності 24 ГГц з вихідним сигналом 8 дБм. Несиметричні виходи; програмована вихідна потужність; високошвидкісна і низька швидкості FMCW; нормований рівень фазового шуму -222 дБн/Гц; програмовані струми накачування заряду [1].

Компанія Infineon пропонує мікросхему радіочастотного блоку радара BGT24LTR11N16 для додатків, де раніше традиційно використовувалися ІЧ-датчики. Радіолокатор дозволяє вимірювати відстань до

об'єкта та його швидкість на основі ефекту Доплера. Робочий діапазон мікросхеми (24,0 ... 24,25 ГГц). Мікросхема є радар FMCW або FSK-типу, формує сигнал з вихідною потужністю 6 dBm і містить приймальний тракт з окремим входом. На виході змішувача формуються квадратурні сигнали I/Q IF, які мають подаватися на АЦП зовнішнього мікроконтролера, наприклад, ХМС1302 [2].

Радари компанії Silicon Radar доцільно використовувати не тільки для визначення параметрів руху наземних об'єктів РВіА. Вони також використовуються для виявлення і супроводу снарядів.

Приймально-передавальні модулі TRX_120_001 і TRX_120_002 орієнтовані на досягнення високої точності при вимірюванні відстаней і швидкості руху об'єктів. Тому радіус їх дії за замовчуванням становить до 10 метрів, що цілком достатньо для вирішення задач топогеодезичної підготовки і не задовольняє вимогам балістичної підготовки.

Діаграма спрямованості TRX_120_001 показана на рис. 1.

Для рішення задач балістичної підготовки мікросхема вимагає встановлення додаткових лінз для формування вузької діаграми спрямованості. При додаванні зовнішніх лінз дальність вимірювання швидкості боєприпасів може бути збільшена (рис. 2).

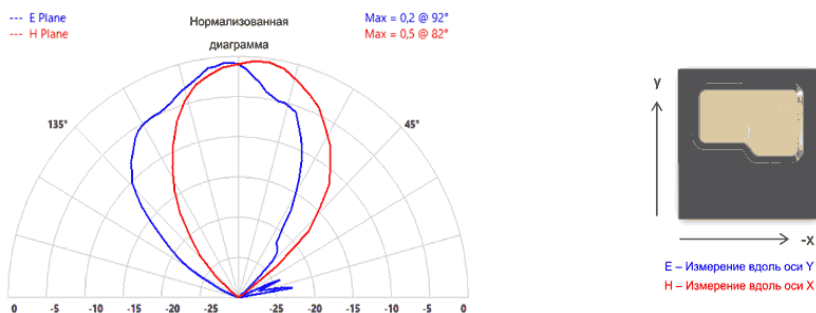


Рис. 1. Діаграма спрямованості TRX_120_001

Подальшим варіантом збільшення дальності дії є використання дзеркальних антен з розміщенням приймально-передавального модуля в фокусі такої антени.

Для створення експериментальних зразків РВПР підсистем топогеодезичної і балістичної підготовки стрільби, компанія Silicon Radar пропонує використовувати налагоджувальні набори: SiRad Easy® Evaluation Kit і SiRad Simple® Evaluation Kit. SiRad Easy® Evaluation Kit включає в себе наступний набір елементів: дві радарні плати 24 ГГц і 120 ГГц, материнську плату з Wi-Fi, об'єктив (для радара 120 ГГц) і плату Nucleo64 від ST Microelectronics. Використання цих плат з мікроконтролерами STM32 дає можливість забезпечити доступ до радіолокаційних чіпів і розробляти програмне забезпечення відповідно до типів задач. Такий набір передбачає не тільки дротовий зв'язок з ПК, але і обмін даними по WiFi, що особливо важливо при відпрацюванні експериментальних зразків в польових умовах при їх встановленні на об'єктах в реальних умовах експлуатації [3].



Рис. 2. Набір з лінзою для формування вузької діаграми спрямованості.

Висновки та пропозиції. На підставі аналізу елементної бази розроблено структурну схему уніфікованого РВПР наземних об'єктів РВіА і їх боєприпасів, визначені алгоритми його роботи.

Шляхом подальших досліджень є оптимізація стежних пристроїв РВПР з метою зменшення часу входу в синхронізм, динамічної і флуктуаційної похибки вимірювань та діапазону їх стійкості.

Перелік посилань.

1. Інформаційний ресурс. Код доступу:
<https://www.analog.com/en/index.html>.

2. Інформаційний ресурс. Код доступу: <https://www.infineon.com/cms/en/partners/partner-ecosystems/radar-module-partners/>
3. Інформаційний ресурс. Код доступу: <https://siliconradar.com/>

Бобало Ю.Я., д-р. техн. наук., проф.
Кіселичник М.Д., к.т.н., доцент
myroslav.d.kiselychnyk@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ СУМІСНОПРАЦЮЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ

Підходи до оцінки якості виробів і процесів їх створення в основному базуються на принципах оцінювання якості за матеріалами досліджень вихідних параметрів виробів. Апаратура четвертого і п'ятого поколінь все більше стає конструкційно структуризованою завдяки широкому використанню систем інтегрованих компонентів – великих і надвеликих інтегрованих мікросхем, мікрозбірок надшвидкодійних та гібридно-інтегрованих модулів тощо. Надійне функціонування таких систем забезпечується, зокрема, якістю параметричного синтезу компонентів. Тому при оцінці якості виробів виникає потреба у дослідженні не тільки їх вихідних параметрів, а і внутрішніх параметрів, які відображають стан систем суміснопрацюючих компонентів. Отримувати таким чином результати контролю дозволяють проводити аналіз ефективності технологічного процесу і зокрема ефективність процесу забезпечення якості продукції на всіх його стадіях. Розглянемо варіант формалізації такого процесу з визначенням дефектності систем суміснопрацюючих компонентів.

Об'єкт виробництва – радіоелектронний пристрій розглядається, як система S_n складових частин – компонентів. Під словом компонент розуміється частина пристрою, що реалізує певні функції і згідно з вимогами до виготовлення, випробування, приймання і постачання може розгляда-

тись як самостійний виріб [1]. Будемо вважати, що система S_n складається з n підсистем суміснопрацюючих компонентів – рис. 1.

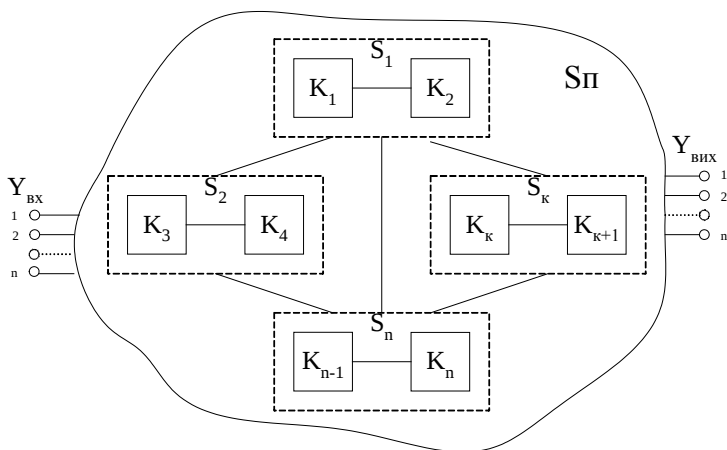


Рис. 1. Формалізована схема пристрою

Компоненти підсистеми S_k загалом є багатополіусниками, пов'язаними між собою за певною схемою.

Параметри $x_{\text{вих},k,1}, x_{\text{вих},k,2} \dots x_{\text{вих},k,n}$ і $x_{\text{вх},k,1}, x_{\text{вх},k,2} \dots x_{\text{вх},k,n}$ є параметрами стикувальними.

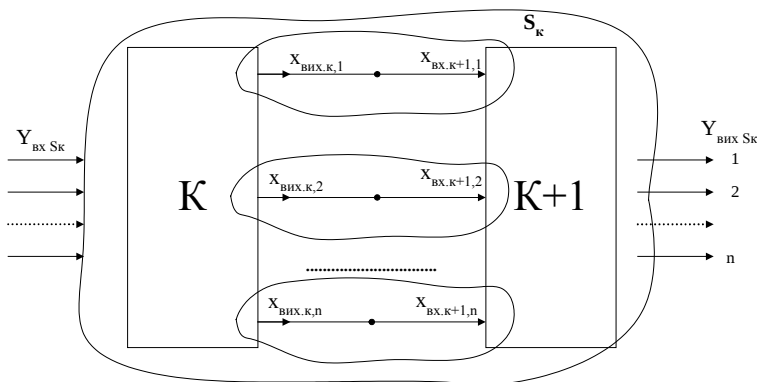


Рис. 2. Структура системи двох сумісно працюючих компонентів

У подальшому будемо розглядати лише кси «вих.» і «вх.» часом вживатись не будуть.

Відомий у явному або неявному вигляді зв'язок містикувальні параметри компонентів і тому з метою спрощення їх позначень індеж вхідними параметрами підсистем – $Y_{\text{вх.}S_k}$, параметрами компонентів $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]$ і вихідними параметрами підсистеми $Y_{\text{вих.}S_k}=[y_1, y_2, \dots, y_m]$.

На параметри компонентів і вихідні параметри підсистеми S_k накладаються обмеження

$$\begin{aligned} X_n^D &= [x_{n1}^D, x_{n2}^D, \dots, x_{nn}^D]; \\ X_B^D &= [x_{B1}^D, x_{B2}^D, \dots, x_{Bn}^D]; \\ Y_{\text{вих.}S_k, n}^D &= [y_{n1}^D, y_{n2}^D, \dots, y_{nm}^D]; \\ Y_{\text{вих.}S_k, B}^D &= [y_{B1}^D, y_{B2}^D, \dots, y_{Bm}^D]. \end{aligned}$$

Співставлення значень параметрів компонентів і вихідних параметрів підсистеми S_k приводить до поняття «області працездатності стану», яка може бути визначена як у просторі параметрів елементів E_n , так і в просторі вихідних параметрів E_m і позначатись відповідно D_x та D_y . Таким чином:

$$D_x: \{X \in E_n, x_{in} \leq x_i \leq x_{iv}, \forall i = \overline{1, n}\};$$

$$D_y: \{Y \in E_m, y_{in} \leq y_i \leq y_{iv}, \forall j = \overline{1, m}\},$$

де E_n і E_m – n і m – вимірні евклідові простори.

Оптимальний параметричний синтез компонентів передбачає встановлення у процесі виробництва таких значень їх стикувальних параметрів без зміни або зі зміною структури пристрою, за яких буде забезпечена максимальна або задана безвідмовність їх сумісної роботи.

Проблема оптимальності параметричного синтезу компонентів в загальному виді формулюється наступним чином:

$$Q[F(X)] \rightarrow \max Q[F(X)]$$

$$X \in D_x$$

$$Y \in D_y$$

$$\dots\dots$$

$$C \leq C_{\text{доп}},$$

де $Q[F(X)]$ – цільова функція (критерій оптимальності); $C, C_{\text{доп}}$ – сумарні витрати, пов’язані з оптимізацією і їх допустиме значення.

Цільовою функцією можуть бути показники надійності, наприклад, імовірності безвідмовної роботи, коефіцієнт готовності та інші. Імовірність того, що в межах заданого періоду експлуатації T відмова не виникне, визначається виразами:

$$P(t) = \int \dots \int_{D_x} f_n(X, t) dx;$$

$$P(t) = \int \dots \int_{D_y} f_m(Y, t) dy;$$

$$t = \overline{0, T}$$

$f_n(X, t)$ і $f_m(Y, t)$ – n і m – вимірні густини розподілу параметрів компонентів і вихідних параметрів підсистеми. Слід зауважити, що для визначення цих імовірностей необхідно мати інформацію не тільки про початкові розподіли параметрів x і y , але й про розподіли в процесі експлуатації, які відображають дрейфові зміни параметрів під дією дестабілізуючих факторів.

Кінцевою метою є визначення допусків на стикувальні параметри компонентів, які гарантують знаходження вихідних параметрів систем або пристрою в цілому в областях працездатного стану в процесі експлуатації. Серед відомих САПР (RAMP, Reliability Analyzer, Ассоника, ДОПАН, Intool), не було виявлено таких, які би вирішували задачі оптимізації параметричного синтезу компонентів у вище поданій постановці.

Розглядаючи функцію якості пристрою з позиції параметричного синтезу у вигляді імовірності безвідмовної роботи системи суміснопрацюючих компонентів, коефіцієнта готовності та інших показників, зазначимо, що всі вони відображають вимоги до взаємного розміщення вектора стикувальних параметрів X і області працездатності стану D_n .

Це розміщення слід розглядати у динаміці, оскільки показники надійності тісно пов’язані з параметричними змінами, які відбуваються у пристроях на стадіях виробництва та експлуатації.

Працездатність і безвідмовність підсистеми суміснопрацюючих компонентів на рівні стикувальних параметрів в значній мірі визначається

умовами забезпечення відповідного співвідношення між ними. Математично ці умови представляються наступними предикатами.

Умова перевернення

$$\overset{\wedge}{x_K} > \overset{\wedge}{x_{K+1}}; \overset{\wedge}{x_K} \in D_{\Pi}; \overset{\wedge}{x_{K+1}} \in D_{\Pi},$$

де D_{Π} – область працездатності підсистеми S_K ,

$$D_{\Pi} = D_{\text{вд}} + D_{\text{пд}},$$

$D_{\text{вд}}$ і $D_{\text{пд}}$ – внутрішньо допускова і позадопускова області працездатності відповідно, які визначаються умовами $x_{K+1, \text{н}}, x_{K-1, \text{в}}$ і $x_{K, \text{н}}, x_{K, \text{в}}$ – допускові значення стикувальних параметрів; $D_{\text{д}}$ – допускова область параметрів; $X_{\text{нп}}$ – вектор параметрів при яких умови працездатності не виконуються.

Область $D_{\text{вд}}$ і $D_{\text{пд}}$ визначаються умовами:

$$D_{\text{вд}} : \begin{cases} \overset{\wedge}{x_{K, \text{н}}} \leq \overset{\wedge}{x_K} \leq \overset{\wedge}{x_{K, \text{в}}} \\ \overset{\wedge}{x_{K+1, \text{н}}} \leq \overset{\wedge}{x_{K+1}} \leq \overset{\wedge}{x_{K+1, \text{в}}} \\ \overset{\wedge}{x_K} > \overset{\wedge}{x_{K+1}} \end{cases}$$

$$D_{\text{пд}} : \begin{cases} \overset{\wedge}{x_{K, \text{н}}} > \overset{\wedge}{x_K} > \overset{\wedge}{x_{K, \text{в}}} \\ \overset{\wedge}{x_{K+1, \text{н}}} > \overset{\wedge}{x_{K+1}} > \overset{\wedge}{x_{K+1, \text{в}}} \\ \overset{\wedge}{x_K} > \overset{\wedge}{x_{K+1}} \end{cases}$$

Для умови недосягнення геометрична інтерпретація буде наступною :

Умова недосягнення: $\overset{\wedge}{x_K} < \overset{\wedge}{x_{K+1}}; \overset{\wedge}{x_K} \in D_{\Pi}; \overset{\wedge}{x_{K+1}} \in D_{\Pi}$

Аналогічно попередньому випадку області працездатності визначаються умовами:

$$D_{\text{вд}} : \begin{cases} \hat{x}_{K,H} \leq \hat{x}_K \leq x_{K,B} \\ \hat{x}_{K+1,H} \leq \hat{x}_{K+1} \leq x_{K+1,B} \\ \hat{x}_K < \hat{x}_{K+1} \end{cases}$$

$$D_{\text{пд}} : \begin{cases} \hat{x}_{K,H} > \hat{x}_K > x_{K,B} \\ \hat{x}_{K+1,H} > \hat{x}_{K+1} > x_{K+1,B} \\ \hat{x}_K < \hat{x}_{K+1} \end{cases}$$

Умова статистичного співпадіння: $f(x_K) \approx f(x_{K+1})$.

У цьому випадку області працездатності визначаються умовами

$$D_{\text{вд}} : \begin{cases} \hat{x}_{K,H} \leq \hat{x}_K \leq x_{K,B} \\ \hat{x}_{K+1,H} \leq \hat{x}_{K+1} \leq x_{K+1,B} \\ f(\hat{x}_K) \approx f(\hat{x}_{K+1}) \end{cases}$$

$$D_{\text{пд}} : \begin{cases} \hat{x}_{K,H} > \hat{x}_K > x_{K,B} \\ \hat{x}_{K+1,H} > \hat{x}_{K+1} > x_{K+1,B} \\ f(\hat{x}_K) \approx f(\hat{x}_{K+1}) \end{cases}$$

У загальному випадку імовірності працездатності підсистеми S_K в межах областей $D_{вд}$ і $D_{пд}$ визначаються залежностями:

$$P_{D_{вд}}(t) = P[\hat{X}_K(t), \hat{X}_{K+1}(t) \in D_{вд}] = \int_{D_{вд}} \int f[\hat{x}_K(t), \hat{x}_{K+1}(t)] dx_K dx_{K+1};$$

$$P_{D_{пд}}(t) = P[\hat{X}_K(t), \hat{X}_{K+1}(t) \in D_{пд}] = \int_{D_{пд}} \int f[\hat{x}_K(t), \hat{x}_{K+1}(t)] dx_K dx_{K+1}.$$

Імовірність працездатності підсистеми у випадку незалежності параметрів $\hat{X}_K(t)$ і $\hat{X}_{K+1}(t)$:

$$P_{D_{вд}}(t) = \int_{D_{вд}} \int f[\hat{x}_K(t)] f[\hat{x}_{K+1}(t)] dx_K dx_{K+1};$$

$$P_{D_{пд}}(t) = \int_{D_{пд}} \int f[\hat{x}_K(t)] f[\hat{x}_{K+1}(t)] dx_K dx_{K+1}.$$

На рис. 3 приведена формалізована схема однопараметричної системи сумісно працюючих компонентів.

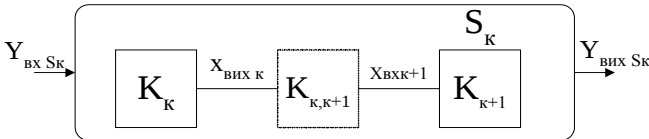


Рис. 3. Формалізована схема одно параметричної системи сумісно працюючих компонентів

Безвідмовність роботи такої системи визначається ймовірностями безвідмовної роботи k -го та $k+1$ -го компонентів – $P_K[\lambda_K(t)]$ і $P_{K+1}[\lambda_{K+1}(t)]$, які є функціями їх інтенсивностей відмов і ймовірністю безвідмовної роботи уявного компонента – $P_{K-1,K}(t)$, $K_{K-1,K}$, надійність якого визна-

чається якістю параметричного синтезу. Ця імовірність визначається статистичним узгодженням параметрів компонентів K_k та K_{k+1} і обчислюються, щодо двох стикувальних параметрів, шляхом подвійного інтегрування сумісної густини їх розподілу в межах встановлених допусків.

У загальному випадку

$$P_{Sk}(t) = P_k[\lambda_k(t)] \cdot P_{k+1}[\lambda_{k+1}(t)] \cdot P_{k+1}(t).$$

При виробництві РЕА для забезпечення і гарантування її надійності на стикувальні параметри встановлюють виробничі допуски. Вони розташовуються у межах нормативних допусків, вводяться в технологічну документацію і таким чином забезпечують надійне сумісне функціонування компонентів впродовж тривалої експлуатації.

Запропонований підхід до визначення надійності сумісно працюючих компонентів дозволяє окреслити вимоги як до показників надійності самих компонентів, так і до показників, які визначають оптимальність їх параметричного синтезу.

Необхідно зазначити, що рішення інтеграла для будь – яких законів розподілу окрім нормального на сьогодні не існує, а наближенні рішення пов'язанні з значними обчислювальними труднощами.

Зрозуміло, що при більшому числі стикувальних параметрів це завдання значно ускладнюється з відомих причин.

Література:

1. М. Кіселичник. Моделювання та оптимізація процесів формування і контролю якості радіоелектронної апаратури. Львів. 2001р.

**SECTION 2. Modeling in Radio Electronics and
Telecommunications. Design of Electronic and
Telecommunication Systems and Networks.**

**СЕКЦІЯ 2. Моделювання в радіоелектроніці та
телекомунікаціях. Проектування радіоелектронних
і телекомунікаційних систем та мереж.**

Гліненко Л.К., канд. техн., наук, доцент
Фаст В.М., канд. техн., наук, доцент
Занічковський Ю.В., магістр інженерії
Шандра М.С., магістр інженерії
larysa.k.hlinenko@lpnu.ua
volodymyr.m.fast@lpnu.ua
eternityyura@gmail.com
shandramykola@gmail.com
НУ «Львівська політехніка»
Компанія JustAnswer
Компанія Zoot

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ 3D MID ТЕХНОЛОГІЙ

Термін 3D-MID (3D moulded interconnect devices) використовується для позначення литих під тиском тривимірних носіїв друкованих плат, які вже багато років використовуються в різних галузях від автомобілебудування, машинобудування та медичної техніки до побутової електроніки. На відміну від гнучких і жорстко-гнучких друкованих плат, які випускаються в 2D і лише на завершальній стадії виробничого процесу можуть бути просторово адаптовані, вироби MID випускаються вже у форматі 3D. Це забезпечує тісну функціональну інтеграцію механічних, конструкційних та електричних функцій.

Таке поєднання функцій відкриває абсолютно нові можливості в розробці систем. Завдяки цьому арсенал альтернативних 3D- і 2,5D-технологій, таких як гнучкі і пластичні друковані плати, доповнюється можливостями, які можуть бути реалізовані в цілому за допомогою MID в технологічно обґрунтований і економічно ефективний спосіб. Унікальна комбінація пропонованих технологіями властивостей призводить до постійного зростання їх ринку (за різними оцінками, від 20 до 60% на рік).

Одним з бар'єрів на шляху впровадження 3D MID в масове виробництво є потреба адаптованих до специфіки 3D MID систем авто-

матизованого проектування. Розробники сучасних радіоелектронних пристроїв звикли створювати схеми в двовимірному просторі: сучасні САПР електронних виробів не дозволяють конструювати тривимірні друковані плати, здійснювати трасування і інші потрібні дії в об'ємі. Як наслідок, проектування електричної та механічної підсистем здійснюється різними САПР, причому пошарова конфігурація електричних з'єднань накладається на об'ємну конструкцію носія з ручною перевіркою конструкційних та технологічних обмежень. 3D MID є за своєю сутністю новою парадигмою синтетичного проектування інтегрованих механічних та електричних підсистем у тривимірному просторі, яка вимагає нового інженерного мислення, нових підходів до моделювання виробів з одночасною розробкою інтегрованих електричних і механічних підсистем. Це вимагає нових підходів до моделювання пристроїв та розробки інтегрованих САПР на їх основі, варіанти яких запрезентовано у роботах Дж.Хоулі, Б.Ромізаде та Й.Зуо [1]. Ще один момент, який може стримувати впровадження 3D-MID технології – специфічні вимоги до матеріалів основи, хоча за останні 5-7 років розроблено багато нових матеріалів, що відповідають майже всім вимогам різноманітних 3D-MID технологій.

Всі 3D-MID технології передбачають реалізацію виробу у 4 етапи: формоутворення (переважно литвом) основи корпусу; структурування основи; створення на базі цієї структури конфігурації провідного шару (металізація) та монтаж компонентів на 3D MID основу.

Основи можуть виготовлятися за технологією одно- або двокомпонентного литва. У першому випадку топологія провідників формується в процесі створення основи, у другому потрібний спеціальний процес структурування (рис. 1). У технології однокомпонентного литва основа виготовляється з термопласту, який може бути металізований після хімічної або лазерної активації. Після селективної активації здійснюється формування провідного рисунку, і нанесення фінішних покриттів.

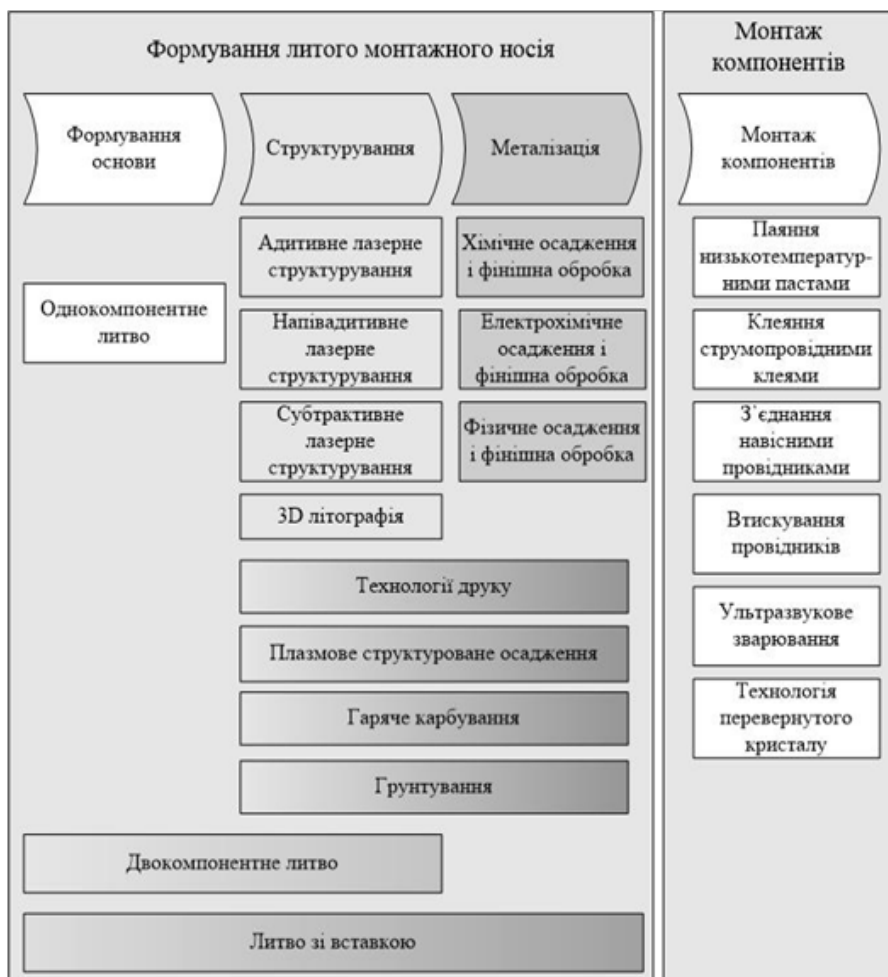


Рис. 1. Основні різновиди технологічних процесів 3D MID з литими пластмасовими носіями, на основі [1, с. 63 – 112]

Серед процесів структурування основи, виготовленої методом однокомпонентного литва, найбільше поширення отримали: 3D-фотолітографія; лазерне (адитивне, субтрактивне та напівадитивне) структурування та, для габаритних виробів з відносно простою геометрією,

гаряче карбування. Для телекомунікаційних виробів процес прямого лазерного структурування є найпоширенішим.

Кожна з технологій (рис. 2), має свої переваги та недоліки, які відбиваються у характеристиках у таких характеристиками цих процесів, як: мінімальна ширина доріжки; варіабельність конструкції; складність зміни топології; ефективний обсяг виробництва; операційні та інвестиційні витрати; доступність обладнання, тощо.

Ефективна методики вибору технологічного процесу 3D MID для організації нового бізнесу чи виготовлення конкретних пристроїв на основі так називаних карт властивостей технологічних процесів запропонована у [2]. Карти властивостей являють собою полярні діаграми, осі яких відповідають основним техніко-економічним характеристикам технологій та отриманих за ними виробів, а бальна оцінка за цими осями – ступеню здатності процесу задовольнити вимоги до цих характеристик. Суміщені карти властивостей для кількох процесів дають змогу унаочнити їх переваги і недоліки і спростити вибір у конкретних умовах виробництва (рис. 2).



Рис. 2. Суміщена діаграма властивостей 3-х 3D MID процесів

Застосування методики суміщених карт властивостей дало змогу зробити ефективнішим вибір MID-рішення та алгоритмізувати його.

Список літератури

1. Franke J. Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID). – Munich: Carl Hanser Verlag, 2014. – 360 p.
2. Гліненко Л.Фаст В. Технологічні аспекти 3D MID. – LAP Lambert Academic Publishing, 2018. – 84 с.

Алтунін С.І., канд. техн. наук

Бондарев А.П., д-р. техн. наук., проф.

Максимів І.П., канд. техн. наук

serhii.i.altunin@lpnu.ua

andrii.p.bondariev@lpnu.ua

ivan.p.maksymiv@lpnu.ua

НУ «Львівська політехніка»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТЕЖНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ТРАЄКТОРІЇ МІНОМЕТНИХ СНАРЯДІВ

При веденні бойових дій у сучасній війні вкрай важливо досягти високої мобільності та маневреності артилерійських та мінометних підрозділів [1]. Однією зі складових для досягнення цієї мети є завдання виявлення та спостереження за рухом снаряду для вимірювання його початкової швидкості та подальшого балістичного розрахунку. Для розв'язання цієї задачі використовують вимірювачі траєкторії повітряних цілей.

Ця робота присвячена дослідженню роботи траєкторних вимірювачів міліметрового діапазону, що призначені для супроводу мінометних снарядів. Хоча вимірювачі міліметрового діапазону поступаються технічними характеристиками вимірювачам сантиметрового діапазону,

вони вимагають значно менших габаритів антен, що робить їх використання у польових умовах більш доступним. Завданням роботи є порівняння траєкторних вимірювачів, побудованих на основі класичного та модифікованого пристроїв стеження та пошук оптимальних параметрів вимірювача, що забезпечують мінімальний час схоплення цілі та водночас максимальний час та дальність стеження за снарядом.

В якості вихідних даних для дослідження було обрано параметри снаряду ОФ-843, що випускаються з міномету ПМ-38. Вони мають наступні числові значення:

- початкова швидкість снаряду $v_0 = -110$ м/с (мінус означає рух від пристрою стеження);
- сповільнення $a = 5$ м/с²;
- час спостереження за снарядом – 3,3 с;
- дальність спостереження за снарядом – 317,5 м;
- частота радіохвилі відповідає міліметровому діапазону і складає 87 ГГц.

За цими показниками було визначено діапазон доплерівського зсуву частоти за час супроводу: (-63,8 кГц ... -55,1 кГц) із середнім значенням -59,45 кГц, на яке налаштований опорний генератор приймача пристрою стеження. Крайні значення доплерівського зсуву задають смугу утримання приймача.

Приймач відбитого від цілі сигналу побудований на основі пристрою фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), що служить оптимальним фільтром для приймання суміші вузькосмугового сигналу та широкосмугової завади [2]. У цій роботі використано модифікацію пристрою ФАПЧ, що включає додатковий блок вузькосмугового фільтра (ВСФ) перед фазовим детектором та активного фільтра верхніх частот (ФВЧ) після фазового детектора. У роботі [3] показано, що така модифікація пристрою ФАПЧ дає змогу покращити завадостійкість приймача та зменшити динамічну похибку стеження.

У цьому дослідженні враховано зміну відношення сигнал-шум (ВСШ) на вході пристрою стеження під час руху снаряду, адже зі збільшенням

дальності до цілі $D_{ц}$ відношення сигнал-шум зменшуватиметься пропорційно $D_{ц}^4$. Для врахування цього фактору було використано коефіцієнт пропорційності, значення якого розраховано у роботі [4].

Дослідження процесу стеження за мінометним снарядом було проведено шляхом імітаційного моделювання в програмному середовищі Matlab. Для моделювання було задано наступні параметри пристрою стеження:

- частота зрізу петльового фільтра нижніх частот (ФНЧ) $f_{ФНЧ}=1$ кГц;
- коефіцієнт пропорційності петльового ФНЧ $m=0,0001$;
- діапазон зміни частоти зрізу ВСФ $f_{ВСФ}=0,01\dots1000$ Гц;
- діапазон зміни коефіцієнту пропорційності ВСФ $m_0=0,0001\dots0,1$.

В якості критерію оптимальності при виборі параметрів пристрою визначено критерій максимального діапазону стеження за час супроводу.

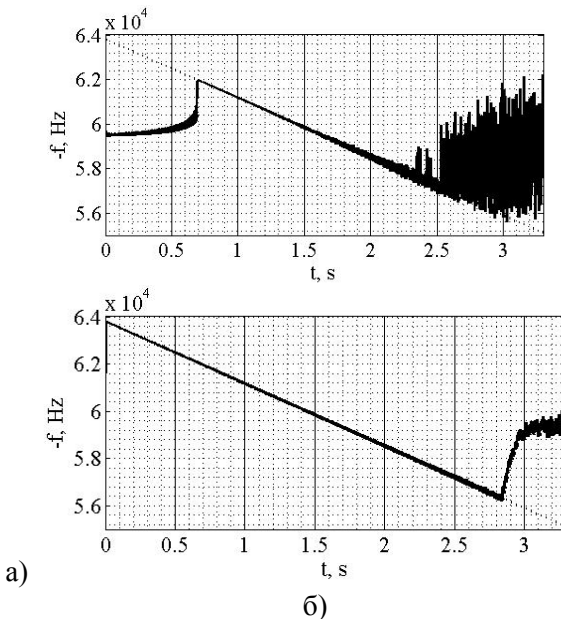


Рис. 1. Фактичне значення доплерівського зсуву (пунктирна лінія) та відхилення частоти керованого генератора (суцільна лінія) для класичного (а) та модифікованого (б) пристроїв стеження.

Шляхом багаторазового перебору параметрів пристрою стеження знайдено такі параметри ВСФ ($f_{\text{ВСФ}}=0,1$ Гц та $m_0=0,001$), що дають змогу швидше схопити супровід за снарядом, а також забезпечити довший час стеження за ціллю у порівнянні з класичним пристроєм стеження (без ВСФ). Зокрема, графіки зміни частоти опорного генератора для класичного та модифікованого пристрою стеження на рис. 1 показують, що можна досягти виграшу в часі до зриву стеження за ціллю на 0,35 с та дальності супроводу на 30 м, а також виграш у часі схоплення цілі на 0,7 с, що еквівалентно збільшенню дальності стеження на 75 м на початковому етапі руху мінометного снаряду.

Таким чином результати імітаційного моделювання процесу супроводу мінометного снаряду траєкторним вимірювачем показали, що модифікація пристрою стеження та оптимізація його параметрів дає змогу збільшити тривалість та дальність стеження за ціллю.

Список літератури

1. Бахмат М. В., Олійник М. Я., Свідерок С. М. та ін. Керівництво з бойової роботи вогневих підрозділів артилерії. Львів: НАСВ, 2019, 148 с.
2. Van Trees H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part II: Nonlinear Modulation Theory. Wiley, 2003, 368 p.
3. Bondariev A., Altunin S., Horbati I., Maksymiv I. Firmware implementation and experimental research of the phase-locked loop with improved noise immunity. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018, № 5/9 (95), p. 17–25.
4. Бобало Ю.Я., Бондарев А.П., Бударецький Ю.І., Олійник М.Я. Дослідження траєкторних вимірювачів сантиметрового та міліметрового діапазонів. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія, Вип.3, № 2, 2023, с. 150-157.

ЗАСТОСУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ SAGEMATH ДЛЯ ГЕНЕРУВАННЯ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛІВ ГАЛУА

Вступ

За умов складної інтерференційної картини та необхідності стійкого та надійного приймання цифрових сигналів на фоні завад особливої актуальності набуває їх завадостійке кодування. З іншого боку, зважаючи на широке застосування розподілених інформаційних систем, виникає необхідність будувати ортогональні системи завадостійких кодів. До таких можна віднести, зокрема, коди Баркера, Голда, Ріда-Соломона, М-послідовності, а також бінарні кодові послідовності з так званою властивістю «не більше однієї збіжності» (НБОЗ) [1].

Пошук ортогональних систем таких сигналів являється нетривіальною задачею та потребує застосування математичного апарату розширених кінечних полів Галуа, що в ручному режимі виконати надзвичайно складно. Звідси виникає задача застосування алгоритмічних засобів програмних пакетів математичного моделювання, здатних вирішувати алгебраїчні задачі в аналітичній формі.

Змістовна частина

Проведено аналіз математичних методів генерування бінарних кодових послідовностей на основі розширених скінченних полів Галуа. Для цього використано підходи, викладені в книзі-монографії М.Б. Свердлика «Оптимальні дискретні сигнали» [2, 3]. Метод побудови кодової послідовності НБОЗ базується на використанні $GF[(p^n)^3]$ – розширення 3-ї степені поля Галуа $GF(p^n)$ за допомогою незвідного над $GF(p^n)$ полінома третьої степені $f(x) = x^3 - a_2x^2 - a_1x - a_0$.

Нехай θ – корінь твірного незвідного полінома.

Тоді θ^i , де $i = 1 \dots N$, пробігає усі ненульові елементи поля $\text{GF}[(p^n)^3]$:

$$\theta^i \equiv a_{i,2}x^2 + a_{i,1}x + a_{i,0} \pmod{f(x), p},$$

де $a_{i,2}$, $a_{i,1}$, $a_{i,0}$ – елементи поля $\text{GF}(p^n)$.

$$X^{(i)} = (a_{i,2}, a_{i,1}, a_{i,0}),$$

$$X^{(i+u)} = H^u X^{(i)},$$

де H – супровідна матриця твірного полінома $J(x)$

$$H = \begin{vmatrix} 0 & 0 & -a_0 \\ 1 & 0 & -a_1 \\ 0 & 1 & -a_2 \end{vmatrix}$$

$$N = p^{2n} + p^n + 1,$$

(θ^N) – твірний елемент поля $\text{GF}(p^n)$,

$(\theta^N)^i$, $i = 0, 1, \dots, p^n - 2$ – всі ненульові елементи $\text{GF}(p^n)$,

$$\theta^l / \theta^u = \theta^{l-u} = \theta^{iN}, i = 0, 1, \dots, p^n - 2,$$

θ^{u+iN} – подібні.

Алгоритм генерування кодової послідовності з властивістю НБОЗ складається із трьох кроків:

1. Будують поле $\text{GF}[(p^n)^3]$ за допомогою твірного полінома.
2. Створюють впорядковану множини D_x шляхом приєднання до векторів-стовпчиків $X^{(0)}$ та $X^{(1)}$ усіх залежних з ними векторів-стовпчиків з перших N елементів $\text{GF}[(p^n)^3]$.
3. Виписують індекси векторів-стовпчиків X_{du} множини D_x .

Важливе значення має вибір твірного полінома, який би задовільняв вимогам незвідності. Цю функцію успішно виконує система комп'ютерної математики із відкритим кодом SageMath.

```
In [1]: # Create an extended field GF(2^150)
F = GF(2^150, 'x') # 'x' is the name of the generator

# Find a primitive element in F
primitive_element = F.primitive_element()
print("Primitive Element:", primitive_element)

# Get the minimal polynomial of the primitive element, which is a primitive polynomial
minimal_polynomial = primitive_element.minimal_polynomial()
print("Minimal Polynomial (Primitive Polynomial):", minimal_polynomial)

Primitive Element: x
Minimal Polynomial (Primitive Polynomial): x^150 + x^111 + x^110 + x^108 + x^106 + x^105 + x^103 + x^101 + x^100 + x^99 + x^98 + x^93 + x^92 + x^91 + x^90 + x^88 + x^87 + x^85 + x^82 + x^81 + x^80 + x^79 + x^76 + x^75 + x^73 + x^67 + x^66 + x^65 + x^64 + x^62 + x^60 + x^59 + x^58 + x^57 + x^55 + x^54 + x^53 + x^52 + x^51 + x^50 + x^47 + x^45 + x^41 + x^36 + x^35 + x^34 + x^31 + x^28 + x^27 + x^26 + x^25 + x^22 + x^20 + x^18 + x^16 + x^14 + x^12 + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x + 1
```

Рис. 1. Генерування незвідного полінома за основою 2.

Розроблено скрипт генерування незвідних поліномів довільної степені в середовищі SageMath [4]. Завдяки спеціальним алгебраїчним функціям, він містить лише кілька команд. (див. Рис. 1). Випробувано їх спроможність генерувати складні поліноми. Скрипт виконано для генерування незвідного полінома 150-ї степені за основою 2, що може бути практично застосований, та перевірено його незвідність за допомогою іншої функції (див. Рис. 2).

```
In [3]: # Перевіряємо, чи є поліном незвідним
is_irreducible = minimal_polynomial.is_irreducible()

print(f"Чи є поліном {minimal_polynomial} незвідним? {is_irreducible}")

Чи є поліном x^150 + x^111 + x^110 + x^108 + x^106 + x^105 + x^103 + x^101 + x^100 + x^99 + x^98 + x^93 + x^92 + x^91 + x^90 + x^88 + x^87 + x^85 + x^82 + x^81 + x^80 + x^79 + x^76 + x^75 + x^73 + x^67 + x^66 + x^65 + x^64 + x^62 + x^60 + x^59 + x^58 + x^57 + x^55 + x^54 + x^53 + x^52 + x^51 + x^50 + x^47 + x^45 + x^41 + x^36 + x^35 + x^34 + x^31 + x^28 + x^27 + x^26 + x^25 + x^22 + x^20 + x^18 + x^16 + x^14 + x^12 + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x + 1 незвідним? True
```

Рис. 2. Перевірка незвідності полінома засобами середовища SageMath версії 9.2.

Висновки та пропозиції

При проектуванні систем з використанням кодів з властивістю "не більше однієї збіжності" важливо ретельно перевіряти кореляційні властивості кодів, а також враховувати можливі обмеження на довжину коду і кількість елементів інформаційної мережі. Вибір параметрів і методи комбінування послідовностей мають критичне значення для оптимізації кореляційних властивостей і загальної ефективності системи.

Список літератури

1. Petit R.H. Pulse sequences with good autocorrelation properties. – "Microwave J.", 1967, № 2.
2. Свердлик М.Б. Оптимальные дискретные сигналы М.: Советское радио, 1975. 200 с.
3. Досин Д.Г., Сумик М.М. Синтез системи сигналів з властивістю не більше однієї збіжності – Вісник Львівського політехнічного інституту. – № 254. – 1991., Сс. 33-34

4. Zimmermann P., Casamayou A., Cohen N., et al Computational Mathematics with SageMath – Society for Industrial & Applied Mathematics, U.S., 2019, 464 p.

L. Ozirkovskyi, Dr. of Tech. Sc., Associate Prof.
M. Zmysnyi, PhD. of Tech. Sc.
O. Shkiliuk, PhD. of Tech. Sc.
leonid.d.ozirkovskyi@lpnu.ua
mykhailo.m.zmysnyi@lpnu.ua
oleksandr.p.shkiliuk@lpnu.ua
Lviv Polytechnic National University

RESEARCH OF FAILURE RATE OF FAULT-TOLERANT INFORMATION AND CONTROL SYSTEM WITH MAJORITY STRUCTURE

Introduction. All modern radio electronic complex systems include information and control systems (ICS), and their design involves the property of fault tolerance – the ability of the system to perform its functions in case of both hardware failures and software faults that can occur for wide variety of reasons. [1]. A fault-tolerant system should be able to reconfigure itself automatically or under operator control affecting reliability by changing the level of performance. An important indicator of ICS efficiency is the failure rate. It characterizes the rate at which the system gets into an emergency state and characterizes the safety of the system. This indicator is defined as a time derivative of the probability of getting into a state of catastrophic failure. In practice, this indicator is calculated as the sum of the products of the intensities of transition from a working state to an inoperable state and the probability of being in an operational state. [2]

Model of operational reliability behavior of information and control systems. Fault-tolerant ICSs, which are the object of consideration, are characterized by complex operational reliability behavior in the case of

failures, which must be considered when designing reliable models. The term “operational” indicates that we will see the presented reliable behavior of fault-tolerant systems in the future during their actual operation. Therefore, when deciding on and designing a model, the following principles should be considered:

1. Models should adequately reflect the behavior of the system in the case of failures. The models should consider that the fault-tolerant structure contains built-in automatic recovery tools that ensure the detection and recognition of performance disruptions (failure or failure), localization of the failure, and reconfiguration of the system structure when the redundancy is exhausted. If a failure-type disruption occurs, the recovery procedure considers the time and probability of connecting the backup. Both structures provide for the restoration of faulty modules.

2. Model development should be formalized procedure. It should make it feasible to automate the procedure of constructing of states and transitions graph and forming the Chapman-Kolmogorov equations system. It is reasonable to solve these equations using the Runge-Kutta-Merson method.

3. The modeling process according to the methodology should consist in the description of the system behavior in the case of failures in the form of events occurring with the system, the conditions for the realization of these events, etc. The user must customize the model developed and submitted in the form of a file, setting the initial conditions of modeling, etc.

4. Model should be universal for a majority structure of the selected type. Obtaining a model for a specific implementation of a fault-tolerant structure should consist in selecting the necessary properties of the universal model and adjusting the initial conditions for the model in accordance with the requirements of the modeled structure.

Such model assumes that the time intervals of the system in each state are random values represented by an exponential distribution law. This approach is used by designers in the absence of information about the type and parameters of the distribution law for the time intervals in each state, which allows to obtain boundary estimation of the values of reliability indicators.

To ensure the automatic replacement of failed modules within the ICS, a set of recovery tools must be provided. It consists of a set of monitoring and diagnostic tools and switching equipment [3]. A matrix switch is chosen as a switching device. Monitoring and diagnostic tools must detect the fact of module failure, determine whether it is a failure or a fault. The next stage of these tools is to localize the malfunctioning module in case of failure and disconnect it from the operating configuration. In replacement of the failed module, the switching equipment connects a spare module. If the failure was caused by a fault, the module is restarted (software reboot or complete reboot of the module) and continues to perform its functions. After the redundancy is exhausted and the number of main operable modules is equal to 4, we will reconfigure our system. There are two practical options for reconfiguration. In the first option, three modules remain in the majority structure, one module is transferred to the reserve, and the voting rule is changed from “4 out of 7” to “2 out of 3”. In the second variant, two modules operate in the comparison mode, and two modules are transferred to the reserve. In this variant, the majority element works as a comparator.

First, we obtain the ICS reliability indicators (probability of failure-free operation $R(t)$, mean time to failure MTTF, and interval of operation with a probability of at least 0.9) for the system variant without reconfiguration and without redundancy and the variant of the system without reconfiguration with redundancy. This research will quantify the efficiency of using redundancy. To study the reliability of ICS without reconfiguration and without redundancy in the set of formal parameters, we set the number of redundant modules to $R=0$. While studying the redundant ICS without reconfiguration, we will take reserve $R=3$.

In the first case when the reserve is exhausted and the critical number of main serviceable modules is reached, which is $(N+1)/2 = (7+1)/2=4$, the reconfiguration to the majority structure “2 out of 3” takes place. In this case, the voting rule is changed, the number of modules in the core is 3, and the 4th module from the previous configuration is moved to the reserve.

The second type of reconfiguration is to change the structure from the majority “4 out of 7” to a structure of 2 modules in comparison mode and 2 modules in reserve. The majority element changes its algorithm and continues to operate in the signal comparison mode. After the reserve is exhausted and 1 module fails, the ICS stops working

The dependence of the failure rate on the type of ICS configuration is shown in Fig. 1, and the time value where the peak of the function $w(t)$ is located is shown in Fig. 2.

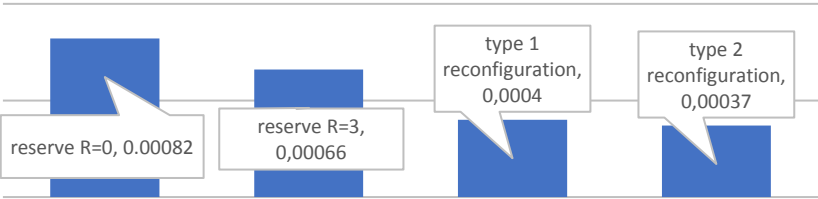


Fig. 1. Dependence of the failure rate $w(t)$ on the type of ICS configuration

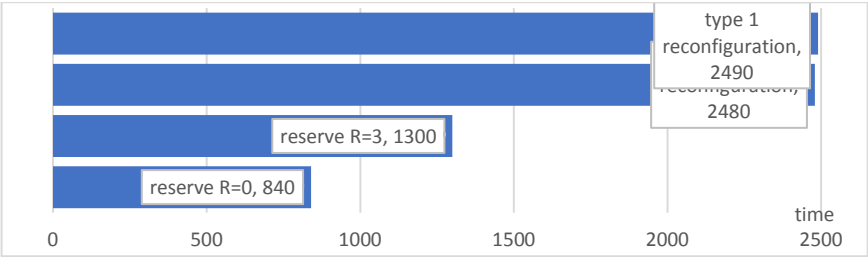


Fig. 2. Time interval where the peak of the function $w(t)$ is located

Conclusion. For increasing the level of operational reliability of the information and control system, a procedure for reconfiguring the system structure when it reaches a limit state in terms of reliability is introduced. For selecting the reconfiguration option, the reliability behavior model of the designed information and control system was developed. The option of reconfiguring the 4 out of 7 majority structure to a structure with 2 modules operating in comparison mode has slight advantages over the option of reconfiguring to the 2 out of 3 majority structure. However, the majority

structure “2 out of 3” has hardware protection against failures, and the structure operating in the mode of comparing information from two modules has no hardware protection against failures at all.

References

1. O'Connor, P., Kleyner, A. Practical reliability engineering. John Wiley & Sons, 2012 – 484 p.
2. Ozirkovskyy, L., Volochiy, B., Shkiliuk, O., Zmysnyi, M., Kazan, P. “Functional Safety Analysis of Safety-Critical System Using State Transition Diagram”, Radioelectronic and Computer Systems, 2022(2), pp.145–158.
3. J.P. Cerrolaza, R. Obermaisser, J. Abella, F.J. Cazorla, K. Grüttner, I. Agirre, H. Ahmadian, and I. Allende. 2020. Multi-core Devices for Safety-critical Systems: A Survey. ACM Comput. Surv. 53, 4, Article 79, 38 p.

B. Volochiy, Dr. of Tech. Sc., Prof.

M. Zmysnyi, PhD. of Tech. Sc.

O. Shkiliuk, PhD. of Tech. Sc.

bohdan.y.volochii@lpnu.ua

mykhailo.m.zmysnyi@lpnu.ua

oleksandr.p.shkiliuk@lpnu.ua

Lviv Polytechnic National University

THE IMPACT OF AGING EFFECT OF CORE MODULES THE FAULT-TOLERANT SYSTEM WITH MAJORITY STRUCTURE ON RELIABILITY INDICATORS

Introduction. Fault-tolerant systems of the majority type, the operation of which does not require maintenance and repair at long intervals of operation, along with the known advantage in masking failures, have a significant drawback. Increase the duration it is possible for the fault-tolerant system with majority structure to be in working condition by

means of sliding redundancy of core modules. Analyzed publications [1, 2] according to the topic of the study, it was concluded that there is no reliability model of fault-tolerant system with majority structure, which considers increase the failure rate of core module. To solve such problems, it is necessary to have a reliability model of the fault-tolerant system with majority structure, which ensures high adequacy of the values of its reliability indicators. Degree of adequacy of the model determines what is considered in it: the failure rate the modules of the core and the majority element, functionality indicators of the control and diagnostic tool, the switching tool, availability a certain number of redundancy modules. In addition, the formulation of the problem provides for considering in the model the exhaustion of the operational resource of the modules, which work in the core of the majority structure. We believe that the exhaustion of the operational resource of the modules corresponds to the increase in the value of their reliability indicator, namely "failure rate".

Configuration of fault-tolerant system with majority structure "2 out of 3". The solution of the task was carried out for system with voting rule {2 out of 3}, which has the core consists of three software and hardware modules and a majority element. The reliability of such system is increased by introducing into its structure a sliding redundancy.

The approach to account the influence the increasing failure rate software and hardware modules in fault-tolerant model. During the development of the reliability model of the fault-tolerant system of three modules in the core and with sliding redundancy, transitions from state to state in the state graph occur with the following intensities:

- 1) from the states that have 3 new modules in the core, the intensity of transitions determines the initial value failure rate of one module – λ_{1M} ;
- 2) from states that have 3 modules in the core, of which: 2 modules remained after the failure of the first and one a new module from the reserve, intensity of transitions determines the failure rate of one module, which is in the first stage of aging – λ_{2M} ;

3) from states that have 3 modules in the core, of which: 1 the module remained after the failure of the second and two new ones modules from the reserve, the intensity of transitions determines the failure rate of one module that is located at the second stage of aging – λ_{3M} ;

4) from the states that have 3 new modules connected from the reserve in the core, the intensity of transitions determines the initial value of the failure rate of one module – λ_{1M} ;

5) from the states that have 2 modules connected from the reserve in the core, which remained after the failure of the first one, the intensity of transitions determines the total failure rate of two modules of the first level of aging – $2\lambda_{2M}$.

Designing of discrete-continuous stochastic model of fault-tolerant system with majority structure "2 out of 3". The modeling technology presented in the monograph was used to develop a discrete-continuous stochastic model of the fault-tolerant system with majority structure [3]. According to the technology, a reference graph is formed states and transitions of the researching fault-tolerant system based on basic events forming its reliability behavior. To do this, we set the system parameters, define basic events that would consider all processes and procedures are included in the reliability behavior algorithm fault-tolerant system, and assign the components of the state vector systems.

The reliability analysis of fault-tolerant system with majority structure "2 out of 3" considering aging of core modules during operation.

The aging process of modules in the core of the fault-tolerant system with majority structure reflects the dependence of the average value of the failure rate of module on the duration of operation. A characteristic feature of this dependency is that the failure rate over a long-time interval module is low and constant. But after a while the duration of operation, the failure rate begins to increase. The steepness of this growth can be different. It is quite logical to interpret different steepness's of growth as different "speeds of aging core modules".

The model developed for conducting the researching makes it possible to reproduce any steepness of the increase in the failure rate of the core modules of the fault-tolerant system, that is, different rates of their aging. The steepness of the increase in intensity is formed by choosing the ratio between failure rate values: $\lambda_{1M}, \lambda_{2M}, \lambda_{3M}$.

For example: $\lambda_{3M} / \lambda_{2M} = \lambda_{2M} / \lambda_{1M} = 1, 10, 100$.

Table 1. Dependence of the MTTF of the fault-tolerant system with majority structure on the rate of aging core modules with different amounts of spare modules

Number of spare modules, N	MTTF for different values ratio of core module failure rate: 1, 10, 100 ($\lambda_{1M} = 10^{-4}$ 1/год)		
	1	10	100
0	15113	10532	10054
1	25054	11093	10104
2	34837	16084	15094
3	44599	21133	19854
4	54239	22146	20177
5	63076	26588	24609
6	73130	32082	29629

As shown by the conducted researching (Table 1), for fault-tolerant system with majority structure and three modules in the core it is not advisable to have VSMT and three modules 1 or 4 spare modules. You need to include 2, 3, 5, 6 spare modules, depending on what is the value of MTTF that must be ensured (guaranteed). In addition, at high rates of module aging $\lambda_{3M} / \lambda_{2M} = \lambda_{2M} / \lambda_{1M} \geq 50$ the MTTF are almost the same.

Conclusion. The obtained simulation results confirm the hypothesis that the reliability indicators of the fault-tolerant system, namely the mean time to failure and the probability of faultless work during operation, have smaller values than in the case of simulation of fault-tolerant system with

unchanged values of the failure rate of modules. At the same time, the greater the increase in the values of the failure rate of the core modules as a result of their exhaustion of the operational resource during operation, the smaller the values of the reliability indicators of the fault-tolerant system. It should be noted the trend that with increasing growth values of failure rate decrease of the values of the reliability indicators becomes slower.

References

1. Mathematical Models and Methods for Reliability Analysis of Radio, Electronic and Software Systems / Bobalo Yu.Ya., Volochiy B.Yu., Lozinsky O.Yu., Mandziy B.A., Ozirkovsky L.D., Fedasyuk D.V., Scherbovskikh S.V., Yakovyna V.S., – Lviv: Polytechnic National University, 2013. – 300 p. (in Ukrainian).
2. Ingle Ashok A Reliability Model for Various Switch Designs in Hybrid Redundancy/ Ashok Ingle, Daniel Siewiorek. – Carnegie Mellon University. – 1973. – 43 p.
3. Volochyi B.Y. Technology of modeling algorithms of information systems behavior / B.Y. Volochyi – Lviv, NU “Lviv Polytechnic”, 2004 – 220 p. (in Ukrainian).
4. Fedasiuk D.V. Methods of developing structural automaton models for discrete-continuous stochastic systems / D.V. Fedasiuk, S.B. Volochyi // Scientific journal “Radioelectronic and computer systems” – Kharkiv, «KhAII» 2016. – №6(80). – P. 24-34.

**SECTION 3. Models, Algorithms, Software and
Hardware of Information and Communication
and Electronic Devices.**

**СЕКЦІЯ 3. Моделі, алгоритми, програмно-апаратні
засоби інформаційно-комунікаційних
та радіоелектронних пристроїв.**

МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ У КАНАЛАХ ІЗ ЗАВМИРАННЯМИ

Вступна частина

При веденні радіомоніторингу досить часто виникає задача оцінювання тривалостей імпульсних радіосигналів. Тривалість імпульсів вимірюється, як правило, шляхом порогового оброблення комплексної обвідної. Проте через нестационарність каналу поширення радіосигналу та вплив глибоких завмирань навіть при високих відношеннях сигнал-шум лише деяка частина виявлених імпульсів матиме близьку до істинної тривалість, а решта імпульсів внаслідок спотворення їх форми матиме випадкову тривалість. У складній радіоелектронній обстановці також можливе попадання в канал оброблення випадкових завад, що призведе до виявлення окремих імпульсів. Дані фактори ускладнюють фільтрацію сигналів за їх тривалістю, що потребує розроблення відповідних методів селекції імпульсних сигналів у складній сигнальній обстановці.

Змістовна частина

Розглянемо типовий випадок, коли в частотному каналі із завмираннями присутній лише білий гауссівський шум з відомим середньоквадратичним відхиленням (СКВ) і у невідомі моменти часу можуть з'являтися сигнали із невідомими тривалостями. В такому разі для заданої ймовірності хибної тривоги можна розрахувати значення порогу.

Моменти часу перетину порогу комплексною обвідною шуму будуть випадковими величинами, що з'являються із деякою фіксованою середньою інтенсивністю λ для конкретного значення порогу. Такі події будуть створювати потік випадкових величин τ – інтервалів часу

між двома послідовними перетинами порогу, що розподілені за експоненціальним законом.

Таким чином, можна реалізувати селекцію сигналів за їх тривалостями в припущенні, що кількість номіналів тривалостей імпульсів є обмеженою і кожна тривалість зустрічається значну кількість разів на інтервалі спостереження.

Помилки оцінок тривалостей імпульсів будуть підпорядковані нормальному розподілу щільності ймовірностей (РЩЙ). Тривалості імпульсів, що не пов'язані із сигналами будуть мати експоненціальний розподіл, що свідчить про випадковість походження імпульсів, спричинену, в тому числі, глибокими завмираннями в каналі.

Вихідними даними для роботи алгоритму є вибірка вимірних тривалостей значень імпульсів об'ємом M . У даній вибірці невідома кількість значень N_e підпорядкована експоненціальному розподілу з невідомим параметром розподілу $m_{\tau e}$. Решта значень підпорядкована K нормальним розподілам. Кількість значень тривалостей імпульсів для i -го нормального розподілу N_{ni} , їх середні значення $m_{\tau ni}$ та СКВ $\sigma_{\tau ni}$ також є невідомими параметрами.

На практиці об'єм вибірки M є скінченним, тому форма побудованої на її основі гістограми, що є емпіричним аналогом РЩЙ, буде залежати від значень N_e , N_{ni} та K . Відношення N_e/M визначатиме нормуючий множник для експоненціального розподілу, N_{ni}/M – для i -го нормального розподілу. Тоді вираз для оцінки РЩЙ можна записати у такому вигляді:

$$p(\tau) = \frac{N_e}{M m_{\tau e}} e^{-\frac{\tau}{m_{\tau e}}} + \frac{1}{M \sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^K \frac{N_{ni}}{\sigma_{\tau ni}} e^{-\frac{(\tau - m_{\tau ni})^2}{2\sigma_{\tau ni}^2}}.$$

У такому разі задача селекції імпульсів зводиться до оцінювання середніх значень нормальних розподілів $m_{\tau ni}$. Для розв'язання даної задачі необхідно отримати аналітичний вираз для оцінки РЩЙ для заданого M із використанням вибірки значень τ .

Для отримання оцінок РЩЙ було використано ядерне оцінювання щільності ймовірностей із ядром Гаусса. Тоді оцінювати РЩЙ вибірки значень τ будемо за таким виразом:

$$P(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M K(\tau_i, t), \quad K(\tau_i, t) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\tau_i)^2}{2}},$$

де t – аргумент, що використовується для побудови ядра.

Максимуми оцінки РЩЙ знайдемо як значення $P(t)$ для тих t , для яких значення похідної від $P(t) = 0$ і змінює свій знак з додатного на від’ємний. Проте при відносно великих M (кілька сотень) для великих значень τ через їх малу кількість похідна від $P(t)$ матиме нульові значення для тих значень аргументу, що не відповідають тривалостям імпульсів. Для фільтрації цих випадкових максимумів проводиться їх порогова обробка із використанням такого порогу:

$$\gamma(\tau) = \frac{N_e}{Mm_{\tau e}} e^{-\frac{\tau}{m_{\tau e}}} + \sigma_0 q e^{-\left(\frac{\tau}{m_{\tau e}}\right)^d},$$

де σ_0 – СКВ кількості експоненціальних значень, що попадають до першого інтервалу гістограми; q – параметр, що визначає ймовірність перевищення порогу шумовим викидом (рекомендовано обирати рівним 5); d – параметр, що відповідає за швидкість спадання порогової функції рекомендовано обирати рівним 0,5).

Методом статистичного моделювання було отримано залежність σ_0 від об’єму вибірки експоненціального розподілу N_e та його середнього значення $m_{\tau e}$:

$$\sigma_0 \approx \frac{1}{m_{\tau e}} \left(0,017 + \frac{e^{-N_e^{0,145} + 0,9}}{3} \right).$$

Таким чином, для отримання функції $\gamma(\tau)$ необхідно оцінити середнє значення експоненціального розподілу $m_{\tau e}$ та кількість значень τ із вибірки об’ємом M , що розподілені експоненціально N_e .

Значення оцінок тривалостей імпульсів визначаються відповідно до такого виразу:

$$m_{\tau n} = \arg \left\{ \max_{\tau} (P(\tau)) \geq \gamma(\tau) \right\}.$$

У даному виразі як аргумент функції $P(t)$ використано τ . Дані параметри пов'язані між собою такою залежністю:

$$\tau = \tau_{\max} t / M,$$

де $\tau_{\max}$ – максимальне значення τ для кожної вибірки.

При дослідженні запропонованого алгоритму було встановлено:

при збільшенні N_n/N_e ймовірність виявлення імпульсів зростає;

при зростанні $m_{\tau n}$ і решті фіксованих параметрів характеристики виявлення покращуються;

при зростанні $\sigma_{\tau n}$ і решті фіксованих параметрів характеристики виявлення погіршуються;

для $N_n/N_e > 0,2$, $\sigma_{\tau n}/\sigma_{\tau e} < 0,15$ і $m_{\tau n}/m_{\tau e} > 1$ забезпечується гарантоване виявлення імпульсів;

для будь-яких значень параметрів розподілів значення похибки оцінювання тривалості імпульсів ε_{τ} при збільшенні N_n/N_e зменшується за наближено експоненціальною залежністю. При зменшенні $\sigma_{\tau n}$ значення ε_{τ} також зменшується. Для $N_n/N_e = 0,5$ і $\sigma_{\tau n} = 0,1$ похибка оцінки тривалості імпульса не перевищує 1,5 %.

Висновки та пропозиції

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що запропоновано метод оцінювання середнього значення нормального розподілу на фоні експоненціально розподілених величин. Прикладним застосуванням даного підходу є оцінювання тривалостей імпульсних сигналів у каналах із глибокими завмираннями та імпульсними перешкодами. Достовірність запропонованого методу підтверджується результатами імітаційного моделювання. На основі розробленого методу можуть бути реалізовані алгоритми автоматичної селекції імпульсів для систем радіомоніторингу.

АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ СУПРОВОДЖЕННЯ РУХОМОЇ ЦІЛІ ЗА ДАНИМИ FMCW РАДАРУ

Сучасні FMCW радари є перспективними засобами для виявлення та супроводження малорозмірних рухомих цілей з екстремально низькими ЕПР – $0,01 \dots 0,1 \text{ м}^2$ [1,2], до яких відносяться сучасні БПЛА.

Для підвищення ймовірності виявлення БПЛА у складному заводовому середовищі доцільно збільшувати ймовірність хибної тривоги α , що призводить до помітного збільшення кількості хибних відміток. Хибні відмітки, що потрапляють у строби супроводження цілі значно ускладнюють вирішення задачі супроводження. Для ототожнення відміток в стробі супроводження часто використовується алгоритм ймовірнісного об'єднання даних PDA, який використовує координатну інформацію [3]. Для підвищення ефективності ототожнення відміток запропоновано використовувати вирішальні статистики (амплітудну інформацію) з виходу оптимального приймача первинної обробки сигналів.

Для малорозмірних БПЛА, характерним є виконання інтенсивних маневрів, а також можливість зависати на місці. Отже для опису траєкторії руху БПЛА в декартовій системі координат (СК) використовується модель у вигляді стохастичної динамічної системи з випадковою структурою в дискретному часі [3]:

$$\mathbf{u}(k) = \mathbf{F}_j(k, k-1)\mathbf{u}(k-1) + \mathbf{G}_j(k)\mathbf{w}(k), \quad j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де $\mathbf{u}^T(k) = (x(k), \dot{x}(k), \ddot{x}(k), y(k), \dot{y}(k), \ddot{y}(k), z(k), \dot{z}(k), \ddot{z}(k))$ – вектор, який містить в собі параметри руху об'єкта по осям декартової СК; $\mathbf{F}_j(k, k-1)$, $\mathbf{G}_j(k)$, $j = \overline{1, M}$ – відомі матриці, які відповідають j -му виду маневру; $\mathbf{w}(k)$ – некорельований шум збудження.

При розробці алгоритму $M = 3$, а модель (1) враховує три основних типи руху: зависання $j=1$, майже рівномірний рух $j=2$, рух з маневром $j=3$. Для керування зміною структури моделі (1), використовується ланцюг Маркова $a_j(k)$, $j=\overline{1,M}$ з відомими ймовірнісними характеристиками.

Рівняння вимірювання РЛС має вигляд:

$$\mathbf{u}^v(k) = \mathbf{h}(\mathbf{u}(k)) + \mathbf{v}(k), \quad (2)$$

де $\mathbf{u}^v(k) = (x^v(k), y^v(k), z^v(k), f^v(k))^T$ – вектор спостереження, який містить виміряні координати положення БПЛА в декартовій СК і радіальну швидкість; $\mathbf{h}(\mathbf{u}(k))$ – векторна функція, $\mathbf{v}(k)$ – вектор помилок вимірювання.

Координати хибних відміток розподілені в стробі супроводження за рівномірним законом.

Пристрій виявлення сигналу FMCW радару на інтервалі когерентного накопичення як правило будується за періодограмною схемою [4]. Для оцінювання періодограми використовується двомірне дискретне перетворення Фур'є. Відліки періодограми є достатніми статистиками, які порівнюються з порогом. Для синтезу алгоритму доцільно використовувати нормовані відносно дисперсії вхідного шуму вирішальні статистики. В цьому випадку при умові, що відмітка є хибною, достатні статистики мають центральне розподілення хі-квадрат χ_2^2 з двома ступенями свободи. При умові, що відмітка є цілювою, достатні статистики описуються нецентральним законом розподілу хі-квадрат χ_2^2 з двома ступенями свободи з параметром нецентральності, який дорівнює ВСШ (відношенню сигнал/шум).

На основі сформульованої постановки задачі з використанням математичного апарату змішаних марківських процесів в дискретному часі синтезовано адаптивний алгоритм супроводження цілі з різними видам руху за даними FMCW радару.

В отриманому алгоритмі виконується спільне оцінювання параметрів руху цілі $\mathbf{u}(k)$ та змінної перемикавання $a_j(k)$, що характеризує вид її руху, у декартовій системі координат. При цьому забезпечується полігаусівська апроксимація апостеріорної щільності ймовірності параметрів руху цілі при переході на наступний крок фільтрації, що дозволяє ефективно виявляти зміну типу її руху.

Операція стробування виконується у сферичній системі координат, для зменшення обчислювальних витрат при значній кількості хибних відміток у секторі огляду. Розроблений квазіоптимальний алгоритм адаптивного оцінювання виконує оптимізацію розмірів стробів супроводу на основі отриманих оцінок змінної перемикавання. Поточні строби визначаються з використанням характеристик помилок екстраполяції, розрахованих для моделі руху цілі, з максимальною екстрапольованою ймовірністю.

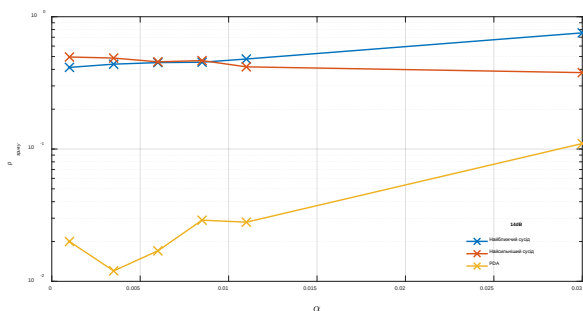
Ототожнення відміток в стробі супроводження виконується на основі методу ймовірнісного об'єднання даних PDA з використанням координатної інформації і вирішальних статистик відміток.

При непопаданні відміток у поточний строб супроводу відбувається допושук у стробі зі збільшеними розмірами, який формується з урахуванням гіпотези руху цілі з маневром.

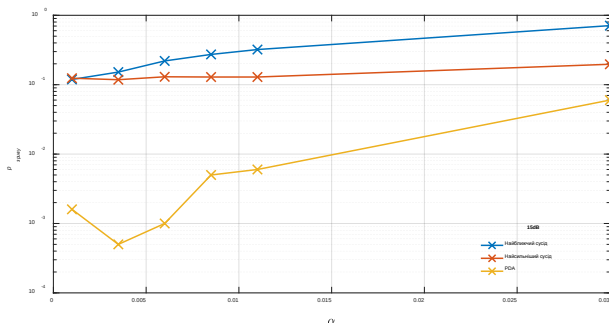
Методом статистичного моделювання було проведено аналіз ефективності адаптивного алгоритму супроводження маневруючого БПЛА з імовірнісною ідентифікацією даних за координатними та амплітудними ознаками.

Для порівняння, також були розроблені алгоритми адаптивного супроводу з ототожненням даних в стробі за методами «найближчий сусід» і «найсильніший сусід» [3]. Рішення щодо зриву супроводження приймалось при непопаданні відмітки цілі в строб супроводу три такти підряд. Темп отримання вимірювань $T=1$ с.

На рис. 1, а, б показані ймовірності зриву супроводження БПЛА p_z , від ймовірності хибної тривоги α з використанням методів ймовірнісного об'єднання даних PDA, «найсильніший сусід» «найближчий сусід» при ВСШ $h^2 = 14, 15$ дБ.



а



б

Рис. 1. Залежності ймовірності зриву супроводження БПЛА

Адаптивний алгоритм супроводження з ймовірнісним об'єднанням даних при $\alpha = 10^{-3} - 2 \times 10^{-2}$ забезпечує зменшення ймовірності зриву супроводження цілі у порівнянні з адаптивним алгоритмом «найсильніший сусід» та «найближчий сусід» на порядок і більше.

Література

1. Meikle H. Modern Radar Systems / H. Meikle. – [2nd ed.]. – Norwood, MA: Artech House, 2008. – 728 p. – ISBN: 1596932422.
2. P. K. Rai et al, "Localization and Activity Classification of Unmanned Aerial Vehicle Using mmWave FMCW Radars," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 14, pp. 16043-16053, 15 July15, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3075909

3. You, H., Jianjuan, X., & Xin, G. (2016). Radar Data Processing with Applications. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118956878>
4. Richards, Mark A., James A. Scheer and William A. Holm. "Principles of Modern Radar: Basic Principles." (2013).

A. Bench, Ph.D of Tech. Sc., Senior Lecturer
andrii.y.bench@lpnu.ua
Lviv Polytechnic National University

EXPERIMENTAL ESTIMATION OF THE RASPBERRY PI 4 AND RASPBERRY PI5 GPIO SPEED

Introduction. The Department of Theoretical Radio Engineering and Radio Measurement at the Institute of Telecommunications, Radioelectronics and Electronic Engineering conducts research on hardware-software systems based on microprocessors [1], [2]. After analyzing trends in the technology world, the research focus was directed towards the Internet of Things and elements of Artificial Intelligence [3], [4], and the Educational-Research Laboratory of Hardware-Software Radio Electronic Information Systems was established. Within the framework of these studies, the necessity of using single-board computers arose. Typically, these computers have multi-core processors with a clock frequency of about 2 GHz, RAM sizes ranging from 1 to 8 GB, and allow the implementation of complex signal processing and control algorithms. Sensors and actuators are usually connected to these boards via GPIO. In many models of single-board computers, the GPIO performance is not specified or mentioned in the specifications. Several internet materials have experimental evaluations of GPIO performance for the mentioned computers [5], [6]. The constant evolution of single-board computer lines and changes in architecture when organizing GPIO require repeated similar studies. This research is dedicated to the experimental determination of GPIO performance for Raspberry Pi 4 and Raspberry Pi 5. The study results were used to select models of single-board microcomputers for constructing radio modems.

Methodology of the Experiment. Unlike previous versions, the Raspberry Pi 5 uses the RP1 controller for GPIO management, specifically designed for this computer. Therefore, to conduct the experiments, it is necessary to use a library that supports both architectures, Raspberry Pi 4 and Raspberry Pi 5, for working with GPIO. The suitable library for this purpose is `gpiod2`. Before conducting the experiments, it needs to be installed on the Raspberry Pi using the command:

`sudo apt-get install libgpiod2 libgpiod-dev.`

One of the GPIO pins is initially set to a logical 1 to check the maximum performance. The next operation, without any delay, sets the same pin to a logical 0. As a result, a series of rectangular pulses are formed at the output, the parameters of which can be directly measured with an oscilloscope. The speed of setting the output signal for GPIO may depend on the interaction mechanisms with GPIO, which are hidden behind the implementation of a specific programming language. Therefore, test programs were written in C++ and Python for the experiment. C++ is used to create high-performance embedded system software. Python is extremely popular for creating software prototypes. C++ code is compiled, while Python code is interpreted. The choice of C++ and Python covers all typical use cases of single-board computers, from rapid prototyping using interpreted languages to creating industrial solutions. For space-saving reasons, the code of the programs used for testing is not provided here. If needed, it can be found on GitHub [8]. It should be noted that for the correct operation of the programs on Raspberry Pi 4, the constant "`gpiochip0`" should be used in the corresponding lines of the program, and on Raspberry Pi 5, it should be replaced with "`gpiochip4`".

Measurement Results. The oscillograms of the signals at the GPIO output obtained as a result of the experiments are shown in Figure 1. To obtain the oscillograms, the Hantek DSO4102S digital oscilloscope was used. The numerical measurement results are summarized in Table 1.

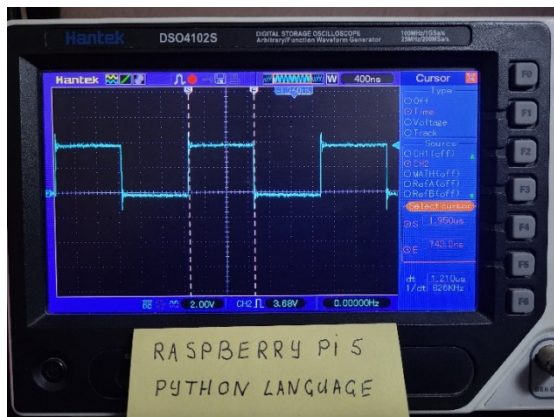
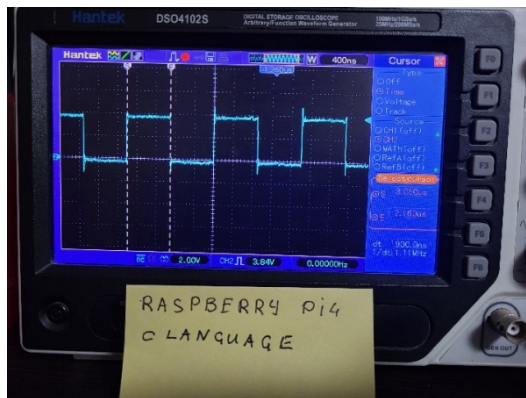
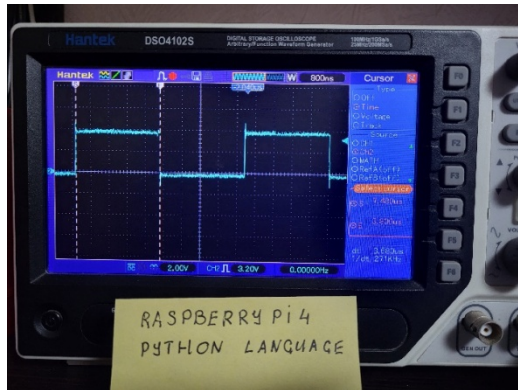


Fig. 1. Oscillograms of signals at the GPIO outputs during the experiment.

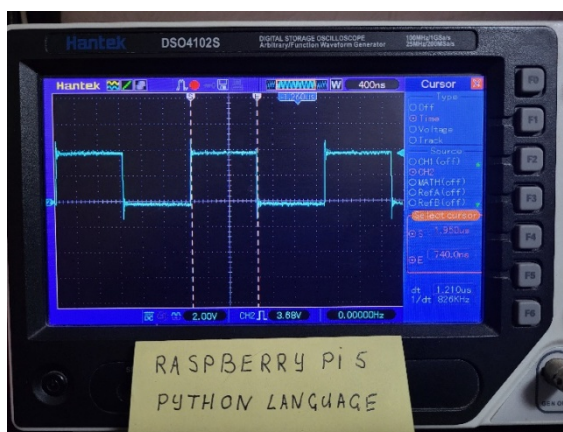


Fig. 1. (Continuation). Oscillograms of signals at the GPIO outputs during the experiment.

Table 1. Results of measurements of the maximum GPIO performance

Computer	Language	dt, μ s	f, MHz
Raspberry Pi 4	Python	3.68	0.271
Raspberry Pi 4	C++	0.90	1.110
Raspberry Pi 5	Python	1.21	0.826
Raspberry Pi 5	C++	0.38	2.630

Conclusions. Using a separate input-output controller in the Raspberry Pi 5 allowed for an increase in the maximum frequency of the output signal compared to the Raspberry Pi 4 by approximately 2.3 times for C++ programs and three times when using Python programs. The maximum signal frequency at the GPIO outputs of the Raspberry Pi 5 in C++ programs is 2.63 MHz; in Python programs, it is 826 kHz. It should be noted that the results presented are only an estimate of the maximum values. In real programs, achieving these values is almost impossible since other actions, such as processing or saving the obtained data, are usually performed between operations of changing the GPIO state.

References

1. Andriy Bench, Volodymyr Murak, Andriy Velhan, Roman Zhelyak. Line Codes Generator for Learning Purposes. Сучасні проблеми радіо-

електроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії: матеріали XI Міжнародної конференції TCSET'2012, Україна, Львів-Славське, 2012, С. 78.

2. Бенч А. Я., Бондарев А. П., Мащак А. В., Міський М. В., Підвірний Б. О. Застосування давачів інерційно-го типу для оцінки параметрів серцебиття та дихання людини. Сучасні інформаційні та електронні технології : твори XXI Міжнародної науково-практичної конференції, Україна, Одеса, 2020 р., С. 52–56.
3. Бондарев А. П., Бенч А. Я., Мащак А. В. Розробка методики викладання та програм навчальних дисциплін з урахуванням сучасних особливостей розвитку технології Інтернету речей. // Сучасні інформаційні та електронні технології: твори XX Міжнародної науково-практичної конференції, Україна, Одеса, 2019 р., С. 51–53.
4. Хома Ю. В., Бенч А. Я. Порівняльний аналіз програмно-апаратного забезпечення алгоритмів глибокого навчання. Комп'ютерні системи та мережі, 2019, Вип. 1, № 1, С. 97–102.
5. Raspberry Pi 2 vs. 1 GPIO Benchmark. Режим доступу: <https://codeandlife.com/2015/03/25/raspberry-pi-2-vs-1-gpio-benchmark/>
6. Benchmarking Raspberry Pi GPIO Speed. Режим доступу: <https://codeandlife.com/2012/07/03/benchmarking-raspberry-pi-gpio-speed/>
7. Raspberry Pi 5. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>
8. GitHub project RaspberryPiGPIOspeed. <https://github.com/abench/RaspberryPiGPIOspeed.git>

Озірковський Л.Д., д-р. техн. наук., проф.

Волочій Б.Ю., д-р. техн. наук., проф.

Приймак Н.І., аспірант

Жук Ю.П., аспірант

leonid.d.ozirkovskyi@lpnu.ua

bohdan.y.volochii@lpnu.ua

nazar.i.pryimak@lpnu.ua

yurii.p.zhuk@lpnu.ua

НУ «Львівська політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЖИВУЧОСТІ LORA MESH МЕРЕЖ

Пропонується метод для оцінки показників живучості систем відповідального призначення на прикладі LoRa MESH мережі. Цей метод можна використовувати для створення автоматизованої системи оцінювання живучості багатозв'язних та ієрархічних мереж з довільною топологією. За допомогою цієї системи проектувальник зможе отримати кількісні значення показників живучості ще на етапі системно-технічного проектування, коли система ще не має фізичної реалізації. Це дозволить проводити детальний аналіз різних варіантів реалізації системи, підвищувати ефективність процесу проектування і значно скорочувати часові затрати.

Актуальність проблеми. Особливістю мережі LoRa Mesh є те, що її структура є децентралізованою та розподіленою, а вузли мережі пов'язані між собою мережею зв'язку. LoRa широко використовується для передачі даних від віддалених вузлів Інтернету речей через шлюзи до застосунків, розміщених в Інтернеті [1]. Зв'язок LoRa між двома вузлами може становити кілька кілометрів відстані, що дозволяє географічне розподілення розгортання вузлів датчиків в застосуваннях Інтернету речей (IoT) [2]. Така архітектура забезпечує підвищену стійкість до зовнішніх впливів, оскільки для LoRa Mesh мережі живучість є важливою властивістю. Під живучістю системи розуміється її влас-

тивість залишатися працездатною в умовах негативних зовнішніх впливів [3]. Для різних галузей поняття «живучості» конкретизується відповідними нормативними документами. Відповідно до державного стандарту України (ДСТУ) [4], живучість – це властивість закладена під час проектування засобів обчислювальної техніки (ЗОТ), яка дозволяє зберегти повну чи часткову працездатність за наявності елементів ЗОТ, що перебувають у стані відмови й не допускати переходу відмов у критичні. Відмова елементів не пов'язана з впливами не передбаченими умовами експлуатації. В нашому випадку живучість визначається кількістю можливих зв'язків між елементами розподіленої структури системи відповідального призначення. Тому, підвищити живучість системи можна шляхом введення в топологічну структуру додаткових вузлів і ліній зв'язку, або резервуванням існуючих ліній зв'язку. Для кількісного оцінювання і порівняння можливих варіантів топологічної структури, цілеспрямованого пошуку оптимальних рішень застосовують систему показників структурної живучості [5]: ймовірність парної зв'язності, ймовірність зв'язності вузла з мережею та середнє значення ймовірності зв'язності для мережі. Ці показники характеризують потенційні можливості топологічної структури LoRa Mesh мережі і дозволяють ідентифікувати її слабкі місця.

Метод для вирішення задачі. Показники живучості мають відповідати вимогам системного рівня досліджень і в той же час вони мають забезпечити можливість розробки достатньо простих моделей для практичних робочих досліджень та виконання розрахунків [6]. Для аналізу та оцінки живучості інформаційних систем, які функціонують в умовах негативних впливів, можна скористатися логіко-ймовірнісними моделями, відповідно до яких допускають, що елементи системи та сама система мають двозначну логіку функціонування, і всі події у системі незалежні [7]. Методи розрахунку ймовірностей зв'язності інформаційних мереж [5] базуються на співвідношеннях, отриманих в теорії графів, декомпозиції складних систем на підсистеми, логіко-ймовірнісних перетвореннях функції працездатності. Відомі алгоритми, що реалізують згадані методи, відзначаються високою

обчислювальною складністю для LoRa MESH мереж навіть середнього рівня складності. Це підкреслює необхідність пошуку нових методів і алгоритмів для розрахунку показників структурної живучості, обчислювальна складність яких дозволяла б реалізувати інтерактивний режим проектування. Крім того, у процесі проектування необхідно виявляти вузькі місця в структурі, тобто вирішувати задачу аналізу чутливості загальносистемних показників LoRa MESH мереж до змін значень її елементів, що сама по собі є складною обчислювальною задачею. Для оцінювання показників живучості LoRa MESH мереж запропоновано формалізувати метод логіко-імовірнісного траєкторного моделювання, обчислювальна складність якого нижча, ніж у відомих методів. В основу методу логіко-імовірнісного траєкторного моделювання (ЛІТМ) покладено відому теорему математичної логіки про розклад функції логіки по будь-якому аргументу [8].

Суть методу комутації імовірнісних пакетів для випадку розрахунку парної зв'язності полягає в наступному. Для виконання розрахунку задаються початковий і кінцевий вузли структури, очищуються лічильники сумарних ймовірностей зв'язності і ймовірностей втрат. В початковий вузол структури заноситься ймовірнісний пакет. Ймовірнісний пакет посиляється на першу гілку. Кожен елемент мережі (лінія або вузол), який не є абсолютно надійним, крім кінцевого вузла, розмножує отримані пакети на два. Кожен пакет передається наступному елементу згідно зі структурою та логікою функціонування. Якщо наступний елемент виявляється непрацездатним, відбувається пошук іншого шляху до кінцевого вузла для транспортування пакета. У разі відсутності такого шляху пакет втрачається. Процес транспортування пакетів продовжується до досягнення кінцевого вузла. Коли пакет досягає кінцевого вузла, він поглинається. Імовірність парної зв'язності визначається, як сума ймовірностей існування всіх пакетів, які досягли кінцевого вузла.

Висновок. Живучість LoRa Mesh мережі є ключовою характеристикою, яка дозволяє системам працювати навіть у випадку втрати деяких ліній зв'язку. Для кількісного оцінювання показників живучос-

ті важливо мати метод, який, з одного боку, дасть змогу виявити фактори, які можуть призвести до порушення зв'язків LoRa Mesh мереж та оцінити наслідки таких порушень. Для оцінювання показників живучості LoRa Mesh мереж доцільно використати метод комутації імовірнісних пакетів. На основі цього методу можна розробити програмне забезпечення, яке автоматично визначатиме показники живучості для різних варіантів топології LoRa Mesh мереж.

Список використаної літератури

1. J. Naxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, "A survey of lorawan foriot: From technology to application," *Sensors*, vol. 18, no. 11, 2018. [Online]. Available:<https://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3995>
2. Freitag, F. & Miquel Solé, Joan & Meseguer, Roc. (2023). Position Paper: LoRa Mesh Networks for Enabling Distributed Intelligence on Tiny IoT Nodes. 10.3233/AISE230026.
3. Бачинський І.В. Термінологічний словник з інформаційної безпеки / І.В. Бачинський, В.Б. Дудикевич, В.С. Зачепило, Л.Т. Пархуць, В.В. Хома, О.В. Яструбецький. – Львів, 2005. – 140 с.
4. Засоби обчислювальної техніки. Відмовостійкість і живучість. Загальні технічні вимоги. Державний стандарт України. ДСТУ 2506-94. Додаток А. URL: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2506-94.pdf.
5. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
6. О.Г. Додонов, О.С. Горбачик, М.Г. Кузнєцова // Системні дослідження живучості та безпеки складних технічних систем / // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2010. – Т. 12, № 2. – С. 202-208.
7. А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. Живучесть информационных систем. — К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
8. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.

Горбатий І.В., д-р. техн. наук., проф.
Кобринець О.Т.
Лаврів В.Б.
giv@polynet.lviv.ua
vasyl.lavriv.mtrte.2022@lpnu.ua
ostap.kobrynets.mtrpa.2022@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ В ЯКОСТІ ДЕТЕКТОРІВ

Вступ

Сьогодні відома велика кількість різних типів безпілотних літальних апаратів (БПЛА), здатних нести потенційну загрозу для різних областей діяльності людини – господарської, повсякденної і військової. Труднощі їхнього виявлення і спостереження з використанням сучасних технічних засобів, а також порівняно невисока вартість безпілотних апаратів призводять до підвищення небезпеки використання БПЛА. Тому, завдання захисту різноманітних об'єктів від БПЛА є однією з актуальних завдань сучасності. З метою виявлення, розпізнавання і вимірювання координат безпілотних літальних апаратів сьогодні використовують, насамперед, радіолокаційні, акустичні, оптичні й інфрачервоні методи та засоби. Однак, добре розроблені в теорії і на практиці методи енергетичного виявлення сигналів по відношенню до БПЛА не показують достатню ефективність. Внаслідок цього на практиці виявлення БПЛА при наявності подібних йому об'єктів реалізують як завдання «виявлення-розпізнавання», тобто розв'язання задачі виявлення дрона супроводжується аналізом наявності деяких додаткових ознак сигналу, однак ефективність цих методів і алгоритмів на практиці також ще не є достатньою.

1. Засоби виявлення БПЛА

Можливість виявлення БПЛА визначається рівнем його помітності в видимому, інфрачервоному, радіочастотному, а також акустичному діапазонах. Сучасні малі БПЛА мають низький рівень помітності: вони виготовляються з композитних матеріалів, мають малу ефективну

поверхню розсіювання (ЕПР) в радіодіапазоні. У сучасних умовах зростають вимоги до завадозахищеності засобів радіолокації. Так, сьогодні безпілотні літальні апарати можуть застосовуватися з метою радіоелектронної боротьби як постановники активних шумових завад і прикривати ударні БПЛА. Тому РЛС виявлення БПЛА можуть функціонувати в умовах дії адитивної суміші маскувальних активних шумових і пасивних завад, тобто комбінованих завад. Проблема захисту РЛС від таких завад є ще складнішим завданням, ніж боротьба з будь-якими завадами. Пошук БПЛА за допомогою активних радіолокаційних станцій досить продуктивний, так як вони мають відносно великий імпульсний обсяг пошуку і значну дальність виявлення. Однак РЛС можуть бути визначені противником по власному випромінюванню. Радіолокаційне виявлення БПЛА може бути прийнятним тільки тоді, коли не ставляться вимоги до прихованості роботи або високої мобільності. Як уже зазначалося, більшість БПЛА виготовляють з композитних матеріалів, які досить погано перевипромінюють електромагнітні хвилі. У ряді випадків БПЛА є складною ціллю для існуючих РЛС. Ці апарати мають малу ЕПР, через що їх виявлення стає досить складним завданням. Зокрема знижується максимальна дальність виявлення.

Радіомоніторинг – це отримання інформації з використанням технічних засобів на ділянці її проходження лініями радіозв'язку. В основному, включає діяльність з вивчення радіообстановки, пошуку, виявлення і контролю різних каналів зв'язку. Завданнями радіомоніторингу ефіру є: панорамний спектральний аналіз у реальному часі, пошук випромінювань від БПЛА, вимірювання їх параметрів, порівняння з базою даних для визначення їх належності, запис радіосигналів зі службовими параметрами та подальше їх відтворення, технічний аналіз радіосигналів у реальному часі та при відкладеній обробці, пеленгування БПЛА.

Російські безпілотні літальні апарати, такі як «Орлани-10», «Форпост» та інші, проявляють здатність до виявлення радіолокаційного випромінювання засобів протиповітряної оборони та наведення на них ракет або артилерійських засобів.

Для покращення виявлення даних розвідувально-ударних безпілотних систем компанією Drone Spices було створено детектор БПЛА «Цукорок»



Рис. 1. Детектор «ЦУКОРОК»

виготовляють детектори дронів, які реагують на будь-який сигнал, включаючи Bluetooth або Wi-Fi. Застосована більш досконала система, яка мінімізує хибні спрацювання.

Найважливішим є правильне використання пристрою. При спробі виявлення безпілотників «Орлан», він завжди буде генерувати звуковий сигнал, оскільки такі безпілотні апарати постійно перебувають в повітряному просторі над зоною проведення активних дій, цілодобово.

Відстеження присутності саме розвідувальних безпілотних літальних апаратів наразі є обов'язковою опцією для забезпечення безпеки перебування техніки та особового складу на можливих ділянках ураження ударними засобами противника.

2. Оцінка просторового положення БПЛА

Одним із шляхів розвитку даного проекту детектора може бути додавання в його функціонал алгоритмів машинного навчання. Дрони широко класифікуються за допомогою їхньої дальномірної доплерівської інформації, яка залежить від механічних рухів.

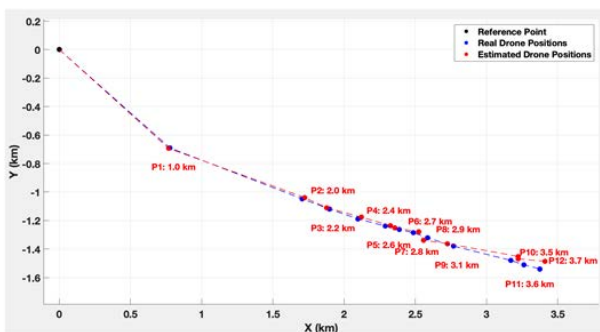
Досліджено вплив систем керування безпілотника типу FPV на їхні дальномірні доплерівські сигнатури. БПЛА мають п'ять основних рухів: зависання, тангаж, газ, крен, рух по колу, і ризикання. Для виконання кожного з рухів необхідно регулювати швидкість обертання двигунів БПЛА, що впливає на його доплерівську характеристику. Моделі машинного навчання орієнтовані на наборах даних, які містять дані про зависання та тангаж БПЛА. Тому, розробка подібної моделі, яка може вивчати статистичні алгоритми, навчатися з поданих даних і

в подальшому виконувати завдання з виявлення без явних інструкцій, може стати тим шляхом розвитку засобів виявлення безпілотних літальних апаратів, який виведе даний напрямок на якісно новий рівень. На рис. 2 представлено доплерівські зображення основних сигналів керування дроном, які можуть бути використані для вище запропонованого способу. Інтеграція даного методу в наступні покоління детекторів могла б забезпечити значно менший відсоток помилкового виявлення при його роботі у зоні підвищеної кількості джерел радіовипромінювання.

Щоб оцінити просторове положення безпілотника, можна застосувати модель, яка розрізняє телеметричні пакети для кожного виявленого дрона завдяки його ідентифікатору. Потім телеметричні пакети сортуються за часом отримання, щоб відстежити траєкторію.

Широта і довгота (φ, λ) інформація витягується та перетворюється на 2D декартові координати (x, y) за допомогою рівняння показано реальні та передбачувані позиції для безпілотника.

$$\begin{cases} x = R_{\text{earth}} \cos(\varphi) \cos(\lambda) \\ y = R_{\text{earth}} \cos(\varphi) \sin(\lambda) \end{cases}$$



DJI Mavic 2 Pro

Рис. 3. Точні позиції безпілотника, передбачувані позиції безпілотника та гаверсинус відстаней на основі оцінки системи

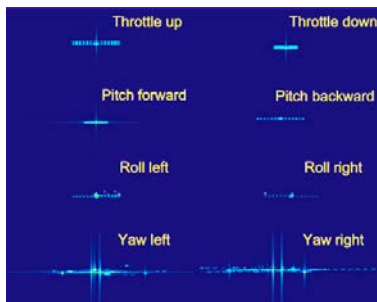


Рис. 2. Доплерівська мапа діапазону для БПЛА типу FPV при різних рухах важелів

Щоб виконати порівняння між оціненим і реальним положеннями, ми обчислюємо похибку евклідової відстані. Ця метрика вимірює розбіжність між реальними та передбачуваними позиціями кожного дрона. Позначається $e(P)$, похибка евклідової відстані визначається за такою формулою:

$$e(P) = \sqrt{(x_{\text{estimated}}(P) - x(P))^2 + (y_{\text{estimated}}(P) - y(P))^2}$$

Де $(x_{\text{estimated}}(P), y_{\text{estimated}}(P))$ – розрахункові координати, а $x(P), y(P)$ – точні координати положення дрона P .

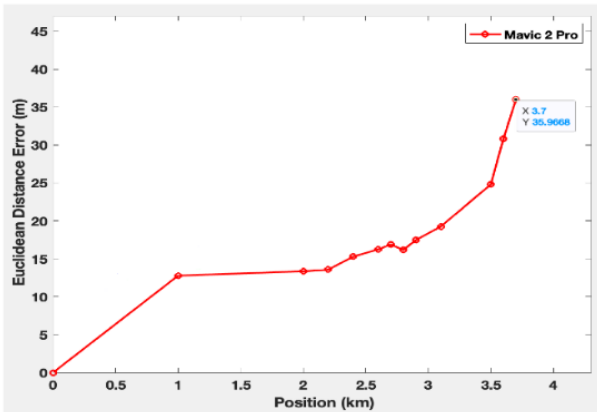


Рис. 4. Похибка евклідової відстані

Щоб дізнатися, на якій відстані БПЛА знаходиться від системи, ми використовуємо рівняння гаверсинуса. Розраховані відстані показані на рис. 4.

$$\begin{cases} a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \\ c = 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \\ d = R_{\text{earth}} \times c \end{cases}$$

Рівняння гаверсинуса обчислює відстань d між двома точками на Землі, де φ_1 і φ_2 – широти точок, і $\Delta\varphi$ і $\Delta\lambda$ являють собою різницю в широті і довготі, відповідно, R_{earth} і P_{earth} позначає радіус Землі. Ця формула враховує сферичну форму Землі. Дійсно, традиційні обчислення евклідової відстані, засновані на плоских декартових координатах, не є точними для великих відстаней. Враховуючи кривизну Землі, формула гаверсинуса забезпечує точніші вимірювання відстані.

Висновок

Детектор БПЛА «Цукорок» від компанії Drone Spices зарекомендував себе як ефективне локальне рішення для моніторингу повітряного простору у зоні застосування керованих авіаційних комплексів. Модернізована версія даного детектора розширює спектр сигналів, що можуть бути виявлені та відслідковані, що в свою чергу, дозволяє відстежувати більшу кількість різноманітних джерел випромінювання (DJI Mavic, FPV-системи). На основі дослідження доплерівських сигнатур безпілотної, було запропоновано спосіб модернізації розглянутого методу виявлення, шляхом інтеграції моделі машинного навчання, яка здійснює обробку сигналів, що містять інформацію про п'ять основних рухів БПЛА: зависання, тангаж, газ, крен, рух по колу, і ристання. Дана модель дозволить знизити вплив людського фактору при аналізі отриманих детектором даних, а запропонована математична модель дозволить покращити визначення відстані від пристрою моніторингу до безпілотної.

Шаповалов Ю.І., д-р. техн. наук., проф.

Бачик Д.Р. канд. техн. наук, доц.

Романюк Р.О. аспірант

yurii.i.shapovalov@lpnu.ua

dariia.r.bachyk@lpnu.ua

roman.o.romaniuk@lpnu.ua

Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОД БЛОЧНИХ МАТРИЦЬ ТА МАТРИЧНІ МОДЕЛІ ЛІНІЙНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

У ряді наукових праць представлено розроблений і досліджений нами так званий частотний символний метод (ЧС метод) аналізу лінійних параметричний кіл (LPTV кіл), що оснований на застосуванні до символної системи лінійних диференціальних рівнянь (ССЛДР) параметричного кола, так званого, матричного перетворення Л.А.Заде.

При зростанні у параметричному колі кількості вузлів і кількості врахованих у $W_i(s, t)$ гармонічних складових порядок символьної системи лінійних диференціальних арифметичних рівнянь (ССЛАР) суттєво зростає, також зростає і час формування цієї ССЛАР. Це стає громіздкою задачею і часто не можливою до виконання типовими засобами символьної математики, зокрема, у середовищі MATLAB. У зв'язку з цим у роботі пропонується спосіб зменшення таких витрат і приведенні їх, практично, до таких значень, якими характеризуються кола, параметри елементів яких є виключно постійні. Це досягається введенням поняття матричної параметричної моделі кожного елемента параметричного кола у вигляді відповідної матриці. А матриця шуканої ССЛАР формується на основі таких матричних моделей її елементів. Як це зроблено та що це дає і розглядається у подальшому матеріалі тез.

Теоретична частина

ССЛАР параметричного кола.

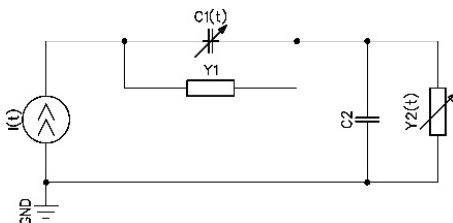


Рис. 1. Приклад параметричного кола, $c_1(t) = c_0(1 + m_1 \cdot \cos(\Omega t))$, $y_2(t) = y_0(1 + m_2 \cdot \cos(\Omega t))$, $y_1 = const$, $c_2 = const$, $\Omega = 2\pi/T$, T - період зміни параметричного елемента

На рис. 1 наведено параметричне коло з двома параметричними елементами $C_1(t)$ та $Y_2(t)$. Для простішого розуміння наступних виразів насамперед наведемо ССЛАР кола у частотній області, вважаючи параметри цих елементів постійними:

$$\begin{bmatrix} (y_1 + sc_1) & -(y_1 + sc_1) \\ -(y_1 + sc_1) & (y_1 + sc_1) + (y_2 + sc_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $W_1 = U_1/I_1$, $W_2 = U_2/I_1$.

Система диференціальних рівнянь, що описує параметричне коло з змінними параметрами з рис.1 наступне:

$$\begin{aligned}(y_1 + c'_1)u_1 + c_1u'_1 - (y_1 + c'_1)u_2 - c_1u'_2 &= i_1, \\ -(y_1 + c'_1)u_1 - c_1u'_1 + (y_1 + y_2 + c'_1)u_2 + (c_1 + c_2)u'_2 &= 0.\end{aligned}\quad (2)$$

Застосування до (2) матричного перетворення Л.А. Заде та ЧС-методу за апроксимації передавальних функцій $W_1(s, t)$ та $W_2(s, t)$ однією гармонічною складовою:

$$\begin{aligned}W_1(s, t) &= W_{10}(s) + W_{1c}(s) \cdot \cos(\Omega t) + W_{1s}(s) \cdot \sin(\Omega t), \\ W_2(s, t) &= W_{20}(s) + W_{2c}(s) \cdot \cos(\Omega t) + W_{2s}(s) \cdot \sin(\Omega t)\end{aligned}\quad (3)$$

отримуємо ССЛАР, яке запишемо у вигляді, який називатимемо блочним:

$$\begin{bmatrix} (Y_1 + sC_1) & -(Y_1 + sC_1) \\ -(Y_1 + sC_1) & (Y_1 + sC_1) + (Y_2 + sC_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix},\quad (4)$$

де

$$W_1 = \begin{bmatrix} W_{10} \\ W_{1c} \\ W_{1s} \end{bmatrix}, W_2 = \begin{bmatrix} W_{20} \\ W_{2c} \\ W_{2s} \end{bmatrix}, 1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, 0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},\quad (5)$$

а також:

$$\begin{aligned}Y_1 &= \begin{bmatrix} y_1 & 0 & 0 \\ 0 & y_1 & 0 \\ 0 & 0 & y_1 \end{bmatrix}, C_1 = \begin{bmatrix} c_0 & \frac{1}{2}c_0m_1 & \frac{1}{2}c_0m_1\frac{\Omega}{s} \\ c_0m_1 & c_0 & c_0\frac{\Omega}{s} \\ 0 & -c_0\frac{\Omega}{s} & c_0 \end{bmatrix}, \\ Y_2 &= \begin{bmatrix} y_0 & \frac{1}{2}y_0 \cdot m_2 & 0 \\ y_0 \cdot m_2 & y_0 & 0 \\ 0 & 0 & y_0 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} c_2 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & c_2\frac{\Omega}{s} \\ 0 & -c_2\frac{\Omega}{s} & c_2 \end{bmatrix}.\end{aligned}\quad (6)$$

Вирази (1) та (4) по формі однакові. Однак перший з них описує коло з постійними параметрами і містить символічні параметри та змінні. Другий – описує це ж коло, у якому параметри відповідних елементів вже змінні, і містить матриці символічних параметрів цих елементів та змінних.

Вважаємо, що вираз (4) можемо побудувати за простішими правилами, не застосовуючи безпосередньо перетворення Л.А. Заде та

ЧС-метод до кола. Так, для побудови виразу (4) заданого параметричного кола можемо: а) сформулювати вираз (1) за звичними правилами формування рівнянь кола методом вузлових напруг, вважаючи параметри елементів кола постійними; б) у такому сформованому виразі (1) елементи W_1 , W_2 , $1, 0$ визначити як матриці W_1 , W_2 , $1, 0$ з (5), а також параметри кола визначити як матриці параметрів Y_1 , C_1 , Y_2 , C_2 з (6). Таким чином формування системи (4) можемо виконати у блочному вигляді (4), оминаючи застосування до кола матричного перетворення Л.А. Заде.

Експериментальна частина

Для схеми з рис.1, вважаючи її однією ланкою, нарощувати кількість k таких ланок послідовним їх з'єднанням ($k = 1, 2, 4, 8$). Для кожного значення k , як для окремої схеми, визначити середній час формування ССЛАР.

Таблиця 1. Час формування ССЛАР двома методами

Метод	k	Час формування ССЛАР, сек
Метод блочних матриць	1	14.8035
ЧС метод через матричне рівняння Л.А. Заде	1	26.9
Метод блочних матриць	2	17.3069
ЧС метод через матричне рівняння Л.А. Заде	2	55.7
Метод блочних матриць	4	27.2704
ЧС метод через матричне рівняння Л.А. Заде	4	452.53
Метод блочних матриць	8	47.7814
ЧС метод через матричне рівняння Л.А. Заде	8	1253

З табл.1 витікає, що час формування ССЛАР за ЧС методом суттєво зростає з ростом k . При цьому час формування ССЛАР за методом блочних матриць зростає незначно.

Висновки

- моделювання методом блочних матриць є швидшим для усіх варіантів. Для восьми ланок цей метод впорався в 26 раз швидше, ніж за звичайним ЧС методом;
- дана методика розрахунку є більш дружньою до непідготовленого користувача;
- методика дозволяє тримати в базі даних програми елементарні матриці всіх елементів, для подальшого їх використання за необхідністю;
- за допомогою методу блочних матриць, можна будувати схеми будь-якої структури і складності;
- метод блочних матриць імплементований у систему функцій UDF MAOPCs, що суттєво підняло її ефективність аналізу лінійних параметричних кіл підвищеної складності з багатьма параметричними елементами, наприклад, довгих ліній з змінними у часі погонними індуктивностями.

**SECTION 4. Radio Electronic Systems. Antennas,
Microwave Technology and Electromagnetic
Compatibility. Avionics. Biomedical Engineering.**

**СЕКЦІЯ 4. Радіоелектронні системи. Антени,
мікрохвильова техніка та електромагнітна
сумісність. Авіоніка. Біомедична інженерія.**

РОЗРОБКА, МОДЕРНІЗАЦІЯ І СЕРІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО ВІТЧИЗНЯНОЇ АПАРАТУРИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

ТОВ «Оризон-Навігація» розробляє і виготовляє апаратуру споживачів супутникових навігаційних систем наземного, морського і авіаційного призначення.

Підприємство виготовляє наземну навігаційну апаратуру СН-3003М «Базальт» і СН-4215, блоки індикації та інші прилади.

Апаратура СН-3003М виготовляється у декількох модифікаціях – для наземних рухомих об'єктів, а також для індивідуального використання (СН-3003М-08) – ця модифікація має зменшену вагу та збільшений час роботи.

На підприємстві серійно виготовляється апаратура СН-4215, в 2023 році проведена її модернізація – встановлений більш сучасний центральний процесор, новий дисплей, нові акумулятори, впроваджений приймач СНС, який забезпечує роботу за сигналами супутникових систем GPS/GALILEO/BeiDou/Глонасс/SBAS.

Такий же приймач в 2024 році встановлений в апаратуру СН-3003М.

В 2024 році проводилася модернізація програмного забезпечення СН-4215 в частині:

- контролю стану навігаційного поля (наявність завад) та індикації його на дисплеї;
- використання карти автомобільних доріг України – автоматичного розрахунку маршруту на карті автомобільних доріг і контролю руху за цим маршрутом.

Також підприємство проводить роботи з покращення завадо-захисності апаратури супутникової навігації шляхом використання антен типу CRPA і антен зі спеціальною діаграмою спрямованості.

У поточному 2024 році проводяться роботи з інтеграції СН-4215 і систем інерціальної навігації як вітчизняного, так і закордонного виробництва.

Для оснащення наземних рухомих об'єктів на підприємстві розроблений комплект апаратури, до якого входять СН-4215 і блок індикації.

Блок індикації виготовляється в двох модифікаціях (відрізняються розмірами та деякими параметрами) та призначений для підвищення ефективності роботи водія – поєднує індикацію електронної картографії, зображення з відео-камер і параметрів двигуна.

Такий комплект у складі СН-4215 і блоку індикації, з'єднаний з бортовою радіостанцією, забезпечує виконання маршрутної навігації і керування групою об'єктів. Це обладнання може бути використане в інформаційно – навігаційних системах.

Підприємство виготовляє навігаційну апаратуру авіаційного призначення – СН-4312-02 і СН-4312У для транспортних літаків і вертольотів, СН-3307М для літаків типу Су і МіГ.

В 2022 році в апаратуру СН-3307М впроваджені приймачі СНС PS/ /GALILEO/BeiDou/Глонасс/SBAS.

За результатами експлуатації наше підприємство отримує пропозиції від замовників щодо вдосконалення і доопрацювання апаратури. Також для вирішення поточних проблем з покупними комплектуючими виробами (ПКВ) закордонного виробництва підприємство проводить доопрацювання в частині ПКВ. Таким чином, для забезпечення вимог споживачів і ритмічного серійного виробництва, підприємство постійно проводить доопрацювання апаратури.

На підприємстві в ініціативному порядку розроблена вітчизняна апаратура СН-4314 «Електронний пілотажний індикатор» (для заміни існуючих електромеханічних індикаторів).

Розроблений блок перетворення цифрових каналів в аналогові (код-сельсін) (БПКС).

Розроблені багатофункціональний індикатор відображення параметрів роботи двигуна АИ-450С літака УТЛ-450С та резервний індикатор для відображення параметрів роботи силової установки літака.

На цей час підприємство відпрацьовує такі напрямки розвитку виробів:

- створення нових виробів і модернізація серійної апаратури;
- використання електронної картографії і навігаційної бази даних;
- покращення завадо-захищеності (використання спеціальних антен);
- інтеграція з інерційними системами навігації.

Всім зацікавленим установам запропоновано проведення спільних досліджень з метою покращення технічних характеристик апаратури за рахунок використання новітніх науково-технічних досягнень.

Мельник С.І., канд. техн. наук, доц.
Мельник С.С., канд. ф.м. наук,
Лабазов С.М.
s.i.melnyk@karazin.ua
melnyksergiy72@gmail.com
ІРЕ НАНУ (Харків)

ОСОБЛИВОСТІ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ГЕОРАДАРНОЇ ТОМОГРАФІЇ У БЛИЖНЬОПОЛЬОВОМУ ДІАПАЗОНІ ЧАСТОТ

Вступ.

Класичні методи георадарних досліджень не враховують ефекти повторного віддзеркалення та інтерференції хвиль, відбитих від двох локальних неоднорідностей, розташованих досить близько одна від одної. Фактично це означає, що як пряма, так і зворотна задача вирішуються в Борнівському наближенні. Але інтерпретація результатів георадарних вимірів навіть у цьому наближенні є складною задачею.

Окрім цього, роздільну здатність класичних алгоритмів георадарної томографії обмежено довжиною хвилі радіосигналу, а глибина його проникнення у ґрунт дуже швидко зменшується із частотою. Тому побудова глибинних георадарів із достатньою роздільною здатністю потребує надвеликих потужностей сигналу.

Альтернативним підходом до вирішення задачі реконструкції є алгоритм зворотної згортки або алгоритм апертурного синтезу як його

модифікація [1]. В його основі лежить припущення про незалежний характер розсіювання електромагнітних хвиль локальними неоднорідностями, які є у ґрунті (Борнівське наближення).

Якщо ж відстань між сторонніми включеннями в ґрунті можна порівняти з їх розмірами, область розглядають як безперервне середовище зі змінними електрофізичними параметрами та об'ємним розсіюванням [2]. Для вирішення такої задачі (як прямої, так і зворотної) застосовують чисельні методи. Однак погана збіжність та жорсткі вимоги до початкового наближення суттєво обмежують їхнє застосування. Спроби аналітичного розв'язання таких задач здійснено лише для одновимірного випадку, крім того, вони обмежені малими градієнтами електрофізичних властивостей ґрунту.

Саме цьому ми вважаємо перспективним використання методу ближньопольової томографії, що не має цих недоліків. Додатково, цей метод дозволяє значно розширити сферу застосування георадарного сканування завдяки збільшенню глибини проникнення електромагнітних хвиль у ґрунт на менших частотах.

Огляд існуючих методів ближньопольової томографії

Загальний підхід до побудови алгоритму ближньопольової томографії підповерхневих неоднорідностей описано в роботі [3]. Розглянутий у ній алгоритм вирішення задач ближньопольової томографії має досить широке застосування у багатьох сферах науки та техніки, але щодо задач георадарної тематики стикається із рядом принципових труднощів. А саме:

- використовує Борнівське наближення для апроксимації точного рішення прямої задачі;
- не враховує вплив шумів на збіжність вирішення некоректної задачі (інтегрального рівняння);
- має складну математичну форму та потребує точної апіорної інформації про особливості ґрунту без неоднорідностей;

Загалом ці та інші недоліки існуючого алгоритму реконструкції призводять до того, що метод ближньопольової томографії майже ніколи не застосовують на практиці, незважаючи на його очевидні переваги.

Попередній аналіз можливостей ближньопольового методу георадарної томографії

Ми адаптували класичний метод ближньопольової томографії до задач георадарної тематики, завдяки принципово новому підходу до

аналізу вимірювальної інформації (тези на цій конференції) та значному зменшенню розмірності простору можливих рішень зворотної задачі.

Для перевірки ефективності нового підходу було створено експериментальний макет. Реєструюча частина макету складається з приладу Nano-Vna-3.2 та ноутбука, а вимірювальна – з направляючих дерев'яних рейок із шкалою, антенного блоку, та розсіюючих об'єктів.

Зазначимо, що експерименти проводилися в приміщенні, що призвело до багатьох артефактів – віддзеркалень від об'єктів навколишньої сцени, конструкцій підлоги, тіла експериментатора та інше. Та саме ці фактори й дозволяють відтворити складні обставини реального сканування ґрунту у польових умовах. Тому у ході досліджень ми не застосовували спеціальні засоби боротьби із артефактами, а сліdkували тільки за їх відтворенням у повторних експериментах.

Дослідження параметрів відтворюваності результатів

В новому інформаційно-алгоритмічному підході до вирішення задач томографії параметр відтворюваності результатів вимірювань грає головну роль, на відміну від інших методів. Для оцінки цього параметру ми провели серію повторних експериментів (рисунк 1).

Можна зазначити, що відхилення результатів повторних вимірів частотної залежності S_{21} **Phase** складає не більш за 3° (виноска на рис. 1) у той час, як відхилення вимірів при наявності додаткового об'єкта сягає 200° .

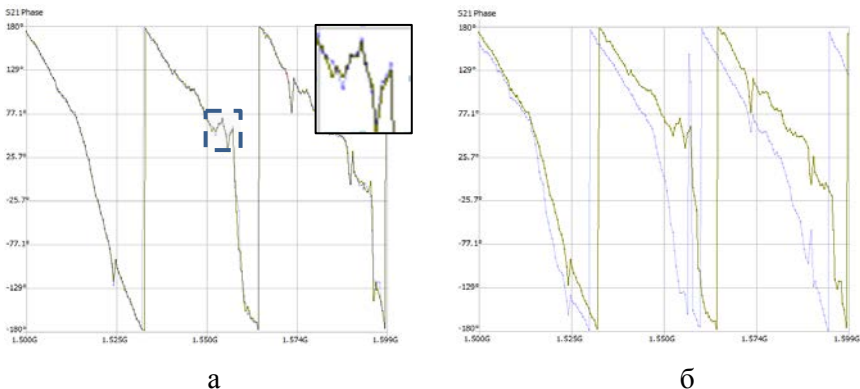


Рис. 1. Результати повторних вимірів частотної залежності параметра S_{21} **Phase** (а) – результати двох повторних вимірювань області без розсіюючих об'єктів; (б) – повторні вимірювання із наявністю додаткового об'єкту (металічної пластини $20 \times 20 \text{ см}^2$ на відстані 22 см)

Попередній аналіз В-скану результатів макетних досліджень

При проведенні макетних вимірювань ми можемо точно виміряти відгук системи як при наявності об'єктів, так і без них. Віднімаючи перше від другого, ми, тим самим, фільтруємо усі артефакти, пов'язані із віддзеркаленням електромагнітної хвилі від підлоги, стін кімнати, предметів у ній та самого експериментатора. Таким саме чином у натурному експерименті можна буде фільтрувати й артефакти, пов'язані із загальними особливостями вимірювальної апаратури та ґрунту. Для цього достатньо віднімати усереднений по множині усіх однорідних вимірів відгук.

Сканування проводилося у 32 точках вздовж прямою лінії. Відстань між точками становила 5 см. На рисунку 2 зображено В-скан одержаної при повторних експериментах різниці відгуків при наявності трьох додаткових об'єктів (віддзеркалюючих сфер), дві з яких розташовані одна під одною, та без них. Дані вимірювалися у частотному діапазоні 1.25-1.75 ГГц при наявності 1024 дискретних точок в ньому. Порівняння схеми розташування об'єктів та В-скану доводить, що збурення відгуку при наявності об'єктів відбулися саме у точках їх розташування, а максимумами збурень прийшлися на частоти, які відповідають відстані до них. Додаткові збурення меншої амплітуди виникають, як артефакти. Для їх усунення треба оцінити правдоподібність двох конкуруючих гіпотез.

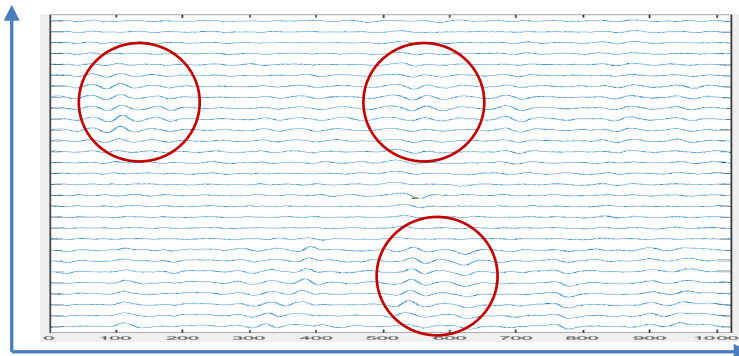


Рис. 2. В-скан різниці відгуків при наявності трьох додаткових об'єктів (віддзеркалюючих сфер).

Висновки

Таким чином, попередні макетні дослідження довели перспективність застосування ближньопольового методу георадарної томографії у поєднанні із алгоритмом знаходження найбільш правдоподібного рішення зворотної некоректної задачі томографії.

Посилання

1. S. I. Melnyk, O. V. Drobnaya and V. I. Karpenko, "Features of Using Synthetic Aperture and Reverse Convolution Algorithms in Georadar Sounding," 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 388-391,
2. Near-Field Microwave Microscopy of Material properties / S. M. Anlage, D. E. Steinhauer, B. J. Feenstra, C. P. Vlahacos, V. C. Welstood // Microwave Superconductivity. – Amsterdam. – 2001. – P.239-269
3. Pseudopulse Near-Field Subsurface Tomography K. P. Gaikovich, P. K. Gaikovich, Ye. S. Maksimovitch, and V. A. Badeev Phys. Rev. Lett. 108, 163902 – Published 19 April 2012

Мельник С.І., канд. техн. наук, доц.

s.i.melnyk@karazin.ua

melnyksergiy72@gmail.com

Мельник С.С., канд. ф.м. наук

Лабазов С.М.

ІРЕ НАНУ (Харків)

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АЛГОРИТМІЧНОГО МЕТОДУ ДО ЗАДАЧ ГЕОРАДАРНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Вступ

За рідкісним винятком, сучасні георадари проектують як універсальні інструменти, які використовують для будь-яких ґрунтів та пошуку довільних неоднорідностей. Але на практиці дослідники та користувачі георадарів стикаються, як правило, із двома типами підповерхневих особливостей.

Це або локальні, добре віддзеркалюючі неоднорідності (тунелі, труби, міни та інше), що дають характерний В-скан у вигляді пара-

боли, або шаруваті структури ґрунту, що мають майже паралельне поверхні розташування у підповерхневому просторі. В обох випадках інтерпретація одержаних В-сканів не потребує складних алгоритмів математичної обробки. Загалом обмежуються використанням фільтрів та усуненням артефактів, а виділення границь між шарами ґрунту проводиться інтуїтивно.

Але такі прості та загально прийнятні методи не дають адекватних результатів у багатьох випадках, коли границі між шарами ґрунту не є чіткими, а локальні неоднорідності розподілені хаотично та близько одна до одної. У таких випадках адекватність результатів георадарного зондування цілком залежить від досвіду оператора та його інтуїції. Окрім цього, В-скани із характерним фазовим розподілом можуть бути одержані лише у дальній зоні випромінювання, що сильно обмежує сфери застосування методу.

Класичні методи вирішення задачі георадарної томографії

В основу нових методів обробки даних георадарного зондування покладено уявлення про їхню інформаційну структуру, а також ідеологію алгоритмічної теорії інформації (теорію складності). Відповідно до цієї теорії причинно-наслідкові зв'язки двох інформаційних об'єктів можуть бути виявлені та оцінені на ступінь правдоподібності на основі обчислення їхньої відносної складності.

Раніше ми проаналізували можливості застосування цього методу щодо задачі перевірки гіпотез (розрахунок параметру їх правдоподібності). Було сформульовано узагальнену формулу Байеса, яка включає її класичний аналог. Також було одержано її квантове узагальнення для окремих випадків [1].

У загальнофізичному аспекті задача обробки вимірювальної інформації (ВІ) полягає у виділенні з неї корисної інформації про властивості об'єкта, що спостерігається. Загалом вона належить до класу так званих “некоректних задач”.

Розглянемо методику застосування теорії складності на прикладі задачі реконструкції границі двох шарів ґрунту (рис. 1) при наявності адитивного шуму.

В цьому випадку загальна формула (1) має вигляд

$$\hat{A}[Z(x, y)] + N(x, y) = U(x, y), \quad (1)$$

де $Z(x, y)$ – шукана координатна залежність глибини між двома шарами ґрунту, $U(x, y)$ – двовимірний масив ВІ, $\hat{A}$ – оператор перетворення сигналу, віддзеркаленого від границі, $N(x, y)$ – адитивний

шум, спричинений як особливостями вимірювальної апаратури, так і відхиленням реального ґрунту від його ідеалізованої моделі. У борнівському наближенні (1) можна записати як згортку:

$$U(x, y) = A(x, y) * Z(x, y) + N(x, y) \quad (2)$$

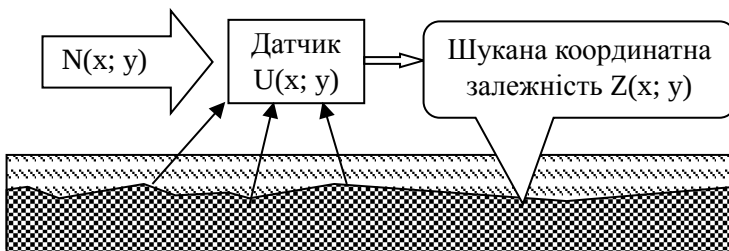


Рис. 1. Схема перетворень масиву ВІ у задачі реконструкції границі двох шарів ґрунту при наявності адитивного шуму

Далі, при заданому апіорному розподілі можливих рішень $\rho(Z_i)$, за класичною формулою Байєса ми можемо розрахувати апостеріорний розподіл вірогідності на множині шуканих рішень та вибрати з них найбільш вірогідне. Ним виявляється таке $Z(x, y)$, для якого добуток $\rho(Z_i)\rho_N(U_j - \hat{A}(Z_i))$ максимальний. Тут $\rho_N(U_j - \hat{A}(Z_i))$ – заданий також апіорно розподіл шумів.

Але апіорний розподіл профілів $\rho[Z(x, y)]$ може бути невідомим або взагалі не існує (ґрунт, що досліджується, є в одиничному екземплярі). Для цих та інших випадків, що не можуть бути описані за стандартною моделлю, ми застосовуємо узагальнену формулу Байєса.

Узагальнена формула Байєса для одиничних об'єктів

Звернемо увагу на те, що

$$\ln[\rho(a_i; b_j)] = \ln[\rho(a_i)] + \ln[\rho(b_j/a_i)] = \ln[\rho(b_j)] + \ln[\rho(a_i/b_j)] \quad (3)$$

Якщо апіорні вірогідності не задано, то формула Шеннона незастосовна. Але й при цьому треба очікувати:

$$S(U_i; Z_i) = S(U_i) + S(Z_i/U_i) = S(Z_i) + S(U_i/Z_i) \quad (4)$$

А. Н. Колмогоров довів [2], що із точністю, не гірше $\ln S(U_i; Z_i)$ виконується рівність

$$S(U_i) - S(U_i/Z_j) = S(Z_j) - S(Z_j/U_i) \quad (5)$$

$$\text{Тоді: } S(Z_j/U_i) \approx S(Z_j) + S(U_i/Z_j) - S(U_i) = S(Z_j) + S(N) - S(U_i) \quad (6)$$

Враховуючи, що вимірювальні дані задано однозначно, можна зробити висновок, що для знаходження максимально правдоподібного (в узагальненому сенсі) $Z_j(x, y)$ необхідно мінімізувати

$$S(Z_j/U_i) + S(U_i) = S(Z_j) + S(N) = S(Z_j) + S(U_i - \hat{A}Z_i) \Rightarrow \min \quad (7)$$

при заданому $U_i(x, y)$. Це формулювання і є узагальненням формули Байєса для одиничних об'єктів.

Особливості задач георадарного сканування

В інформаційно-вимірювальному алгоритмі вирішення зворотної задачі у застосунку до задачі георадарного зондування слід враховувати такі особливості, як апіорну інформацію про структуру ґрунту, властивості вимірювальної апаратури та додаткових об'єктивних факторів. Також принципово важливою є роль суб'єктивного очікуваного образу моделі неоднорідностей у ґрунті (уявлення дослідника про очікуваний результат)

Алгоритми врахування першого фактору нами були раніше проаналізовані у роботі [3]. Вони зводяться до низки параметрів, що вважають апіорно заданими: кількість шарів ґрунту, їх глибина та товщина; електрофізичні властивості кожного з шарів ґрунту; параметри структурної неоднорідності ґрунту (розподіл включень у ґрунті за розміром).

Другий фактор пов'язаний із уявленнями дослідника про інтуїтивно очікуваний результат. У задачах георадарного зондування саме вони виступають у ролі «мови», на якій буде описано очікуваний результат реконструкції. Наприклад, якщо досліднику треба визначити локальні об'єкти розміром не менш ніж d , на глибині не більш ніж h , а шаг сканування при обстеженні дорівнює δr , то множина шуканих розподілів $\{Z_j\}$ являє собою розріджену тривимірну матрицю у просторі просторових частот із дискретністю $1/d$ у смузі шириною $2/\delta r$, а необхідна точність завдання її комплексних коефіцієнтів залежить від глибини та апіорно заданих параметрів ґрунту.

Тому обробка тих самих даних сканування з використанням критерію максимальної правдоподібності може призводити до різних моделей при вирішенні різних задач. А їх загальні властивості пов'язані

із загальними властивостями тих 2 «мов», які використані для побудови алгоритмів. Так, наприклад, один і той же масив даних може бути досліджений у рамках моделі шаруватого ґрунту або моделі ґрунту з локальними неоднорідностями. Зауважимо, що саме такі 2 типи моделей і є зазвичай інтуїтивно використовуваними на практиці. Раніше ми детально описали ці моделі та особливості роботи із ними. У кожній з них може бути обчислено структуру, яка найбільш просто пояснює результати сканування [4].

Посилання

1. Мельник С.І. Теоретико-інформаційний підхід до аналізу даних вимірювань та оцінка їх невизначеності// Системи обробки інформації. 2009. –5(79). –с.89-92
2. Kolmogoroff A.N. Logical basis for information theory and probability theory / A.N. Kolmogoroff // IEEE Trans. Inform. Theory. – 1968. – Vol. IT-14. – P. 662-664
3. S. I. Melnyk, S. M. Labazov and S. S. Melnyk, "Algorithmic Method of Reconstruction of Subsurface Structures in Georadar Studies," 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 403-407
4. S. I. Melnyk, O. V. Drobnaya and V. I. Karpenko, "Features of Using Synthetic Aperture and Reverse Convolution Algorithms in Georadar Sounding," 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 388-391.

Зубков А.М.¹, д-р техн. наук, с.н.с.
Бударецький Ю.І.², канд. техн. наук, с.н.с.

Онищенко В.А.¹, канд. техн. наук

Янов С.Г.¹

yurii.i.budaretskyi@lpnu.ua,

onishchenkovolodymyr@gmail.com

yanserg@gmail.com

¹. НАСВ

². НУ «Львівська політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ В МЕЖАХ УРБАНІЗОВАНОЇ МІСЦЕВОСТІ

Вступна частина.

Проблеми радіолокаційного виявлення і визначення координат малорозмірних повітряних об'єктів, що здійснюють політ на гранично малих висотах, в інтересах ППО була і є актуальною. Для традиційного однопозиційного методу спостереження вона сильно ускладнюється при траєкторії польоту цілі в районах міської або промислової інфраструктури за рахунок:

- сильного впливу відображень від елементів забудови;
- падіння дальності оптичної видимості внаслідок екранування міськими спорудами.

При виявленні та вимірюванні координат повітряних цілей методом активної радіолокації показники ефективності визначаються частиною потужності зондуючого сигналу яка перевипромінюється в напрямку точки спостереження і аналітично пов'язана з ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР) цілі. Сучасні підходи до подолання рубежів протиповітряної оборони (ППО) базуються на мінімізації ЕПР цілі у напрямку на точку спостереження. Одним з таких напрямків є

надання безпілотному літальному апарату (БпЛА) такої конструкції (форми) яка перерозподіляє потужність ехо-сигналу з передньої і бокової напівсфер безпілотного літального апарату у верхню і нижню напівсфери. Ця обставина дає можливість суттєво підвищити енергетику прийнятого ехо-сигналу від такої цілі шляхом розташування приймальної системи на земній поверхні з орієнтацією діаграми спрямованості її антени (ДСА) в напрямку, що ортогональний до напрямку польоту БпЛА. Це дозволяє реалізувати метод напівактивної радіолокації шляхом підсвітки цілі сторонніми джерелами радіовипромінювання. Обґрунтована доцільність використання в якості таких джерел радіовипромінювання передавачів безпроводних телекомунікаційних систем, зокрема базових станцій мобільного зв'язку [1]. Це дозволяє збільшити надійність виявлення БпЛА при маневрах на гранично малих висотах польоту.

Змістовна частина.

Одним із напрямків зниження радіолокаційної помітності безпілотних літальних апаратів в рамках технології «Стелс» є використання такої конструкції, яка забезпечує перерозподіл інтенсивності ехо-сигналів з переднього і бокового ракурсів у верхню та нижню напівсфери. З цієї причини становить інтерес метод бістатичної радіолокації з виявленням цілі «на просвіт» [2]. Розвитком такого підходу є РЛС на базі мережевого зв'язку стандарту GSM з каналом виявлення «на просвіт».

Запропонована структурна схема РЛС наведена на рис. 1.

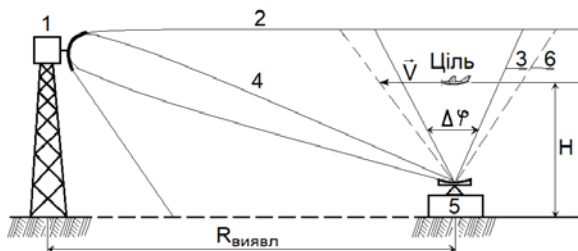


Рис. 1. Структурна схема модернізованої РЛС з «підсвітом» цілі базовою станцією стільникового зв'язку.

Наведена структурна схема модернізованої РЛС включає наступні складові частини: 1 – базова станція (БС); 2 – ДСА БС; 3 – ДСА «просвітного» каналу; 4 – ДСА опорного каналу; 5 – приймачі радіолокаційних і оптико-електронного каналів; 6 – діаграма спрямованості оптико-електронного каналу; $\vec{V}$ – вектор швидкості польоту цілі; $R_{\text{виявл}}$ – дальність «бар’єрного» виявлення цілі; H – висота польоту цілі.

Для неї властива відсутність потреби попадання цілі, яка перебуває в зоні відповідальності РЛС, в ДСА опорного каналу та збільшена енергетика «просвітного» каналу за рахунок зменшення відстані «ціль – РЛС». Для підвищення надійності і достовірності виявлення цілі паралельно «просвітному» каналу введений оптико-електронний канал.

Оцінку потенційних можливостей запропонованого підходу можливо отримати шляхом трансформації основного рівняння просвітної радіолокації для потужності ехо-сигналу [3]

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{випр}} K_A \lambda^2}{(4\pi)^3 R_1^2 (R_1 + H)^2} \quad (1)$$

де $P_{\text{випр}}$ – потужність сигналу випромінювання БССЗ, K_A – коефіцієнт підсилення антени «просвітного» каналу, λ – довжина хвилі випромінювання БССЗ; R_1 – дальність «БССЗ – ціль»; H – висота польоту цілі.

Для повітряних цілей, які здійснюють політ на гранично малих висотах, доцільно зробити практично виправдане припущення

$$H \ll R_{\text{виявл}} \quad (2)$$

Тоді надається можливість трансформувати вираз (1)

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{випр}} K_A \lambda^2}{(4\pi)^3 R_1^4} \quad (3)$$

Порівняння виразів (1) і (3) показує, що при однаковій чутливості приймального тракту РЛС і відсутності перешкод для порушення оптичної видимості опорного каналу (наприклад, об’єктами міської інфраструктури) виграш у дальності виявлення повітряної цілі, збільшується при зниженні висоти її польоту, що не може бути досягнуто в

режимі однопозиційної активної радіолокації. При цьому цей вииграш в умовах наявності прямої оптичної видимості цілі та достатньої потужності передавальної системи БССЗ зворотно пропорційні висоті польоту цілі.

Важливо відзначити, що:

- підвищення ефективності «бар'єрного» виявлення маловисотної цілі при фіксованих параметрах «підсвітлювального» сигналу БС СЗ може бути досягнуто за рахунок збільшення його потужності (що на практиці недоцільно) або за рахунок збільшення коефіцієнту посилення антени «просвітного» каналу;
- додатково підвищення інформативності моніторингу маловисотної зони може бути досягнуто паралельним з радіолокаційним «просвітним» каналом спостереженням в оптико-електронному каналі.

Висновки та пропозиції.

Отримала подальший розвиток методика виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів, які здійснюють політ на гранично малих висотах, на основі використання в якості джерела «підсвітлювального» сигналу базової станції стільникового зв'язку.

Визначені потенційні можливості запропонованого підходу.

Список літератури

1. Певцов Г.В., Худов Г.В., Ковалевський С.М. Підвищення ефективності виявлення малорозмірних повітряних об'єктів на основі об'єднання методів однопозиційного та рознесеного прийому сигналів. Наука і оборона, Київ: 2016, №1, С.49-55.
2. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. – Мн.: Наука и техника, 1978.

ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПРИ ГРУПОВОМУ ВИКОРИСТАННІ БПЛА

У зв'язку з масовим застосуванням БПЛА у військовій справі та аерозніманні та поширенні групового використання БПЛА стає актуальною задача оптимізації маршрутів групи БПЛА.

Маршрутизація – це процес визначення найкращого шляху для пересилання даних в мережі з одного вузла до іншого.

Наявність різноманітних сервісних потоків та велика кількість віртуальних машин ускладнюють пошук маршрутів для мобільних вузлів. Традиційні методи маршрутизації часто стикаються з проблемами, особливо в умовах неоднорідностей та фрагментації мережі.

Одним з методів маршрутизації для групи БПЛА є метод «Тісного світу» [1].

Даний метод є потужним інструментом для оптимізації маршрутів передачі даних в мережах БПЛА. Базується метод тісного світу на теорії малого світу, яка була запропонована в 1960-х роках. Згідно з цією теорією, більшість мереж мають властивість "тісного світу", коли будь-які два вузли можна з'єднати через невелику кількість кроків, що може бути корисним в умовах, коли швидкість передачі даних є критичною.

Однак, як і будь-який інший метод, він має свої обмеження і не завжди може бути ефективним в усіх ситуаціях. Тому при виборі методу маршрутизації для конкретної задачі необхідно враховувати всі особливості даної ситуації.

Іншим методом маршрутизації в групі БПЛА являється «Гіперболічний потік Річі» [2].

Використання гіперболічного потоку Річі дозволяє успішно виконувати дистанційно-векторну маршрутизацію, уникуючи проблем зупинки пакетів на вузлах із складною топологією.

Конформне відображення мережі з мобільними вузлами на гіперболічний простір гарантує стійкі та ефективні маршрути для пересилання пакетів у мережі.

Теорія потоків Річчі на гладких поверхнях, запропонована Гамільтоном для Ріманівських множин, дозволяє деформувати метрику Рімана відповідно до кривизни, що визначена на поверхні.

Залежність між дискретною конформною метрикою та поверхневим потоком Річчі дозволяє забезпечити унікальність рішення при гострих кутах перетину.

Метрика укладки кіл в гіперболічному просторі дозволяє забезпечити стабільні маршрути в мобільних мережах навіть при наявності неоднорідностей топології.

Унікальне коло, ортогональне до гіперболічного потоку Річчі, може бути побудоване всередині трикутника з укладкою кіл, що робить його гнучким для різних конфігурацій мережі мобільних вузлів, тим самим забезпечуючи високу конформність і сумісність метрик.

Використання гіперболічного потоку Річчі [2] дозволяє забезпечити гарантовану доставку даних навіть при наявності декількох тупокутних перетинів в трикутно-сегментованих сітках та демонструє працездатність у фрагментованих мережах з великою кількістю неоднорідностей, що виникають внаслідок міграції віртуальних машин.

При виборі алгоритму маршрутизації виникає необхідність моделювання вибраного алгоритму. Авторами в [2] було проведено моделювання мережевої системи мобільних вузлів у гіперболічних віртуальних координатах.

На основі застосування гіперболічного потоку Річі виконано конформне відображення структури сервісної платформи мобільних вузлів для побудови віртуальних координат її вузлів в гіперболічному просторі із застосуванням дискретної інверсійної метрики Рімана. Враховано проблему низькоякісних тріангуляцій в гіперболічному

просторі шляхом застосування інверсійної метрики згідно підходу Гао. Значення гессіану гіперболічної енергії Річі використано для доведення однозначності унікального рішення віртуалізації координат.

Ефективність маршрутизації також може бути покращена шляхом застосування методу віртуальних координат [2].

Застосування віртуальних координат дозволяє ефективно вирішувати проблеми маршрутизації в умовах неоднорідностей та фрагментації мережі.

Використання віртуальних координат забезпечує 100% успішність маршрутизації, що є значним покращенням порівняно з реальними координатами.

Проведені експерименти показали, що при використанні методу з віртуальними координатами середня еластичність шляху становить 1.59, що свідчить про збереження ефективності маршрутизації.

Розглянуті методи можуть бути корисними і ефективними для застосування в рухомих вузлах, забезпечуючи стабільність та надійність маршрутизації даних навіть у змінних умовах експлуатації з мінімальними втратами ефективності при збільшенні обсягів мережі.

Використана література

1. Marián Boguñá , Dmitri Krioukov, Pedro Almagro ,M. Ángeles Serrano , Small worlds and clustering in spatial networks, 2020.
2. Моделирование в сетевой системе мобильных узлов у гиперболических виртуальных координатах: стаття/ Стрихалюк.Б.М., Демидов І.В., Зайвий Р.О./ (в друку)

Саратов Є.М., аспірант
y.saratov@kpi.ua
Дубровка Ф.Ф., д-р. техн. наук., проф.
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

УЛЬТРАШИРОКОСМУГОВИЙ ПРИСТРІЙ ЗБУДЖЕННЯ КОНІЧНИХ РУПОРНИХ АНТЕН

Конічні рупорні антени застосовуються в багатьох сучасних радіотехнічних системах у діапазонах довжин хвиль від десятків сантиметрів до субміліметрів. Популярність цих антен, особливо гофрованих, обумовлена їх високими характеристиками випромінювання, а саме: поляризаційною інваріантністю, симетричністю діаграми спрямованості, великим коефіцієнтом підсилення та низькими рівнями крос-споларизаційного та бічного випромінювань. Елементом збудження цих рупорів слугує круглий хвилевід, який дає можливість створювати багатодіапазонні системи та працювати одночасно на ортогональних лінійних або колових поляризаціях [1]. Збудження цього хвилевода коаксіальним кабелем у широкій смузі частот представляє інтерес у більшості застосувань та є нетривіальною задачею. На сьогоднішній день існує досить обмежена кількість робіт по розробці таких переходів [2, 3].

У цій роботі запропоновано новий ультраширокосмуговий перехід з коаксіальної лінії на круглий хвилевід, що побудований на основі планарної хвилеводно-щілинної (ХЩЛ) технології. Принципи побудови, особливості розрахунку та дисперсійні характеристики ХЩЛ викладено в [4]. Розроблений перехід складається з п'яти послідовно з'єднаних секцій (рис. 1).

Співвісний перехід з коаксіальної лінії на мікросмужкову лінію збуджує антиподальну хвилевідно-щілинну лінію (АХЩЛ) з гребенями, що пересікаються.

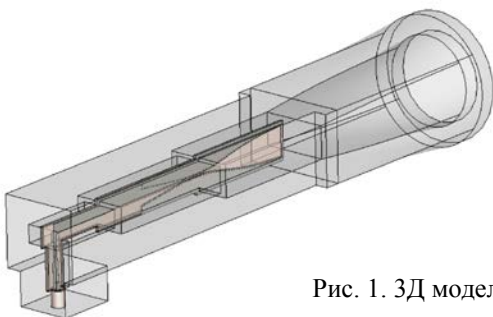


Рис. 1. 3Д модель розробленого переходу

Далі секцію переходу АХЩЛ на білатеральну хвилевідно-щілинну лінію (БХЩЛ) реалізовано плавним переходом на АХЩЛ з гребенями що не пересікаються з шириною щілини рівною ширині щілини БХЩЛ та поступовим введенням двох гребенів БХЩЛ. На основі БХЩЛ побудовано плавний перехід на прямокутний хвилевід з перерізом 20×10 мм, який з'єднується з плавним переходом на круглий хвилевід з діаметром 27,6 мм.

Характеристики виготовленого переходу виміряно по схемі back-to-back. Два переходи з'єднуються один з одним через відрізок круглого хвилеводу довжиною 100 мм. Виміряні у смузі частот 8-18 ГГц коефіцієнти відбиття та передачі зображено на рис. 2.

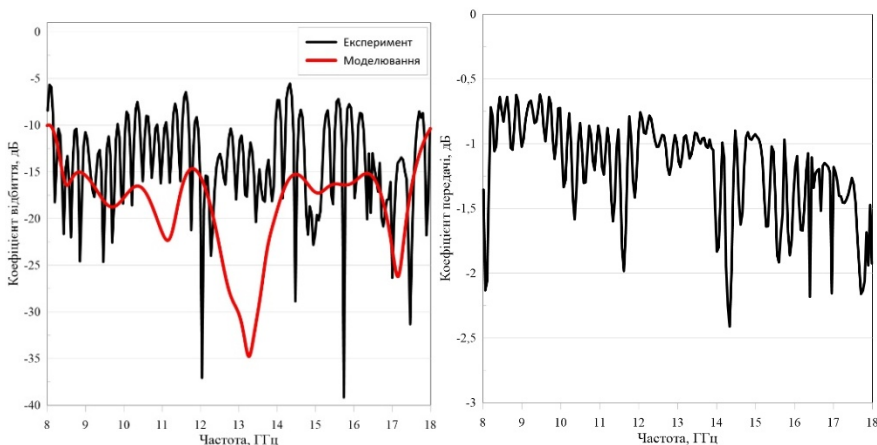


Рис. 2. Коефіцієнти відбиття і передачі у робочій смузі частот

На рисунку видно, що коефіцієнт відбиття такого з'єднання має резонансний характер та його рівень вище за розрахований для окремого переходу. Це пояснюється наявністю великої кількості неоднорідностей в цьому переході, що слугують джерелом відбиттів. Не дивлячись на розбіжність між виміряною і розрахованою характеристиками відбиття, такий спосіб вимірювання дозволяє приблизно оцінити втрати в переході. В точці резонансу на частоті 17,9 ГГц рівень коефіцієнта передачі дорівнює -1,9 дБ, що опосередковано дає можливість стверджувати, що втрати в одному переході не перевищують 1 дБ.

Для отримання більш точних характеристик відбиття переходу, проведено моделювання та вимірювання разом з поглиначем кінчної форми в якості узгодженого навантаження. 3Д модель переходу зображено на рис. 3.

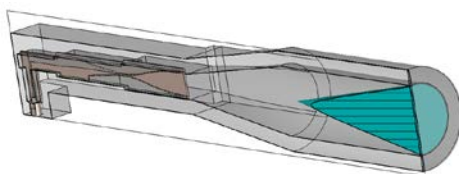


Рис. 3. 3Д модель переходу разом з узгодженим навантаженням

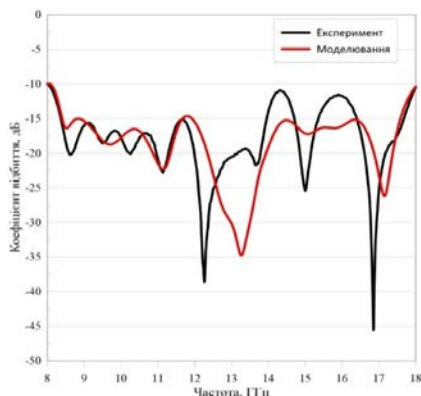


Рис. 4. Частотні характеристики коефіцієнта відбиття виготовленого і змодельованого переходу

Довжина узгодженого навантаження складає 75 мм. Результати моделювання та вимірювання коефіцієнта відбиття у робочій смузі частот показанго на рис. 4.

Видно, що теоретичні результати добре узгоджуються з експериментальними даними. Коефіцієнт відбиття в ультраширокій смузі частот з перекриттям 2,25:1 запропонованого і роз-

робленого переходу із коаксіальної лінії на круглий хвилевід не перевищує -10 дБ.

Література

1. Olver, A. D.; Clarricoats, P. J.; Kishk, A. A.; Shafai, L.: 'Microwave Horns and Feeds' (Electromagnetic Waves, 1994) DOI: IET Digital Library, <https://digital-library.theiet.org/content/books/ew/pbew039e>
2. Bang, J. and Ahn, B. (2014). Coaxial to circular waveguide transition with broadband mode-free operation. Electronics Letters, 50(20), 1453-1454. <https://doi.org/10.1049/el.2014.2667>
3. Altanzaya E, Heo J, Xu S, Lee C-S, Ahn B-C, Kim S-S, Choi S-G. Computational Design of an In-Line Coaxial-to-Circular Waveguide Adapter with More Than an Octave Bandwidth. Symmetry. 2024; 16(3):304. <https://doi.org/10.3390/sym16030304P>
4. Bhat, B., & Koul, S. K. (1987). Analysis, design, and applications of fin lines. Artech House. http://books.google.com/books?id=Q5e_AAAAIAAJ

Максимів І.П., канд. техн. наук
Фабіровський С.Є., канд. техн. наук
ivan.p.maksymiv@lpnu.ua
serhii.y.fabirovskyi@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КВАДРИФІЛЯРНИХ АНТЕН ДЛЯ ПОСТАНОВКИ РАДІОЗАВАД

Зростання напруги та численні конфлікти, що мали місце у світі протягом останнього десятиліття призвели до того, що численні роботизовані системи та зразки цивільної електроніки почали набувати дедалі більшого застосування під час цих конфліктів, стаючи їх невід'ємною складовою. Зокрема, російсько-українська війна про-

демонструвала, що цивільні повітряні дрони, які раніше мали попит у вузькому колі спеціалістів та фотографів, стали важливим компонентом розвідки та вогневого враження на тактичному рівні з обох сторін конфлікту. Одним зі способів протидії дронам є засоби постановки радіозавади (ЗПР), які здебільшого теж виготовляють з цивільних компонентів. Як правило, більшість таких компонентів є готовими технічними рішеннями, доступними на ринку. Виробники ЗПР замовляють ці компоненти у відкритому доступі та адаптують під власні потреби. Однак не завжди з готових компонентів вдається виготовити оптимальний кінцевий продукт. Тому проектування та розробка компонентів, оптимізованих під конкретні потреби є більш ефективною в довготерміновій перспективі, а тому є актуальною задачею. У цій роботі проведено імітаційне моделювання та проектування одного з компонентів ЗПР – антени та проведено її дослідження.

Насичення лінії боєзіткнення радіокерованими засобами враження на базі цивільних дронів призвело до того, що з'явилися засоби протидії, виготовлені з цивільних компонентів. Типовим засобом протидії є «окопний РЕБ» або «купольний РЕБ» – компактний пристрій, який працює на визначених частотах та обладнаний відповідними генераторами завади. Такий пристрій складається з набору генераторів завад та антен, завдяки яким ці генератори поширюють заваду в ефір. Як правило, кожен генератор з такого набору генерує сигнал в окремій смузі частот, визначеній частотою керування дрона, якому потенційно повинна протидіяти ця завада (табл. 1).

Таблиця 1. Типові частоти роботи російських та китайських дронів

Частота	Тип дрона
433 МГц	Деякі саморобні FPV дрони
868 МГц, 915 МГц	FPV дрони-камікадзе з модулями керування Crossfire, ExpressLRS, FrSky 900
940-950 МГц	Квадрокоптери “Autel Evo Max 4T”
960-1040 МГц	FPV дрони-камікадзе

Частота	Тип дрона
1100-1300 МГц	FPV дрони-камікадзе, квадрокоптери «Autel Evo Max 4T» (відео сигнал)
2400-2585 МГц	Більшість цивільних квадрокоптерів (DJI, Autel) (відео сигнал), FPV дрони-камікадзе з модулями керування ExpressLRS (відео)
5800 МГц	Більшість квадрокоптерів (DJI, Autel) (керування, відео), FPV дрони-камікадзе з модулями керування Crossfire (відео)

Очевидно, що важливим компонентом такого ЗПР є антена, яка має бути оптимізованою під певну смугу частот. З економічної та виробничої точок зору також важливо, щоб така антена була однаково ефективною в якомога ширшому діапазоні частот і була здатна працювати в декількох суміжних смугах.

Іншим важливим параметром антени є її діаграма спрямованості, адже режими роботи різних типів передбачають різну траєкторію взаємодії і тому потрібно, щоб основну потужність завади антена спрямовувала саме в зону, в якій працює ворожий дрон.

Останнім не менш важливим критерієм є простота виготовлення антени та можливість масштабувати її виробництво. Адже кількість застосувань дронів зростає з кожним днем і відповідно пропорційно зростає потреба в засобах протидії.

Найбільш поширеною антеною, яку використовують в засобах постановки завади є колінарна антена (рис. 1, *а*). Її перевагою є простота розрахунку параметрів і простота виготовлення. Більш ефективною, однак й більш складною у виготовленні, є антена типу «конюшина» (рис. 1, *б*). Діаграма спрямованості обох згаданих типів антен є схожою (рис. 1, *в*). Перший тип має лінійну поляризацію, другий – колову.

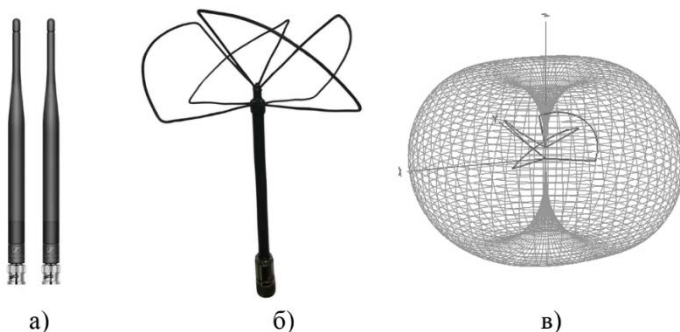


Рис. 1. колінеарна антена (а), антена «конюшина» (б),
діаграма спрямованості дипольної антени (в)

Основним недоліком діаграми спрямованості згаданих антен є те, що основна потужність випромінювання спрямована в сторони, а не вгору, що робить їх малоефективними проти квадрокоптерів здатних скидати боеприпас, особливо це стосується колінеарних антен. Тому такі антени здебільшого застосовують для протидії FPV (first person view) дронам-камікадзе, які зазвичай мають гострий кут атаки.

Більш універсальною антеною є квадрифілярна антена [1], у якій діаграма спрямованості має форму купола, тому вона може бути ефективною як проти дронів зі скидами, так і FPV дронів-камікадзе. Однак такі антени вимагають більш ретельного підходу до їх проектування, а також є складнішими у виготовленні ніж колінеарні чи дипольні антени.

У цій роботі було спроектовано квадрифілярну антену для діапазону частот 800-950 МГц, проведено її імітаційне моделювання, виготовлення й дослідження прототипу. У результаті імітаційного моделювання було отримано очікувану діаграму спрямованості (рис. 2, а). Як видно з рисунка, основна потужність випромінювання антени спрямована вгору, що потенційно робить її ефективною проти квадрокоптерів зі «скидами». Після імітаційного моделювання було створено проектну модель квадрифілярної антени й необхідні креслення для її виготовлення (рис. 2, б)

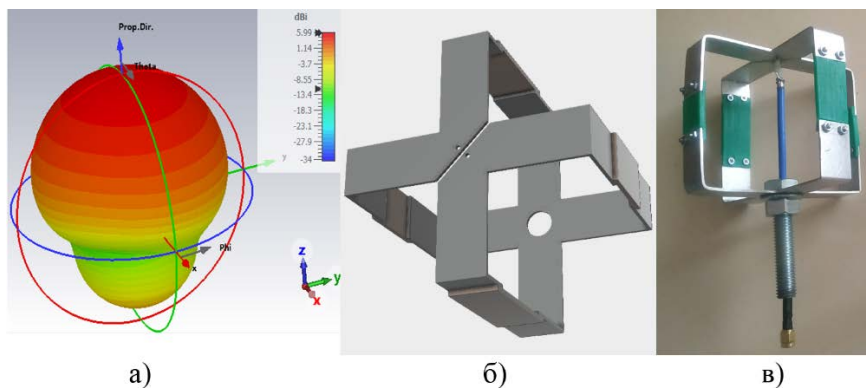


Рис. 2. Діаграма спрямованості (а), 3-d модель (б)
і прототип (в) квадрифілярної антени

Після створення прототипу антени (рис 2 в) було знято її коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ), який продемонстрував ефективну роботу в доволі широкій смузі частот: $КСХ < 1.25$ в діапазоні 780-1044 МГц. Це робить ЗПР з такими антенами ефективними як проти деяких FPV дронів-камікадзе так і проти деяких моделей квадрокоптерів Autel (табл. 1).

Польові випробовування виготовленого прототипу антени продемонстрували її високу ефективність проти квадрокоптерів зі «скида-ми», тому метою подальшої роботи буде проектування й випробовування квадрифілярної антени для частоти 2,4 ГГц.

Серед недоліків квадрифілярних антен є їх порівняно висока складність виробництва, а також потенційно менша стресостійкість, яка потребує додаткових випробувань.

Список літератури

1. V. F. Fusco, R. Cahill and Rong-Lin Li, "Quadrifilar loop antenna," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 1, pp. 115-120, Jan. 2003, doi: 10.1109/TAP.2003.809046.

Оборжицький В.І., докт. техн. наук
Сторож В.Г., канд. техн. наук
Фабіровський С.Є., канд. техн. наук
Матієшин Ю.М., канд. техн. наук
Протасевич В.Г.
valerii.i.oborzhytskyi@lpnu.ua
volodymyr.h.storozh@lpnu.ua
serhii.y.fabirovskyi@lpnu.ua
yurii.m.matiieshyn@lpnu.ua
viktor.h.protasevych@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ШИРОКОСМУГОВА ПАТЧ АНТЕНА

Патч антени відносяться до класу слабоспрямованих резонаторних антен і знаходять широке застосування в різноманітних радіотехнічних системах як самостійні випромінювачі, або елементи антенних решіток. Інтерес до даного типу антен обумовлений простою методикою їх розрахунку, високою технологічністю, конформністю конструкції, повторюваністю параметрів при масовому виробництві, та хорошим узгодженням зі стандартною фідерною лінією. Принцип побудови одного із варіантів патч антени, з живленням за допомогою коаксіального фідера, представлено на рис. 1 [1].

Патч антена складається з діелектричної підкладки 1 товщиною h з однієї сторони якої розташований випромінювач, частіше прямокутної форми, 2, а з іншої суцільний металевий екран 3. Робочу частоту патч антени (рис. 1) визначає довжина прямокутного випромінювача L , яка повинна складати приблизно половину довжини хвилі. Ширина випромінювача W визначає величину вхідного імпеданс і може бути як більшою, так і меншою від половини довжини хвилі.

Збуджується антена за допомогою коаксіальної фідерної лінії через отвір в діелектричній підкладці, Для чого на екрані закріплюють

корпус коаксіального гнізда. Продовження центрального провідника коаксіального гнізда довжиною h , яке з'єднує його з випромінювачем, утворює так званий зонд збудження. Узгодження патч антени з фідерною лінією забезпечується вибором відстані від краю випромінювача до точки підключення зонда збудження. Коефіцієнт підсилення антени залежить від величини діелектричної проникності підкладки та її товщини і є максимальний, в околі 9 дБі, для патч антен з повітряним заповненням.

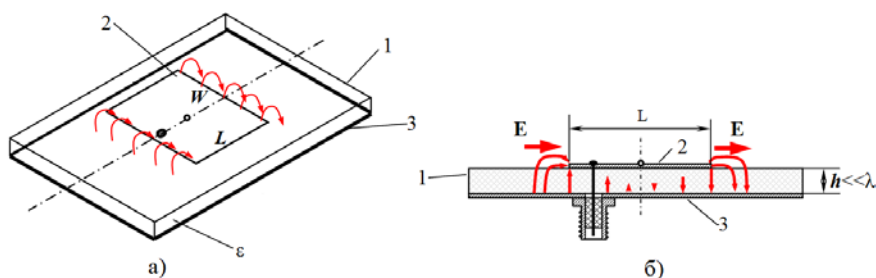


Рис. 1. загальний вигляд патч антени (а), повздовжній переріз патч антени (б)

Патч антена відноситься до резонаторних антен з вузькою смугою пропускання. Наприклад, смуга пропускання патч антени, яка виконана на діелектричній підкладці ФАФ-4 товщиною 1,5 мм, в діапазоні 2,5 ГГц складає приблизно 2%.

Найпростішим способом розширити смугу пропускання є збільшення висоти встановлення випромінювача над екраном h за рахунок збільшення товщини діелектричної підкладки [1]. Проте тут виникають певні обмеження пов'язані з виникненням поверхневих хвиль у діелектрику, що можна усунути застосувавши повітряне заповнення між випромінювачем і екраном.

Водночас, при збільшенні h , зростає паразитний індуктивний опір зонда збудження. У верхній частині дециметрового діапазону його значення може перевищувати сто Ом. Цей опір увімкнено між джерелом сигналу зі стандартним опором 50 Ом і випромінювачем. Тому, при

відносно малих значеннях h , узгодження має місце на частотах дещо вищих за резонансні, де реактивний опір випромінювача ємнісний. Проте при подальшому збільшенні h вирішити задачу узгодження, без спеціальних заходів, неможливо.

Найбільш поширений спосіб вирішення цієї задачі є встановлення послідовно із зондом збудження конструктивного елемента з ємнісним опором. У результаті утворюється послідовне коливальне коло, що й усуває вплив зонда. Проте це не дає суттєвого розширення робочої смуги частот.

Метою дослідження було пошук можливості подальшого розширення смуги пропускання патч антени з повітряним заповненням за рахунок використання трансформуючих властивостей коротких відрізків ліній, хвильовий опір яких відрізняється від стандартного.

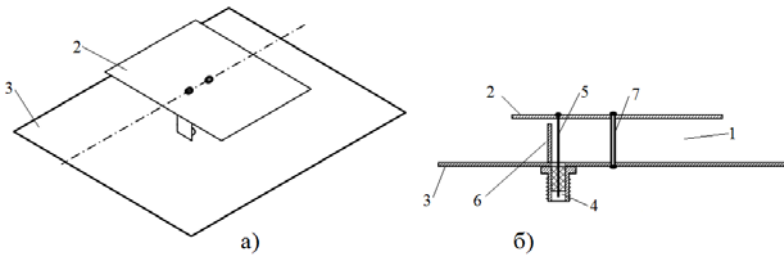


Рис. 2. Патч антена з повітряним заповненням (а),
повздовжній переріз патч антени з повітряним заповненням (б)

На рис. 2 використані такі позначення. 1 – повітряний проміжок між випромінювачем та екраном; 2 – випромінювач; 3 – екран; 4 – стандартне коаксiale гніздо 50 Ом типу SMA; 5 – зонд збудження; 6 – металева пластина; 7 – металева опора.

У результаті утворено несиметричну лінії у якій металева пластина виконує роль екрану, а зонд збудження роль провідника цієї лінії. При значеннях хвильового опору цієї лінії в межах 20 – 30 Ом, вона одночасно усуває вплив паразитної індуктивності зонда збудження і

трансформує вхідний імпеданс прямокутного випромінювача у хвильовий опір коаксіальної фідерної лінії, що й забезпечує розширення смуги робочих частот антени. Результати моделювання залежності коефіцієнта стоячої хвилі (КСХ) від частоти представлено на рис. 3.

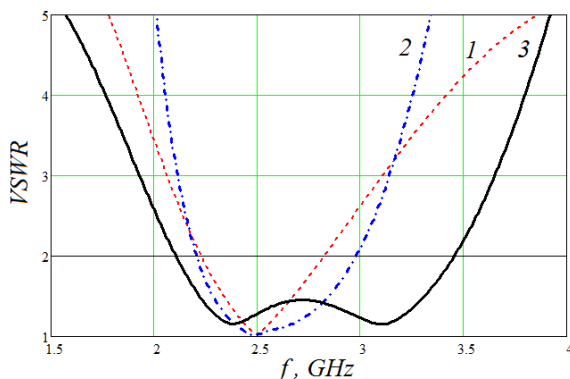


Рис. 3. Залежності коефіцієнта стоячої хвилі на вході патч антени від частоти

Крива 1 (пунктирна лінія) – залежність КСХ від частоти без урахування індуктивності зонда; крива 2 (штрих-пунктирна лінія) – залежність КСХ від частоти при компенсації індуктивності зонда конструктивним конденсатором; крива 3 (суцільна лінія) – залежність КСХ від частоти на основі запропонованого технічного рішення.

Результати моделювання показали, що при $h=0,1\lambda$ запропоноване технічне рішення забезпечує збільшення смуги пропускання, на рівні КСХ=2, більше ніж у 2 рази порівняно зі звичайною патч антеною з повітряним заповненням. У доповіді представлено результати експериментальних досліджень патч антени з повітряним заповненням.

Список літератури

1. Kadir Ozenc, M.Emre Aydemir and Ahmet Öncü, Design of a 1.26 GHz High Gain Microstrip Patch Antenna Using Double Layer with Airgap for Satellite Reconnaissance, in IEEE 2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), pp. 499-504, 15 August 2013, doi: 10.1109/RAST.2013.6581259

ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ШВИДКІСНОГО БПЛА ЗШ-ЗЗ «ЛАСКА»

Актуальність створення і впровадження в Збройні Сили України (ЗСУ) безпілотних літальних апаратів (БПЛА) визначається указом №51/2024 «Про нарощування спроможностей сил оборони» від 6 лютого 2024 року, в якому йдеться про створення нового окремого роду сил у структурі ЗСУ – Сил безпілотних систем.

Волонтерами благодійної організації благодійного фонду «Сталевий Промінь» на ініціативних засадах та без фінансової підтримки держави була розроблена конструкція, системи управління та створено експериментальний зразок швидкісного багатоцільового БПЛА. При його розробці конструктори використовували метод 3D моделювання, що забезпечило гнучкість адаптації внутрішніх агрегатів до аеродинамічних форм планера в залежності від його використання та призначення, характеру та типу цільового навантаження. Універсальність конструкції БПЛА до галузі застосування зумовлена наступними факторами:

- реактивним двигуном з можливістю використання різноманітних видів палива;
- можливістю встановлення різних видів датчиків та приладів спостереження (фіксація та передача відеозображення в режимі реального часу (FPV), оптичні фіксатори зображення високої чіткості, тепловізор та ін.);
- можливістю організації різноманітних методів радіоуправління та радіопередачі інформації;
- можливістю адаптації внутрішньої конструкції під геометричні характеристики бойової частини.

Технологія виготовлення БПЛА за трудоємністю та вартістю орієнтована на серійне виробництво в тому числі на волонтерських засадах, не потребує складного та габаритного обладнання, а отже легко може бути роззосереджена по маленьких майстернях та навіть по житлових приміщеннях.

Конструкція БПЛА передбачає можливість його запуску з катапульти, а після виконання бойової задачі та його повернення на базу спуск на парашуті (не потребує додаткових навичок від оператора але відбирає корисне місце на парашут та систему його випуску), або приземлення методом планування (потребує тренування операторів та відкритої місцевості).

Основні закладені при проектування тактико-технічні характеристики БПЛА:

- бойовий радіус дії – до 50 км;
- повна маса до 7 кг;
- довжина 1100-1400 мм (залежно від вибраної конфігурації);
- розмах крил 1050-1300 мм (залежно від вибраної конфігурації);
- вага цільового навантаження до 3 кг.

Розроблено та виготовлено експериментальний зразок БПЛА який пройшов стендові випробування які показали відповідність отриманих технічних характеристик заявленим.

Наступним етапом удосконалення розробленого БПЛА стануть польові випробування основною метою яких є визначення його максимальних бойових можливостей, включно з порівнянням його експлуатаційних характеристик з поширеними зразками БПЛА китайського виробництва з електричним приводом.

Колектив розробників відкритий до співпраці щодо встановлення і адаптації апаратури завадозахищеного зв'язку для підсистем управління і передачі інформації.

**SECTION 5. Telecommunication Systems and
Networks. Wired and Wireless Systems, Network
Services, Management, Operation.**

**СЕКЦІЯ 5. Телекомунікаційні системи та мережі.
Проводові та безпроводові системи, мережеві
послуги, керування, експлуатація.**

Малий О.Ю., канд. техн. наук, доц.
Фурманова Н.І., канд. техн. наук, доц.
Онищенко В.Ф., канд. фіз.-мат. наук
malyi@zp.edu.ua
vfonish@zp.edu.ua
nfurman@zp.edu.ua
НУ «Запорізька політехніка»

ШИФРУВАННЯ АНАЛОГОВОГО ВІДЕОСИГНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Метою дослідження є розробка алгоритму шифрування аналогового відеосигналу при передаванні бездротовими передавачами з використанням хаотичних сигналів та розробка апаратного засобу перевірки запропонованого алгоритму.

Передавання відеосигналів в певних випадках проводиться за бездротовим каналом, бо це забезпечує, в першу чергу, можливість переміщення, а у випадку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) бездротова передача – єдиний спосіб. Бездротовим способом можуть передаватися як аналогові, так і цифрові сигнали. Не дивлячись на те, що існує загальна тенденція переходу на цифрову передачу через більшу якість отриманого відеосигналу, аналогова передача все одно використовується. Особливо вона актуальна для БПЛА, яким треба забезпечити збільшену відстань польоту шляхом використання ретрансляторів. Побудова ретрансляторів для цифрової передачі достатньо складна задача. Крім того, цифровий сигнал має затримку, яка відсутня у аналогового. Ключовим недоліком при застосуванні аналогової відеопередачі при використанні БПЛА є незахищеність каналу, що дає змогу відстежувати відеосигнал будь-кому, хто має приймач налаштований на частоту передачі.

Розроблений алгоритм має забезпечувати легке використання пристроїв на його основі, тому їхнє встановлення в системи має бути простим. На рис. 1 наведено варіант встановлення шифратора анало-

гового відео на БПЛА. На рис. 2 наведено варіант встановлення дешифратора на стороні прийому, також на прикладі використання шифрування для передачі відеосигналу з БПЛА.

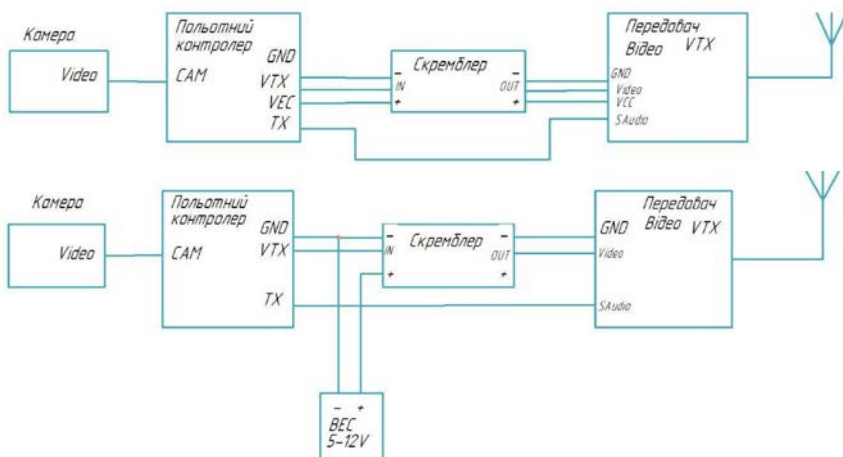


Рис. 1. Структура приєднання блоку шифрування

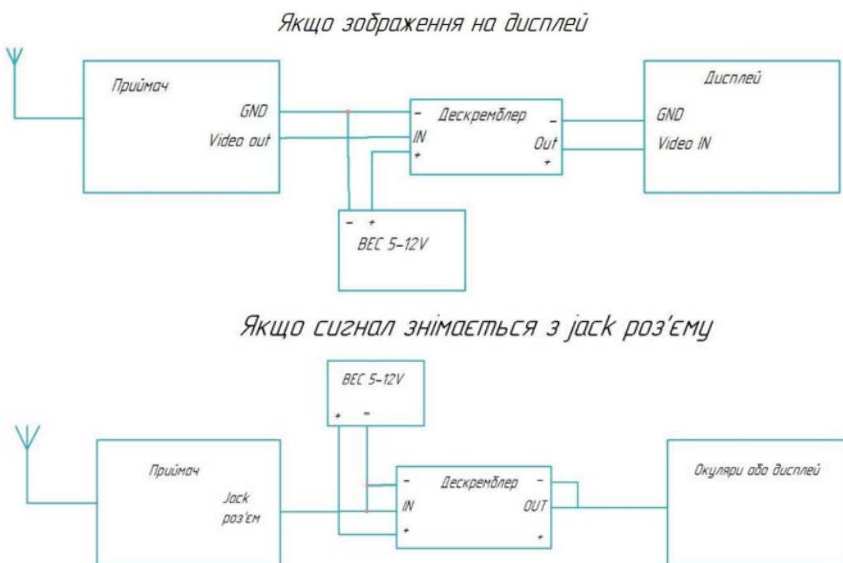


Рис. 2. Структура приєднання блоку дешифрування

Сигнал з джерела аналогового відеосигналу потрапляє на скремблер, де проводиться шифрування, потім спотворений сигнал передається бездротовим каналом. На приймальній стороні після передавача на дескремблері відбувається дешифрування сигналу з його подальшим виведенням на пристрій відображення.

Ідея шифрування аналогового відеосигналу не нова, для всіх існуючих методів шифрування аналогового відеосигналу вже існують системи злому, а отже, треба розробляти новий метод шифрування.

Пропонується використати хаотичний сигнал для шифрування аналогового відеосигналу.

Алгоритм блочного шифрування на основі хаосу, що складається з п'яти основних блоків можна представити у вигляді наступної послідовності етапів (у дужках результати або дії):

- а) вибір хаотичної карти (змішування та/або точні карти);
- б) ознайомлення з параметрами (структурно стійкі схеми);
- в) дискретизація (результатом має бути відображення 1);
- г) оцінка безпеки (доведення або перевірка стійкості до диференціальних або лінійних атак; перевірка розширення та узагальнення диференціальних або лінійних атак; врахування спеціалізованих атак, застосованих до шифрування з невеликою кількістю раундів; врахування можливості атак іншого типу);
- д) оцінка ефективності (розробка безпечних, але не повільних алгоритмів з допустимою складністю).

На рис. 3 представлено розроблену в рамках наукового дослідження схему скремблера.

Для того, щоб була можливість перевірити працездатність розробленого алгоритму і схем скремблера та дескремблера, на основі алгоритму було розроблено конструкції друкованих плат з подальшим їх виготовленням. З використанням виготовлених плат було проведено тестування їхньої роботи з реальною відеокамерою, аналоговим відео-передавачем, приймачем та дисплеєм. Тестування показало повну працездатність розробленої системи шифрування. Єдиним недоліком при поточній конструктивній реалізації є відсутність можливості зміни

хаотичного сигналу, що кодує, але загалом тестування показало працездатність алгоритму.



Рис. 3. Структура роботи хаотичної аналогової системи скремблювання

Переробка схеми та конструкції зможуть надати можливість реалізації можливостей налаштування параметрів сигналу, що кодує. При тестуванні якість картинки на пристрої відображення була достатня для сприйняття оком людини. Під час тестування проводилось зняття сигналів з роз'ємів плат осцилографом.

Загалом в роботі розроблено алгоритм шифрування відеосигналів на основі хаотичних сигналів та проведено його перевірку шляхом реалізації хаотичного скремблера та дескремблера для захисту бездротового аналогового відео. Згідно розробленого алгоритму аналоговий відеосигнал вводиться в хаотичний генератор, а ви-

хідний сигнал передається через стандартний бездротовий радіозв'язок. У приймачі дескремблер відокремлює відео від хаотичного сигналу в реальному часі.

Халімонов Я. І.

Сотник С. В., канд. техн. наук, доц.

yan.khalimonov@nure.ua

svetlana.sotnik@nure.ua

ХНУРЕ

СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЮ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ СЕРЕДОВИЩА У ПРИВАТНИХ ТА КОМЕРЦІЙНИХ ПРИМІЩЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Вступна частина. Впровадження автоматизації стає всеосяжним явищем у різних сферах нашого життя [1 – 4]. Зокрема, в сфері управління приміщеннями та комунікаційних систем ця тенденція набирає особливої активності. Завдяки автоматизованим технологіям збільшується ефективність та зручність управління різноманітними процесами, що стосуються контролю за умовами в приміщеннях.

Забезпечення комфортних та безпечних умов у приміщеннях, як у житлових, так та у робочих є необхідним з причин дбайливого ставлення до здоров'я та забезпечення продуктивної працездатності. З цієї метою виникає потреба в розробці інтелектуальних технологічних рішень, спрямованих на автоматизоване вимірювання та моніторинг різноманітних параметрів середовища в приміщеннях. Ці технології відкривають нові можливості для ефективного контролю за якістю повітря, температурою, вологістю та іншими факторами, що впливають на здоров'я та комфорт користувачів.

На сьогоднішній день в Україні впровадження таких інтелектуальних технологічних рішень для автоматизованого вимірювання та моніторингу різноманітних параметрів середовища в приміщеннях ще не є широко поширеним, особливо через високі витрати на необхідне обладнання. Проте, в найближчі роки, із розвитком технологій Інтернету речей, вартість автоматизованих рішень має зменшитися.

Постановка проблеми у створенні інтелектуального модулю для автоматизованого моніторингу середовища у приватних та комерційних приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій полягає у необхідності вирішення наступних викликів: забезпечення точності та надійності сенсорів, автоматизації процесу моніторингу.

Мета роботи – автоматизований моніторинг умов у приватних та комерційних приміщеннях з більшою точністю.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: аналіз існуючих аналогів та порівняння їх між собою; аналіз та вибір компонентів для модуля дистанційного моніторингу умов; розробка схеми підключення компонентів модуля; вибір середовища для розробки мобільного додатку; розробка мобільного додатку для дистанційного моніторингу умов.

Змістова частина. Незважаючи на значний прогрес у сфері автоматизації [5, 6], існуючі методи моніторингу середовища часто є недостатньо ефективними та не відповідають сучасним вимогам. Існують проблеми з точністю та надійністю вимірювань, обмеженою широтою охоплення приміщень, складністю інтеграції з іншими системами, а також забезпеченням конфіденційності даних. Тому створення інтелектуального модулю для автоматизованого моніторингу умов у приватних та комерційних приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій стоїть перед рядом викликів, які потребують вирішення.

Для початку обране Arduino IDE для розробки програмної частини системи обумовлений простотою та зручністю використання, широкою підтримкою апаратних платформ, включаючи ESP8266, та наяв-

ністю великої кількості готових бібліотек та прикладів коду, що прискорює процес розробки.

Також варто відзначити зручний менеджер плат в Arduino IDE для автоматичного виявлення та налаштування мікроконтролерів. А також наявність вбудованого завантажувача коду на плату для швидкої реалізації проекту.

Схема підключення даних компонентів до плати ESP8266 була розроблена з використанням програмного забезпечення Fritzing.

Забезпечення Fritzing для складання схем підключення компонентів надає можливість візуально представити зв'язки між електронними компонентами, що полегшує їх розуміння та сприяє швидшому проектуванню та розробці системи. Всі сенсори під'єднуються безпосередньо до портів мікроконтролера згідно з їх технічними специфікаціями.

Компактність та оптимізація підключення всіх елементів не лише гарантує надійну роботу системи, але й сприяє зменшенню енергоспоживання та витрат матеріалів при виготовленні пристрою.

Проведено аналіз сенсорів для таких систем і в результаті, обрано сенсор температури DHT22 та сенсор концентрації вуглекислого газу MH-Z19B.

Також слід зазначити, що обрана конфігурація підключення компонентів сприяє простому розширенню можливостей цієї системи моніторингу у майбутньому.

Розроблену схему було розміщено в пластиковий корпус з металевими сітками (рис. 1), щоб забезпечувати повітряне охолодження пристрою та коректне вимірювання показників з датчиків.

Використання пластикового корпусу з металевими сітками не лише забезпечує привабливий зовнішній вигляд пристрою, але й сприяє оптимальному теплообміну. Ця конструкція дозволяє ефективно відведення тепла, що виникає під час роботи електронних компонентів, та запобігає перегріванню пристрою, що може негативно вплинути на його функціонування. Такий підхід до дизайну також забезпечує за-

хист внутрішніх елементів від пилу та вологи, що допомагає підвищити надійність та тривалість експлуатації системи.



Рис. 1. Розроблений пристрій MeteoAssistant

Для створення мобільного додатка системи моніторингу параметрів навколишнього середовища було обрано середовище візуального програмування MIT App Inventor. Цей підхід дозволив розробити інтуїтивний та функціональний інтерфейс користувача за допомогою компонування готових візуальних елементів.

Обрано MIT App Inventor з кількох причин. Перш за все, це потужний інструмент для швидкої розробки мобільних додатків, що має дружній інтерфейс та інтуїтивний використання. Крім того, MIT App Inventor надає широкі можливості для створення інтерактивних інтерфейсів, що є важливим аспектом у розробці додатків для моніторингу параметрів навколишнього середовища. Цей інструмент також ідеально підходить для початківців, оскільки не вимагає глибоких знань програмування, але дозволяє швидко створювати функціональні додатки. Таким чином, обрання MIT App Inventor було обумовлене його простотою використання, швидкістю розробки та можливістю створення потужних мобільних додатків.

Результат – розроблений додаток представлений на рис. 2, а, б. На рис. 2, а наведений головний екран додатку; 2, б показано інтерфейс мобільного додатка, який відображає поточну температуру.

Внизу екрану є навігаційна панель, по якій користувач зможе відкривати сторінки для моніторингу інших типів даних.

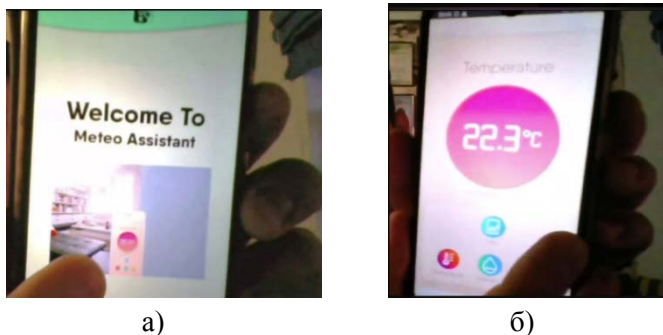


Рис. 2. Мобільний додаток для дистанційного моніторингу умов

Висновки. В роботі, вирішені всі поставлені завдання: проведено аналіз існуючих аналогів та порівняння їх між собою; проведено аналіз та вибір компонентів для модуля дистанційного моніторингу умов; розроблено схема підключення компонентів модуля; вибрано середовище для розробки мобільного додатку; розроблено сам мобільний додаток для дистанційного моніторингу умов середовища у приватних та комерційних приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій.

У підсумку, розроблена система здатна проводити моніторинг параметрів з сенсорів та інформувати користувача за допомогою мобільного додатку, а це дозволяє вживати необхідних заходів для нормалізації умов (пріветрювання, регулювання систем опалення/кондиціонування тощо).

Система є інтелектуальною бо може давати поради користувачам щодо їх дій для нормалізації умов дистанционно 24/7.

Пропозиції. Пропонуються наступні напрямки для подальшого вдосконалення системи, включаючи розширення функціональності додатку, покращення інтерфейсу користувача, розширення масштабу

системи та дослідження енергоефективності, що може сприяти підвищенню корисності та ефективності системи.

Перелік посилань:

1. Халімонов Я. І. Перспективи: Автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень // Automation and development of electronic devices ADED-2023. – 2023. – Part 2. – С. 9-11.
2. Сотник С. В., Халімонов Я. І. Аналіз систем автоматизації визначення умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень // Автоматизація, електроніка та робототехніка (AERT-2023). – 2023. – С. 32-35.
3. Tahseen A. J. A. et al. Access control to robotic systems based on biometric: the generalized model and its practical implementation // International Journal of Intelligent Engineering and Systems. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – С. 313-328.
4. Sharo Y. M. A. et al. Neural Networks As A Tool For Pattern Recognition of Fasteners // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2021. – Vol. 69, No. 10. – С. 151-160.
5. Lyashenko V. et al. Analysis of Basic Principles for Sensor System Design Process Mobile Robots // Journal La Multiapp. – 2020. – T. 1. – №. 4. – С. 1-6.
6. Lyashenko V. et al. Recognition of voice commands based on neural network // TEM Journal. – 2021. – Volume 10. – Issue 2. – С. 583 – 591.

Кирпота Ф. В.
Сотник С. В., канд. техн. наук, доц.
fedir.kyrpota@nure.ua
svetlana.sotnik@nure.ua
ХНУРЕ

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМОГ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ ТЕПЛИЦІ

Вступна частина. В сучасному світі автоматизація стає все більш важливою у не тільки на виробництві, але й у сільському господарстві, зокрема в управлінні теплицями [1, 2]. Автоматизовані теплиці використовують різноманітні технології для забезпечення оптимальних умов вирощування рослин [3-6]. Однак, перш ніж розпочати процес розробки системи автоматизації, необхідно чітко визначити функціональні вимоги до неї. Функціональні вимоги визначають основні функції, якими повинна володіти система, щоб задовольняти потреби користувачів та досягати поставлених цілей. Тому в даній роботі буде розглянуто процес визначення функціональних вимог в автоматизованій теплиці, щоб краще зрозуміти суть та область застосування цього важливого етапу розробки.

У сучасному агропромисловому секторі портативні теплиці також набувають значної важливості. Вони відкривають нові можливості для фермерів, садівників і просто звичайних людей, дозволяючи швидко переносити тепличні конструкції для оптимізації умов вирощування рослин у різних місцях або в залежності від погодних умов. Такий підхід забезпечує більшу гнучкість та ефективність у веденні сільського господарства. Тому врахування вимог до портативності та мобільності в автоматизованих теплицях стає ключовим аспектом проектування та реалізації системи автоматизації.

Тож, ця робота фокусується на розробці портативної теплиці, яку можна буде розмістити у звичайній кімнаті («побутового призначення»), наприклад, для культивування низькорослих рослин.

Після врахування важливості портативних теплиць в автоматизованому сільському господарстві, виникає потреба у вирішенні певних проблем, які стосуються їхньої ефективності та функціональності. Одна з цих проблем – необхідність розробки та визначення конкретних функціональних вимог до автоматизованої системи для портативних теплиць, а це буде включати в себе розуміння потреб користувачів, технічних можливостей та обмежень. Таким чином, постановка проблеми полягає у визначенні конкретних потреб та вимог до системи автоматизації портативних теплиць з метою їхнього оптимального використання та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Метою роботи є визначення повного комплексу функціональних вимог до системи автоматизації теплиці, які будуть слугувати базою для її проектування та розробки і забезпечать ефективну роботу системи для створення та підтримки оптимальних умов вирощування рослин в кімнатних умовах. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання: проаналізувати потреби і вимоги користувачів; визначити ключові параметри мікроклімату; визначити вимоги до апаратного та програмного забезпечення системи автоматизації; визначити канали та протоколи зв'язку для передачі даних та віддаленого керування.

Змістовна частина. Для того щоб покращувати вирощування рослин в автоматизованій теплиці повинний завжди здійснюватися збір даних. Найчастіше необхідно систематично проводити моніторинг таких ключові параметри, як температура, вологість, якість ґрунту та рівень освітленості. Це дозволяє отримувати точні дані про умови, в яких зростають рослини, і реагувати на будь-які зміни миттєво.

Якщо проаналізувати, то, збір даних про температуру дозволяє ефективно керувати тепловим режимом в теплиці, забезпечуючи ідеальні умови для зростання рослин.

Вимірювання вологості дозволяє систематично контролювати рівень вологості в ґрунті, що має велике значення для здоров'я та розвитку рослин.

Оцінка якості ґрунту є ключовою для забезпечення необхідного рівня поживних речовин, необхідних для оптимального зростання рослин.

Додатково, моніторинг рівня освітленості є важливим для забезпечення достатнього світла для фотосинтезу та оптимального фотоперіоду для росту рослин. Загальний збір цих даних та їх аналіз надає можливість створення оптимальних умов.

Висновки. У роботі розглянуто важливість автоматизації в сільському господарстві, зокрема в теплицях. Особлива увага приділяється портативним теплицям для побутового використання. У підсумку, визначено комплексний набір функціональних вимог, необхідних для ефективного проектування та розробки автоматизованої портативної теплиці.

Проаналізовано потреби користувачів портативних побутових теплиць, зокрема необхідність забезпечення належного освітлення, вентиляції, регулювання температури, компактність та мобільність, енергоефективність. Визначено ключові параметри мікроклімату для моніторингу та контролю: температура, вологість повітря і ґрунту, освітленість. Сформульовано вимоги до апаратного забезпечення системи: центральний мікроконтролер, набір датчиків, виконавчі пристрої, модуль бездротового зв'язку, джерело живлення. Визначено вимоги до програмного забезпечення: підтримка протоколів зв'язку, локальне зберігання даних, алгоритми керування, зрозумілий код.

Окреслено вимоги до користувацького інтерфейсу: мобільний додаток/веб-інтерфейс, відображення даних, можливість налаштування параметрів. Обрано технологію Bluetooth для бездротового зв'язку та передачі даних як оптимальну для цього проекту.

Пропозиції. Подальший аналіз можливості використання машинного навчання та штучного інтелекту для більш точного аналізу зібраних даних та автоматичного регулювання параметрів мікроклімату в теплиці.

Також було б доцільно проаналізувати вимоги щодо енергоефективності системи та дослідити можливості застосування альтернативних джерел енергії, наприклад, сонячних панелей.

Перелік посилань

1. Сотник С. В., Кирпота Ф. В. Огляд базових елементів автоматизованої системи контролю навколишнього середовища портативної ділянки зеленого побуту // Автоматизація, електроніка та робототехніка (AERT-2023). – 2023. – С. 28-31.
2. Kyrpota F. Development of Automated Environmental Control System for Portable Greenway Section // Automation and development of electronic devices» ADED-2023, Part 2. – 2023. – С. 1-4.
3. Lyashenko V. et al. Modeling of Machine Design with Numerical Control in UG NX 7.5 System // The International Journal of Engineering and Science (IJES). – 2018. – Volume 7(7). – С. 28-31.
4. Tahseen A. J. A. et al. Access control to robotic systems based on biometric: the generalized model and its practical implementation // International Journal of Intelligent Engineering and Systems. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – С. 313-328.
5. Sharo Y. M. A. et al. Neural Networks As A Tool For Pattern Recognition of Fasteners // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2021. – Vol. 69, No. 10. – С. 151-160.
6. Deineko Z. et al. Features of Database Types // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). – 2021. – Vol. 5(10). – С. 73-80.

Abhishek Pandey, assistant Professor
abhishek.pandey@jaipur.manipal.edu
Centre for distance and online education,
Manipal University Jaipur, India

ENHANCING STUDENT ENGAGEMENT THROUGH TELECOMMUNICATIONS IN DISTANCE AND ONLINE LEARNING

Abstract. Distance and online learning have fundamentally transformed the educational landscape, offering unparalleled flexibility and accessibility to learners across the globe. However, ensuring robust student engagement in these virtual environments remains a paramount challenge. This paper undertakes an in-depth examination of the pivotal role played by telecommunications technologies in fostering student engagement within the realm of distance and online learning. By meticulously analysing a diverse array of telecommunications tools and implementing innovative strategies, educators are empowered to craft dynamic and interactive learning experiences that not only encourage active participation but also cultivate collaboration and facilitate deeper learning outcomes. Through the judicious utilization of these technological advancements, educators can effectively bridge geographical barriers, foster a sense of community, and provide learners with the tools they need to thrive in the digital age.

Keywords: Distance learning, online learning, student engagement, telecommunications, technology-enhanced learning

Introduction. The educational landscape has shifted dramatically with the rise of distance and online learning, offering learners unprecedented flexibility but also posing challenges in maintaining engagement. Telecommunications technologies like video conferencing, instant messaging, and virtual reality address this by enabling real-time interaction and collaboration, fostering a sense of community and participation. Multimedia tools such as virtual labs and gamified simulations cater to diverse learning styles, enhancing motivation. Personalized learning experiences are furthered through

adaptive algorithms and data analytics, tailoring support to individual needs. By leveraging these technologies, educators can create dynamic and engaging online environments that rival traditional classrooms.

This paper examines how telecommunications enhances student engagement in online learning. It provides actionable tips for educators based on current research. Exploring virtual learning complexities, it highlights telecommunications' impact on engagement.

Understanding Student Engagement in Distance and Online Learning:

Student engagement embodies commitment, enthusiasm, and participation across cognitive, emotional, and behavioural domains. It fosters critical thinking, connections, and emotional investment, extending beyond classrooms to enrich the educational journey with vitality. It nurtures lifelong learning and personal growth, fueling transformative experiences.

Student engagement is vital for academic success, fostering active involvement, knowledge retention, critical thinking, and problem-solving skills. Engaged learners exhibit curiosity, deep inquiry, and higher retention rates. They develop robust mental frameworks, enhancing learning transferability.

Role of Telecommunications in Enhancing Student Engagement:

Telecommunications technologies encompass a diverse array of tools designed to overcome physical distance and enable seamless communication and collaboration among individuals worldwide. Leading this revolution are video conferencing platforms like Zoom and Microsoft Teams, and instant messaging applications such as Slack. Discussion forums facilitate structured discourse, allowing learners to delve into complex concepts, debate issues, and share insights through threaded discussions. Synchronous discussion forums allow real-time interaction, akin to traditional classrooms. Asynchronous forums offer flexibility, enabling participants to engage at their own pace. Both modes promote collaboration and critical thinking, catering to diverse learning styles and schedules in online education.

Designing Interactive Learning Activities: The 4-Quadrant Approach to online learning includes e-Tutorials for content delivery, e-Content for

supplementary materials, Assessment for evaluation, and Discussion for collaborative learning. Transcriptions of video content aid comprehension and accessibility, ensuring inclusivity. Components such as recorded lectures, PDFs, quizzes, and discussion forums enrich the learning experience, catering to diverse learning styles. Assessments provide feedback, while discussions foster community and interaction. This comprehensive framework ensures a holistic and engaging online learning experience for students, facilitated by telecommunications tools.

Conclusions. The integration of telecommunications revolutionizes distance learning, enhancing engagement. Platforms like video conferencing and virtual classrooms enable real-time interaction, catering to diverse learning styles. Addressing challenges such as access and digital literacy is crucial. Educator training and embracing emerging technologies further enhance online learning engagement for academic success.

References

1. Borup, J., West, R. E., & Graham, C. R. (2012). Improving online social presence through asynchronous video. *The Internet and Higher Education*, 15(3), 195-203.
2. Hrastinski, S. (2009). A theory of online learning as online participation. *Computers & Education*, 52(1), 78-82.
3. Shea, P., Li, C. S., & Pickett, A. (2006). A study of teaching presence and student sense of learning community in fully online and web-enhanced college courses. *The Internet and Higher Education*, 9(3), 175-190.
4. Bozkurt, A., & Sharma, R. C. (2020). Emergency remote teaching in a time of global crisis due to Corona Virus pandemic. *Asian Journal of Distance Education*, 15(1), 1-6.
5. Biswas, S., & Baidya, M. (2020). Online education during COVID-19 in India: An overview. *Journal of Engineering Education Transformations*, 34(Special Issue), 1-8.

Невінський Д.В., к.т.н., доцент
Скочеляс В.В., аспірант
denys.v.nevinskyi@lpnu.ua
_vitalii.v.skochelias@lpnu.ua
НУ«Львівська політехніка»

КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Сучасний світ стикається з численними викликами, пов'язаними зі зростаючим попитом на енергію, виснаженням традиційних енергетичних ресурсів та необхідністю зниження екологічного впливу, тому аналіз ситуації на ринку енергетичної інфраструктури є важливим для розуміння поточного стану та перспектив розвитку енергетичної галузі. Енергетична інфраструктура, що є ключовою складовою економічного розвитку та забезпечення добробуту населення, потребує суттєвого вдосконалення та модернізації [1].

Ця концепція має на меті забезпечення надійного, безпечного та стійкого енергопостачання, зменшення залежності від імпорту енергоресурсів, а також інтеграцію в міжнародні енергетичні ринки.

Для досягнення поставленої мети використовується метод систематичного аналізу публікацій та наукових робіт у галузі енергетики: наукові статті, звіти міжнародних організацій та інформаційні ресурси, спрямовані на дослідження енергетичних систем та їх оптимізацію. Вивчається та аналізується наукова література, щоб зрозуміти сучасний стан розвитку енергетичної інфраструктури та ідентифікувати передові підходи та технології.

Результати дослідження дозволяють зрозуміти основні тенденції та виклики у галузі енергетики, а також виявити ключові фактори, які впливають на ефективність управління енергетичною інфраструктурою, а також виявити нові можливості для впровадження передових технологій та методів у цю сферу [2].

Аналітичний підхід передбачав систематичний огляд та порівняння зібраної інформації, а також виявлення прогалин у даних та можливостей для подальших досліджень. Ми також використовували методи статистичного аналізу для обробки отриманих даних та виявлення

статистично значущих відмінностей чи зв'язків. Цей підхід дозволив нам отримати всебічне уявлення про сучасний стан енергетичних систем та їх можливості для оптимізації.

Отримані результати були обґрунтовані на основі отриманих фактичних даних та теоретичних концепцій [3], і підтвердили важливість впровадження передових технологій у сфері енергетики. Аналіз показав, що цифровізація, Інтернет речей (IoT) та гнучкі енергетичні мережі (Рис. 1) можуть значно покращити ефективність та надійність енергетичних систем. Впровадження IoT дозволяє підключати до мережі різноманітні пристрої та датчики, що надає можливість здійснювати моніторинг та керування енергетичними процесами в реальному часі. Це дозволяє автоматизувати та оптимізувати роботу системи, що в свою чергу призводить до підвищення продуктивності та зниження енерговитрат. Дане дослідження також підкреслило необхідність подальших досліджень у галузі оптимізації енергетичних систем та їхнього розвитку. Важливо продовжувати дослідження в цьому напрямку, щоб максимально використовувати потенціал передових технологій та методів у сфері енергетики і забезпечити сталий розвиток нашої енергетичної інфраструктури.



Рис. 1. Цифровізація та інтернет речей (IoT)

Розвиток енергетичної інфраструктури направлений на досягнення ряду стратегічних цілей, які відповідають сучасним викликам та потребам суспільства.[4] Основними цілями розвитку енергетичної інфраструктури є:

- *Забезпечення надійності та безпеки енергопостачання.*
- *Підвищення енергоефективності.*

- Розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).
- Зниження екологічного впливу.

На діаграмі наведено стрімкий розвиток проєктів ВДЕ (Рис. 2)

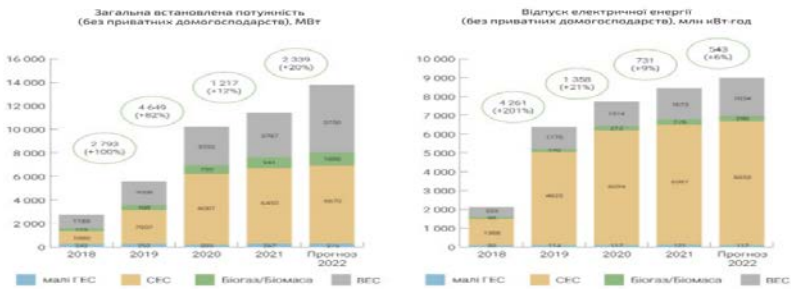


Рис. 2. Розвиток проєктів ВДЕ

На Рис. 3 наявність практично горизонтальної ділянки (до 2000 р.) обумовлена рядом різноманітних чинників, що негативно діють переважно у цьому інтервалі. Головними з них є:

- дія структурного фактора, оскільки розвиток структури економіки на цьому інтервалі йде в напрямку збільшення ваги енергоємних галузей;
- слабкий вплив цінового фактора на рівні ефективності енерговикористання;
- відсутність належної нормативно-правової бази, що забезпечує підвищення енергоефективності.[5]

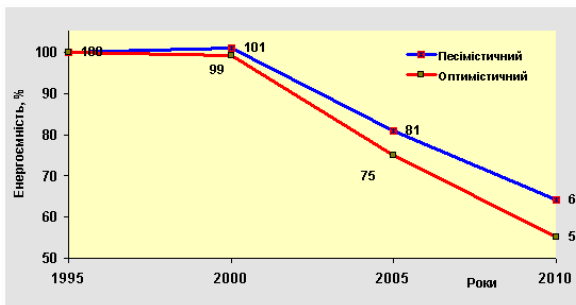


Рис. 3. Динаміка енергоємності ВВП

На цьому етапі позитивний вклад в підвищення енергоефективності, що забезпечується заходами з енергозбереження, компенсується впливом наведених негативних факторів. Вони мають тимчасовий характер, і після 2000 р. їх дія практично вичерпується.

Висновок: Цифровізація дозволяє збирати та аналізувати великі обсяги даних, що допомагає виявляти проблеми та оптимізувати роботу системи. Впровадження IoT розширює можливості моніторингу та керування енергетичними процесами в реальному часі. Гнучкі енергетичні мережі сприяють децентралізації та підвищують надійність енергопостачання. Дане дослідження підтвердило, що впровадження передових технологій у галузі енергетики, таких як цифровізація, Інтернет речей (IoT) та гнучкі енергетичні мережі, може значно покращити ефективність та надійність енергетичних систем. Отримані результати вказують на потенційні переваги цих технологій у забезпеченні сталого розвитку енергетичної інфраструктури та зниженні негативного впливу на навколишнє середовище. Проте, для досягнення повного потенціалу цих технологій необхідно подальше дослідження та розвиток у цій галузі.[6]

Список використаних джерел:

1. Мішра, С., Сайкія, Л. С., & Такур, С. (Ред.). (2020). Інтеграція відновлюваних джерел енергії у мережу: виклики та можливості. Springer.
2. Піагі, П., & Ян, Дж. (Ред.). (2018). Смарт-сіті: мережі, управління даними та бізнес-моделі. CRC Press.
3. Тейлор, К., & Алізаде-Мусаві, О. (2019). Посібник з розумних мереж для розподільних систем. Springer.
4. Денг, Ї., Лю, Ч., & Сіє, С. (2019). Системи управління енергією: передові застосування та розвиток. Springer.
5. Хатзіаргіріу, Н. (Ред.). (2017). Мікромережі: архітектури та керування. John Wiley & Sons.
6. Раманатан, Р., & Аруначалам, В. (2019). Посібник з дослідження смарт-систем управління енергією та керування. IGI Global.

**SECTION 6. Electronics, Photonics
and Semiconductor Electronics.**

**СЕКЦІЯ 6. Електроніка, фотоніка
та напівпровідникова електроніка.**

Кузик Н.І., асп.каф. ЕЛП
Стахіра П.Й., д-р. техн. наук., проф.
Іванюк Х.Б., канд. техн. наук, доц.
nataliia.i.kuzyk@lpnu.ua
pavlo.y.stakhira@lpnu.ua@lpnu.ua
khrystyna.b.ivaniuk@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ПОХІДНИХ BODIPY В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розширення сегменту органічних сонячних перетворювачів на ринку відтворюваних джерел енергії, особливо спостерігається у останні роки [1]. Слід зауважити, що по таких показниках як ефективність і термін придатності, органічні сонячні комірки(OSCs) все ще значно поступаються традиційним сонячним елементам на основі неорганічних сполук. Проте прилади органічної фотовольтаїки володіють цілою низкою унікальних властивостей, що робить їх конкурентноспроможними на ринку сонячної енергетики, зокрема, низька вартість, мала вага та гнучкість, а також застосування розчинів в процесі виготовлення. [2]

Завдяки прогресу у синтезуванні матеріалів та оптимізації структурних шарів, ефективність перетворення енергії OSCs досягнула і перевищила 19% в пристроях на основі нефулерену у дослідницьких лабораторіях. [3]

В даній роботі розглядається можливість створення ефективних органічних фоточутливих гетероструктур з використанням новосинтезованого матеріалу на основі похідних BODIPY. Реалізовано технологічний метод виготовлення прямої та інвертованої фоточутливої структури з застосуванням квантових точок ZnO. Методом термо-вакуумного осадження виготовлений експериментальний зразок зі структурою Al/BSP/P3HT/BODIPY/ITO. Експериментальну структуру фоточутливого елемента, формували на поверхні скляної пластини з нанесеним шаром ITO [4]. Порошок новосинтезованого матеріалу на основі похідних BODIPY, полі(3-гексилтіофен) (P3HT) був придбаний у компанії Ossila під маркуванням P3HT M101 з такими характерис-

тиками ($M_w = 65500$ і $M_n = 32000$), батокупроїн (BCP), номер CAS 4733-39-5 також був придбаний у компанії Ossila та алюмінієва плівка наносилася по чергово в установці термо-вакуумного нанесення УВР-3М при залишковому тиску в робочій камері у 10^{-5} Torr.

В інвертованій світлочутливій структурі ІТО/ZnO/PЗНТ/BODIPY/MoO₃/Al був використаний шар з наноточками п-типу провідності ZnO [5] нанесений з водного розчину методом центрифугування на скляну підкладу з шаром ІТО у якості електронно-інжекторного шару. Наступні функціональні шари формувались по чергово термо-вакуумним нанесенням. Додатково, MoO₃ був використаний як дірково інжекторний шар [6]. Товщина нанесеної плівки ZnO визначалася з використанням профілометра [Dektak XT, Bruker], товщина інших функціональних плівок контролювалася за допомогою кварцового резонатора під час технологічного процесу термо-вакуумного нанесення. Темнові фотовольтаїчні характеристики сформованих експериментальних зразків були отримані з використанням характеріографа HP4145A і імітатора сонячного випромінювання AM1.5. Функціональні плівки на основі РЗНТ були використані у якості донорного матеріалу, для органічного р-п переходу додатково виконуючи роль транспортного шару для екситонно-дисоційованих дірок. Найкращі органічні фотовольтаїчні комірки прямого і інвертованого типу демонструють коефіцієнт корисної дії фотоперетворення на рівні 2%, що є типовим для сонячних елементів на основі інших BODIPY сполук.

Таким чином в результаті проведених досліджень фотовольтаїчних характеристик прямих та інвертованих гетероструктур на основі новосинтезованого матеріалу з похідних BODIPY, встановлено, що даний матеріал володіє достатньою фоточутливістю у видимому спектрі у діапазоні більше 500 нм і є перспективний для використання у технології виготовлення органічних сонячних елементів.

Використані джерела

1. Alam, S., Sim, S., Li, M. Q., Chang, B. J., & Lee, J. (2024). Recent Progress in Semitransparent Organic Solar Cells: Photoabsorbent Materials and Design Strategies. *Micromachines*, 15(4), 493.

2. Luo, Y., Fang, S., Zheng, N., Liu, L., Würthner, F., & Xie, Z. (2020). Increased electron transport and hole blocking in an aqueous solution processed dye-doped ZnO cathode interlayer for high performance organic solar cells. *ACS Applied Energy Materials*, 3(2), 1694-1701.
3. Wei, Y., Chen, Z., Lu, G., Yu, N., Li, C., Gao, J., ... & Huang, H. (2022). Binary organic solar cells breaking 19% via manipulating the vertical component distribution. *Advanced Materials*, 34(33), 2204718.
4. Веб посилання: https://www.ossila.com/products/pvsubstrates?_pos=1
5. Веб посилання: https://www.ossila.com/products/zinc-oxide-powders?_pos=1
6. J. W. Ma, Z. Liang, C. Jina, X. Y. Jiang, Z. L. Zhang, *Solid State Commun.* 2009, 149, 214-217; b) H. Zhang, Q. Fu, W. Zeng, D. Ma, J. Mater. Chem. C 2014, 2, 9620-9624.

D.-H. Talanchyk

O. Kutrakov, PhD. of Tech. Sc.

A. Druzhinin, Dr. of Tech. Sc., Prof.

S. Nichkalo, PhD. of Tech. Sc., Associate Prof.

danylo-hryhorii.talanchuk.mn.2020@lpnu.ua

Lviv Polytechnic National University

MEDICAL SENSOR BASED ON SILICON-ON-INSULATORS STRUCTURES

Today, cardiotocography (CTG) is used to detect fetal abnormalities in pregnant women in the early stages. This is a technique that is understood as a comprehensive diagnosis of the state of the fetus and the body of a pregnant woman. Usually, monitors that were developed on the basis of advanced technologies are used for diagnostics. With their help, vital indicators are determined, on which the normal development of the child depends. The main purpose of the technique is to detect fetal vital activity

disorders in the early stages. The device registers the heartbeat and the mobile activity of the fetus.

The fetal condition monitor is a device that is used to detect the pathological condition of the fetus in the early stages. Continuous recording of the heartbeat and mobile activity of the fetus, using such monitors, provides information for the controlled course of pregnancy.

There are several types of interpretation of cardiotocography results. The scoring scale (Fisher scale) and Dawes-Redman criteria (computer analysis) are most often used. In our research we use electrical processing tools, so it is the Dawes-Redman criterion that is important to us.

Sensors for cardiotocography are an important component of systems for monitoring cardiac activity in pregnant women and their babies. Today, various sensors for fetal cardiotocography are available.

This work considers the possibility of developing a sensor for cardiotocography using standard monitors.

The PS-01M serial sensor was taken as a basis. This sensor is built on a silicon-on-sapphire (SOS) structure. This technology is expensive to use, due to the complex process of creating such a structure.

In this work, it is proposed to manufacture a sensor based on the silicon-on-insulator structure (SOI). To create the SOI-structure (Fig. 1), standard methods of obtaining were used, including ion implantation, annealing at a relatively low temperature, as well as laser recrystallization. As a result, the SOI- structure contains a low number of defects and a large grain size, which contributes to a decrease in electrical resistance and an increase in strain sensitivity. In comparison with the technology of obtaining SOS-structures, the process of obtaining SOI-structures is easier to implement, accordingly, cheaper and has better reproducibility.

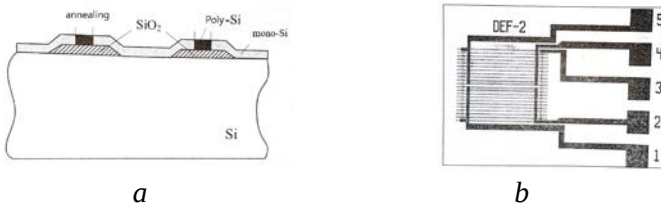


Fig. 1. Cross-section of the SOI-structure (a) and topology of the test sensing element based on the SOI-structure (b) [1]

The measuring scheme that includes sensitive elements based on SOI-structures is a Wheatstone bridge.

COMSOL Multiphysics software was used to set the optimal working condition of the SOI-structure based sensor. The result of modeling the operation of the tensile element is presented in Fig. 2 that shows the tension of the studied element. The sensitive elements were located in the area where the stretching value is of the order of 10^{-4} relative units [2].

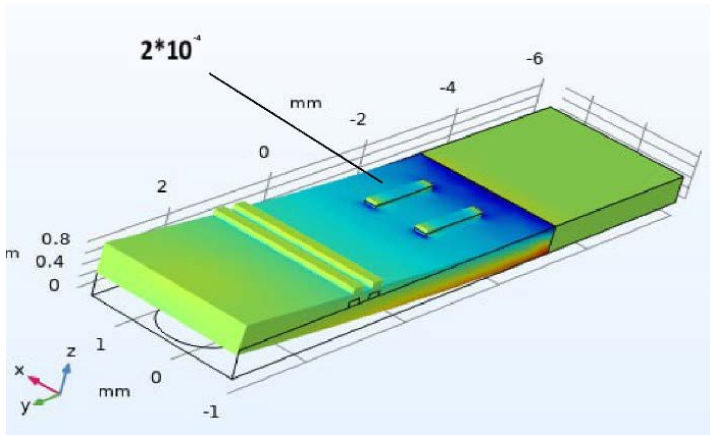


Fig. 2. Simulation model showing the operation of cantilever with sensitive element based on SOI-structure

Fig. 3 shows the dependence of the relative change in strain gauge resistance on deformation in the range of 1.2×10^{-4} r.u.

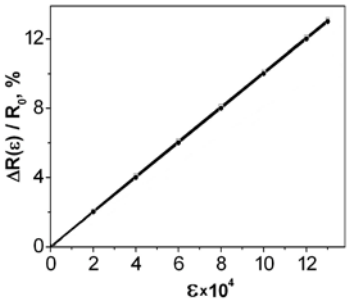


Fig. 3. Dependence of the relative change in the resistance of the sensitive element based on the SOI-structure on deformation

As we see in Fig. 3, the characteristic of the change in resistance of strain gauges in the specified strain range is linear and does not exceed 0.1%, while maintaining a high sensitivity value.

Therefore, a force sensor was modeled and designed, which can be used for medical purposes, namely cardiotocography. It is proposed to use a silicon-on-insulator structure. This will help to reduce the manufacturing cost and also increase the reproducibility of the sensors.

So, the simulated force sensor can be used for medical purposes, namely cardiotocography. The use of a silicon-on-insulator structure as a sensitive element will help to reduce the manufacturing cost and also increase the reproducibility of the sensors.

References

1. Silicon-on-insulator structures for sensor electronics: monograph / Druzhinin A. A., Kogut I. T., Khoverko Y. M. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2013. – 232 p.
2. Sensors of mechanical quantities based on filamentous crystals of silicon, germanium and compounds of A3B5 group: monograph/ Druzhinin A. A., Maryamova, I. I., Kutrakov, O.P. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2013. – 232 p.

Невінський Д.В., канд. техн. наук., доц.

Мельничок О.Я., аспірант ІТРЕ

oleh.y.melnychok@lpnu.ua

НУ «Львівська політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ПОВНІСТЮ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

Кожного дня ми можемо спостерігати, як кількість користувачів мережі Інтернет збільшується. Таку тенденцію можна пояснити збільшенням кількості смартфонів, зростанням популярності онлайн-сервісів, а також стрімінгових сервісів і соцмереж. Все це призводить до збіль-

шення інтернет-трафіку, що, у свою чергу, вимагає збільшення пропускної здатності мережі.

Швидкість передавання даних в новітніх інфокомунікаційних системах залежить від компонентів, з яких вона складається. На сьогоднішній день елементна база в основному складається з мікро та оптоелектроніки, а також з демультимплексорів, комутаторів та мультимплексорів [1]. Як вже відомо, максимальна швидкість мікроелектроніки залежить від швидкості прольоту електронів, що, в свою чергу, при зменшенні мінімальних розмірів елементів, виникають обмеження технологічними можливостями їх виготовлення, а також виникають проблеми в процесі роботи цих елементів (тепловиділення та енергоспоживання).

Провівши певний аналіз інфокомунікаційних систем, стало зрозуміло, що для збільшення їх швидкодії та пропускної здатності потрібно вдосконалювати елементну базу пристроїв, використавши для цього нанорозмірні структури. Великим кроком в сторону швидкодії буде переведення сучасних систем на повністю оптичні, світловий сигнал тут передається між пристроями без жодних перетворень.

У повністю оптичній мережі одним з найважливіших елементів можна назвати комутатор. Він здійснює комутацію каналів або пакетів. Не менш важливими є оптичні хвилеводи і з'єднувачі з великим ресурсом та невеликими втратами на відключенні та підключенні, а також атенюатори та оптичні розгалужувачі.

Щоб розв'язати проблеми, які були описані вище, необхідно створити та застосувати в інфокомунікаційних системах пристрої на базі плазмонних нанорозмірних структур, потік світла в яких буде обмежений у всіх вимірах певним об'ємом.

Найбільшою перевагою поверхневих плазмонів є значно менша довжина хвилі, порівняно з світлом видимого спектру, що дає можливість створювати пристрої, розміри яких є меншими, ніж розміри тих пристроїв, які працюють із світлом видимого спектру. Також використання плазмонних елементів сприяє суттєвому зменшенню розмірів

фотонних інтегральних схем, зменшенню електроспоживання, збільшенню їх швидкодії та вирішенню проблеми з'єднання наноелектронних елементів з нанофотонними.

Для прикладу можна навести декілька типів оптичних комутаторів. МОК (Механічні оптичні комутатори) використовують механічне переміщення елемента, що передає комутуючий світловий потік з вхідних до вихідних оптичних портів. Не зважаючи на те, що такі комутатори добре вивчені, їх застосування в системах великої розмірності $n \times m$ є проблематичним не лише через кількість входів, а й через сам процес управління комутацією.

Оптоелектронні комутатори на основі НПОП – в даних комутаторах застосовується явище зміни коефіцієнта заломлення під впливом температури. В якості комутуючого пристрою використовується інтерферометр Маха-Цендера, хвилеводи виготовлені з матеріалу, який змінює ефективний коефіцієнт заломлення n_{ef} , що в свою чергу змінює β – постійну поширення моди (оскільки $\beta = 2\pi n_{ef}/\lambda$). В кінцевому результаті, це змінить різницю фаз між плечима інтерферометра, тим самим створивши ефект комутації вхідного сигналу з одного виходу на інший. Даний комутатор має чудову швидкодію (1 нс), що, в свою чергу, дозволяє використовувати його для створення комутаторів великої ємності, але, на жаль, ціна такого НПОП висока, тому його застосування є неконкурентним.

Комутатори на багатошарових світлових рідкокристалічних матрицях використовують можливості рідких кристалів, а саме – ставати непрозорими або прозорими в залежності від прикладеної до них напруги. РК матриці, на відміну від вище згаданих технологій, одразу надають можливість виготовляти багатопортові комутатори, що дозволяє оминати стадію базового елемента розміром 2×2 , хоча й ціною непростой системи керування процесом комутації. Існує ще багато різних типів оптичних комутаторів (інтегральні активно-хвилеводні комутатори, комутатори на фотонних кристалах [2], та ін.).

Новітні розробки в області оптичних мереж, що описані вище, включають в себе комутатори вводу/виводу, спільно з відомими оптичними передавачами та приймачами, а також оптичним середовищем передачі. Ці новації утворюють передумови для створення повністю оптичних мереж, що базуються на технології WDM, як основній транспортній технології.

Але, незважаючи на серйозні досягнення в цій галузі, наразі рано говорити про практичне використання повністю оптичних мереж, і все тому, що на даний час не вирішено дуже багато проблем та питань. Наприклад, проблема відсутності посилення оптичного сигналу та логічна обробка фреймів і пакетів.

Велике значення в цій і ситуації відіграє технологія створення наноструктур та пристроїв. Тому необхідно розглянути і їх, оскільки, саме зменшення розмірів структури, призведе до пришвидшення роботи системи та збільшення її пропускної здатності.

Список літератури

1. Невінський Д.В. Дослідження мультиплексора на поверхневих плазмон-поляритонах для пристроїв телекомунікацій / Д.В. Невінський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 1/9 (79). – С. 30-37. (CrossRef, Index Copernicus).
2. Павлиш В.А. Маніпуляція оптичним сигналом у фотоннокристалічних волокнах / В.А. Павлиш, Д.В. Невінський, Л.І. Закалик, С.Ю. Лебідь // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24 (10). – С. 107-110.

**SECTION 7. Information Systems and Technologies.
Automated Control Systems. Robotics.**

**СЕКЦІЯ 7. Інформаційні системи та технології.
Автоматизовані системи керування. Робототехніка.**

K. Menkov, student
M. Sidorova, PhD, assoc. prof.
klim.menkov@ukr.net
Oles Honchar Dnipro National University

PROJECTPALNNER: WEB APPLICATION TOOL FOR PROJECT TASK MANAGEMENT

In today's world of high technologies and rapid changes, effective project management plays an important role. The lack of convenient tools can become an obstacle on the way to achieving goals, causing a loss of time and money. In view of this, there is a need to develop tools to simplify the processes of planning, monitoring and managing tasks in projects. In the context of this need, it was decided to develop a web application for managing tasks in projects, which would provide a convenient interface for users and include modern approaches and development technologies. This application should simplify the project management process, ensure the efficient allocation of resources and time, and also increase the overall productivity of the entire team.

After conducting a comparative analysis of existing task management systems such as Asana, Jira, and Trello, it became evident that the design's simplicity, its accessibility to users of varying expertise, and its versatility in application were critical elements. These elements were central to the development of this web application. Taking into account the advantages and disadvantages of each tool, a sophisticated solution was designed to facilitate effective task management across diverse project types and team structures. This web application features a user-friendly and intuitive interface that simplifies the interaction process, allowing users to effectively manage tasks without requiring extensive knowledge in project management.

When developing the application, Java 17 was chosen as the core programming language due to its robustness and efficiency in handling large-scale applications. To complement this, a suite of Spring frameworks were integrated, including Spring Boot 3.2.0 [1], Spring Security 6, Spring MVC [2], and Spring Data JPA [3]. Each framework serves a distinct purpose: Spring Boot simplifies the bootstrapping and development of new

Spring applications, Spring MVC facilitates the creation of dynamic web pages, and Spring Data JPA allows for easy database interaction using Java Persistence API. Additionally, Flyway was utilized for version control of the database, ensuring smooth migrations and database schema updates, while Lombok reduces boilerplate code significantly, enhancing code readability and maintainability. Furthermore, the Thymeleaf template engine was implemented to process HTML files on the server-side, enabling dynamic web content creation. The application also leverages the MySQL Database Management System, renowned for its reliability and widespread use, which provides a solid foundation for handling complex data requirements. A comprehensive user authorization and registration system is a key feature of this application, equipped with full data validation to ensure security and data integrity. This system is crucial for maintaining user data safety and preventing unauthorized access.

The most important procedures that the user will perform on an ongoing basis while using the service are: viewing tasks on the board and adding new ones. Each task in the system can be created with a detailed description of its parameters: name, detailed description, status, priority, deadline, the project to which the task belongs, and the person responsible for its execution. This allows users to clearly monitor priorities and deadlines.

Due to the use of Spring Security 6, the application has administrator and user roles [4]. The system allows administrators to have more control over processes that include viewing, editing, and adding new information. Default users, in turn, have access to create, edit, and view their own tasks. Furthermore, administrators can manage user roles and permissions, ensuring that each user has appropriate access rights based on their responsibilities and job requirements. This hierarchical control is crucial for maintaining the integrity and security of the data within the application.

The primary goal of the application is to optimize workflow processes and ensure efficient resource allocation across teams, making it an invaluable tool for project management. Particular emphasis has been placed on developing a user-friendly interface that offers intuitive navigation and easy access to all necessary features. This includes a robust authorization

system that ensures data security and user privacy, as well as the capability for users to provide detailed descriptions of tasks, thereby enhancing clarity and accountability within teams. The development of this application was preceded by a comprehensive analysis of market demands and the latest trends in software development. This research helped in understanding the specific needs and preferences of potential users, allowing for the design of a product that not only meets but exceeds user expectations in functionality and ease of use. By integrating advanced technological solutions and following best practices in user interface design, the application addresses the growing demand for sophisticated yet user-friendly project management tools. This ensures its relevance and desirability in a competitive market, where businesses and individuals alike seek efficient methods to manage their projects effectively.

References

1. Building an Application with Spring Boot. *Spring.io*. URL: <https://spring.io/guides/gs/spring-boot>
2. Introduction to Spring Web MVC framework. *Spring.io*. URL: <https://docs.spring.io/spring-framework/docs/3.2.x/spring-framework-reference/html/mvc.html>
3. Accessing Data with JPA. *Spring.io*. URL: <https://spring.io/guides/gs/accessing-data-jpa>
4. Spring Security Architecture. *Spring.io*. URL: <https://docs.spring.io/spring-security/reference/servlet/architecture.html>

Теслюк В.М., д-р. техн. наук., проф.
Цмоць І.Г., д-р. техн. наук., проф.
Різник О.Я., канд. техн. наук, доц.
vasyl.m.teslyuk@lpnu.ua
ivan.h.tsmots@lpnu.ua
oleh.y.riznyk@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТА СКРИТНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БАРКЕРОПОДІБНИХ КОДІВ

Дослідження базується на теорії поля Галуа, теорії кодування та теорії ймовірностей. Наукова новизна проведеного дослідження полягає в наступному:

- розроблено метод спрощеного синтезу стійкої до помилок багато-позиційної завадостійкої кодової баркероподібної послідовності на основі ідеальних кільцевих в'язанок;
- створено ефективний алгоритм кодування та декодування даних.

Ідеальна кільцева в'язанка (ІКВ) – це послідовність $K_N = (k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_N)$ чисел, на якій усі можливі кругові суми вичерпують значення натуральних чисел $1, 2, \dots, S_N = N(N-1)/R + 1$. Загальна кількість кільцевих сум ваг розрядів кодової послідовності на ІКВ, які мають різні значення: $S_N = N(N-1)/R + 1$.

Для кожної числової комбінації кодової баркероподібної послідовності існує набір пакетів одиниць і нулів, побудованих відповідно до вагових коефіцієнтів ІКВ за таким правилом: 1 – 1, 2 – 10, 3 – 100, 4 – 1000, і так далі.

Мінімальна кодова відстань для будь-якої кодової послідовності на основі ІКВ визначається як таке співвідношення між порядком і кратністю ІКВ: $d_{min} = 2(N - R)$.

Щоб збільшити потужність кодової послідовності на основі ІКВ, ми створюємо дзеркальну зважену кодову послідовність ІКВ, у якій під час кодування міняємо місцями одиниці та нулі. Потужність основної та дзеркальної кодових послідовностей на основі ІКВ: $P = 2S_N^R$.

Кількість помилок, які можна виявити t_1 , використовуючи кодову послідовність на основі ІКВ, визначається мінімальною кодовою відстанню d_{min} : $t_1 \leq d_{min} - 1$. Кількість помилок, які можна виправити t_2 за допомогою кодової послідовності на основі ІКВ, визначається кількістю помилок, які може виявити t_1 : $t_2 \leq (t_1 - 1)/2$.

Для кодування та декодування даних з використанням баркероподібних кодів розроблено метод, який забезпечує адаптацію довжини баркероподібного коду до величини завад. Кодування та декодування відповідно до пропонованого методу передбачає виконання наступних кроків:

1. Вибір довжини m баркероподібного коду для кодування даних.
2. Виконання порозрядного кодування зашифрованого числа починається із старшого розряду наступним чином: i -й розряд зашифрованого числа рівний лог.0 – передається баркероподібний код; i -й розряд зашифрованого числа рівний лог.1 – передається інверсне значення баркероподібного коду.
3. Передача закодованого i -о розряду m розрядним баркероподібним кодом.
4. Установлення вибраного баркероподібного коду розрядністю m для декодування даних.
5. Приймання i -о розряду закодованого m розрядним баркероподібним кодом.
6. Виконання логічної операції Виключне АБО над установленим m розрядним баркероподібним кодом і прийнятим m розрядним значенням i -о закодованого розряду.
7. Формування результатів виконання логічної операції Виключне АБО: лог.0 (значення на входах однакові), лог.1 (значення на входах різні).

8. Підсумовування m результатів виконання логічної операції Виключне АБО і отримання суми $СМ_{ВикАБО}$.
9. Порівняння отриманої суми $СМ$ із значенням $(m+1)/2$ та формування декодованого i_d -о розряду за наступною формулою:

$$i_d = \begin{cases} 0, & \text{коли } СМ_{ВикАБО} < (m+1) / 2 \\ 1, & \text{коли } СМ_{ВикАБО} \geq (m+1) / 2 \end{cases}.$$

10. Визначення кількості розрядів $q_{пом}$ з помилками за наступною формулою:

$$q_{пом} = \begin{cases} m - СМ_{ВикАБО}, & \text{коли } i_d = 1 \\ СМ_{ВикАБО}, & \text{коли } i_d = 0 \end{cases}.$$

11. Аналіз $q_{пом}$ та прийняття рішення про зменшення чи збільшення довжини баркероподібного коду.

Використання розробленого методу забезпечує високу завадостійкість та зменшує час передачі даних.

Баркероподібні кодові послідовності, синтезовані на основі ІКВ, дозволяють виявляти до $N-1$ або виправляти до $N/2-1$ помилок для парних і виявляти до N або виправляти до $(N-1)/2$ помилок для непарних значень N , за умови, що потужність коду послідовностей на основі ІКВ подвоюється завдяки додатковому використанню дзеркальної кодової послідовності на основі ІКВ.

Був створення алгоритм завадостійкого кодування потоків числових даних на основі баркероподібних кодів і подальша реалізація програмного забезпечення на одній з мов високого рівня. Під час їх передачі практично неможливий несанкціонований доступ до інформації. На основі математичної моделі ідеальної кільцевої в'язанки будується завадостійкий баркероподібний код з корекцією помилок, що дозволяє знаходити до 50% помилок і виправляти 25% помилок від довжини кодової послідовності.

Дослідження різних типів багатопозиційних кодів показує переваги синтезованих на основі ІКВ, які дозволяють досягти більшої крипто-

графічної міцності та стійкості до перешкод під час перетворення інформації порівняно з класичними багатопозиційними кодовими послідовностями.

Дирів А. І., аспірант
Лозинська О. В., канд. техн. наук, доц.
andrii.i.dyryv@lpnu.ua
olha.v.lozynska@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ПЛАГІАТУ ФОРМУЛ В НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЯХ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПОРІВНЯННЯ НА ОСНОВІ СХОЖОСТІ ЗМІННИХ

Анотація. У сучасному академічному контексті, де математичні формули широко використовуються, виявлення плагіату в наукових публікаціях стає критично важливою задачею. І хоча існують системи виявлення плагіату, які ефективно розпізнають копіювання та поверхневі зміни в тексті, вони недостатньо ефективні у виявленні прихованого плагіату, особливо в математичних формулах, де основний акцент припадає на подібності змінних.

Наша робота пропонує аналіз проблеми плагіату у формулах, зокрема шляхом порівняння змінних у них. Ми досліджуємо різні підходи та методи аналізу плагіату.

Отримані результати нашого дослідження відкривають нові перспективи для подальшого розвитку систем виявлення плагіату в академічному середовищі. Їх можна використовувати для покращення якості та надійності наукових публікацій, а також для збільшення довіри до наукової спільноти загалом.

Ключові слова: антиплагіат, формульний аналіз, алгоритм

Вступна частина. Формули є ключовим елементом наукових досліджень, особливо в областях, де використання математичних концепцій і виразів є стандартом, таких як фізика, математика, інженерія та комп'ютерні науки. Внаслідок цього крадіжка формул може серйозно пошкодити довіру до авторів і наукового процесу. Враховуючи ці аспекти, метою цього дослідження є аналіз наукових публікацій, в яких вже є напрацювання щодо ефективного виявляти плагіату в наукових формулах. Це дасть можливість підвищити якість наукових публікацій і сприятиме відновленню довіри до авторів і джерел інформації.

Поняття плагіату в наукових публікаціях охоплює неправомірне використання чужих ідей, тексту, даних або результатів досліджень без належного посилання на джерело. У науковому середовищі це розглядається як серйозне порушення етики та академічних норм. Плагіат порушує авторські права, що охороняють інтелектуальну власність авторів. Це не лише етичне, але й юридичне правопорушення.

Публікації є основним засобом поширення нових знань та ідей. Плагіат підриває довіру до наукових результатів і авторитету науковців, що може призвести до загального зниження довіри в науковому середовищі. Він також загрожує якості наукових досліджень, оскільки може призвести до розповсюдження неправдивої або недостовірної інформації, що може сповільнити розвиток науки та прогрес у різних галузях знань.

Забезпечення рівних умов конкуренції, таких як чесність і прозорість у представленні результатів досліджень, є важливим для забезпечення рівних можливостей для вчених та наукових установ. Плагіат створює нерівні умови та заважає об'єктивному оцінюванню наукових досягнень.

Для даної роботи було реалізовано простий алгоритм порівняння схожості змінних, для того щоб краще увійти у дану тематику, звісно

він має багато недоліків, але як початкова точка для нарощування системи це дуже хороший початок.

Аналіз актуальних публікацій. Для того щоб глибше зрозуміти проблематику питання було досліджено різні актуальні роботи з цієї тематики.

У публікації [1] розглядається актуальна проблема плагіату, особливо в контексті математичних наук, де традиційні системи виявлення плагіату часто не справляються через унікальні виклики, які виникають через формальну математичну нотацію. Автори роблять два важливих внески. По-перше, вони створюють таксономію повторного використання математичного контенту, анотуючи значну кількість пар наукових документів, підозрюваних у плагіаті. По-друге, вони аналізують ефективність різних підходів до виявлення плагіату та схожості математичного контенту на основі цієї нової таксономії.

У науковій роботі [2] розглянуто нагальну потребу в ідентифікації академічного плагіату, який є значною проблемою для освітніх установ, видавців та фінансових організацій. Хоча сучасні системи виявлення плагіату ефективні у виявленні копійованого та незначно перефразованого тексту, вони часто стикаються з труднощами у виявленні прихованого плагіату, такого як сильні перефразування, переклади та використання нетекстового контенту та ідей.

Авторами наукової роботи [3] вперше обговорюються проблеми оцінки індексу подібності математичних та інших наукових публікацій, що містять рівняння та формули. Наявність рівнянь та формул значно ускладнює аналіз таких текстів.

У статті [4] досліджено складність аналізу та розпізнавання математичних формул, що містяться в текстових документах, яка полягає в тому, що для виявлення часткових дублікатів необхідно не лише аналізувати графічне зображення, застосовуючи фільтрацію, виділення контурів і специфічні методи порівняння, але й текстову інтерпретацію формули, щоб мати змогу ідентифікувати частковий дублікат, якщо у формулі було змінено позначення літер, символи математичних

операцій, форми дужок тощо. Тому для виявлення часткових дублікатів математичних формул пропонується гібридний підхід, що передбачає використання шаблонів, створених відповідно до особливостей графічних редакторів, та спеціальних конверторів формул з різних форматів до канонічного формату.

Висновки. У нашому дослідженні ми зосередилися на виявленні плагіату у наукових публікаціях через аналіз схожості змінних у математичних формулах. У цій роботі ми зробили кілька ключових висновків, які мають велике значення для наукової спільноти.

По-перше, ми показали, що аналіз схожості змінних у математичних формулах є ефективним методом для виявлення плагіату в деяких ситуаціях.

По-друге, наші результати підтверджують важливість уваги до математичних аспектів при аналізі наукових публікацій. Виявлення плагіату у формулах може виявитися критичним для забезпечення інтелектуальної чесності та високої якості наукових досліджень.

У цілому, проведений аналіз демонструє важливість розвитку методів виявлення плагіату в математичних формулах для забезпечення чесності та якості наукових досліджень.

Список використаних джерел

1. Ankit Satpute, André Greiner-Petter, Noah Gießing, Isabel Beckenbach, Moritz Schubotz, Olaf Teschke, Akiko Aizawa & Bela Gipp. Taxonomy of Mathematical Plagiarism (2024). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-56066-8_2
2. Norman Meuschke; Vincent Stange; Moritz Schubotz; Michael Kramer; Bela Gipp. Improving Academic Plagiarism Detection for STEM Documents by Analyzing Mathematical Content and Citations (2017). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8791126/metrics#metrics>
3. Andrei D. Polyanin & Inna K. Shingareva. The Similarity Index of Scientific Publications with Mathematical Equations and Formulas (2022). <https://link.springer.com/article/10.1007/s12109-022-09869-2#Abs1>

4. Petro Lizunov, Andrii Biloschchytskyi, Larysa Chala, Svitlana Biloschchytska, Oleksandr Kuchanskyi, Sergii Udovenko. Hybrid approach to the analysis and recognition of mathematical formulas for detecting similarities (2017). <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/19203>

Линник Р.О., аспірант
Андрунік В.А., канд. техн. наук, доц.
roman.o.lynnnyk@lpnu.ua
vasyl.a.andrunyk@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМАТИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ГРОМАДСЬКОЇ ДУМКИ НА КОНФЛІКТНІ СИТУАЦІЇ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація: У даній роботі розглядається аналіз громадської думки в соціальних мережах, зокрема у контексті конфліктних ситуацій, використовуючи дані з Reddit та сучасні методи машинного навчання. Соціальні мережі стали важливим інструментом для вираження громадської думки, але також створюють виклики через обробку великих обсягів неструктурованих даних. Представлені методики дослідження включають збір та обробку даних, аналіз настрою та ваги голосів коментарів. Результати показують переважно негативне або нейтральне ставлення користувачів до конфлікту, що має значення для маркетингових стратегій, управління репутацією та прийняття рішень.

Ключові слова: громадська думка, соціальні мережі, аналіз настрою, машинне навчання, Reddit, обробка природної мови, дані, ваги голосів.

Вступна частина

У сучасному світі, де інформаційні потоки постійно зростають, аналіз громадської думки набуває особливої важливості. Щодня користувачі

соціальних мереж висловлюють свої думки з різноманітних питань: від глобальних подій до внутрішньополітичних процесів. Соціальні мережі стали потужним інструментом для вираження та формування громадської думки, надаючи можливість миттєво реагувати на події та обмінюватися думками з широкою аудиторією. Водночас ці платформи створюють нові виклики для дослідників, пов'язані з обробкою величезних обсягів неструктурованих даних та верифікацією їхньої достовірності.

Дослідження проблематики визначення громадської думки щодо конфліктних ситуацій є важливим для розуміння суспільних настроїв та їхнього впливу на міжнародні відносини. Аналіз громадської думки в соціальних мережах, таких як Reddit, дозволяє збирати цінну інформацію про погляди, настрої та реакції користувачів на різні події.

Таким чином, ця робота спрямована на дослідження методів аналізу громадської думки в соціальних мережах з використанням сучасних технологій машинного навчання та обробки природної мови. Аналіз громадської думки щодо конфліктних ситуацій на прикладі даних з Reddit дозволяє отримати цінні дані щодо емоційного ставлення користувачів до цієї теми, а також виявити загальні тренди та зміни в суспільних настроях.

Аналіз актуальних публікацій

Проведемо спершу аналіз дослідження Лінг Шена та Мінхонга Сю, представлене у статті «Управління громадською думкою студентів на кампусі на основі глибокого навчання», зосереджується на аналізі студентської думки та кризовому управлінні громадською думкою в коледжах і університетах. Вони пропонують модель LSTM для виявлення емоційних тенденцій у коротких текстових коментарях, використовуючи CNN для локальних особливостей тексту та LSTM для збереження історії тексту. Це дозволяє ефективно аналізувати громадську думку, що є особливо корисним для мультикампусних установ. Поліпшена модель порівнюється з традиційними методами за допомогою таких показників, як точність, відгук, втрата і значення F1 [1].

Дослідження Баоджуна Ма та співавторів у другій статті пропонує методику, що використовує ймовірнісне тематичне моделювання та глибоке навчання для аналізу громадської думки у соціальних медіа. Методика включає збір даних, попередню обробку, визначення тем за допомогою Latent Dirichlet Allocation (LDA), аналіз емоційної інтенсивності за допомогою word2vec, та часовий аналіз. Це дозволяє не тільки розпізнати загальний емоційний тон висловлювань, але й відстежувати зміни в емоціях та громадських настроях [2].

Обидві методики демонструють ефективність у глибокому розумінні структури та динаміки громадської думки, що є цінним для розробки стратегій в сфері соціального управління та комунікацій.

Методи та результати дослідження

Методи дослідження включають збір коментарів та постів, що стосуються конфліктних ситуацій з Reddit, попередню обробку даних, включаючи видалення шуму та зайвої інформації, нормалізацію тексту. Для аналізу настрою використовується аналізатор SentimentIntensityAnalyzer з бібліотеки NLTK для визначення емоційного забарвлення коментарів з подальшою нормалізацією результатів до діапазону [0, 1]. Далі проводиться розрахунок ваги голосів на основі лайків та дизлайків під коментарями та обчислення середнього нормалізованого настрою для кожного поста на основі згрупованої інформації. Враховується також карма користувачів для оцінки ваги їхніх коментарів. Дані групуються за ідентифікатором поста та датою створення коментаря для аналізу динаміки громадської думки. Результати візуалізуються у вигляді графіків для демонстрації зміни настрою щодо конфліктних ситуацій на певному періоді часу.

Було побудовано діаграму, де показано середнє нормалізоване значення настрою на основі агрегованих даних кожного коментаря, прив'язаних до конкретного посту. Кожен пост позначений окремим кольором і має унікальний ідентифікатор, що дозволяє простежити часовий ряд та зміни в загальних настроях щодо конфліктних ситуацій.

У цій роботі розглянемо конкретний випадок. З отриманих даних можна зробити висновок, що більшість людей або не підтримують цей конфлікт, або ставляться до нього нейтрально.

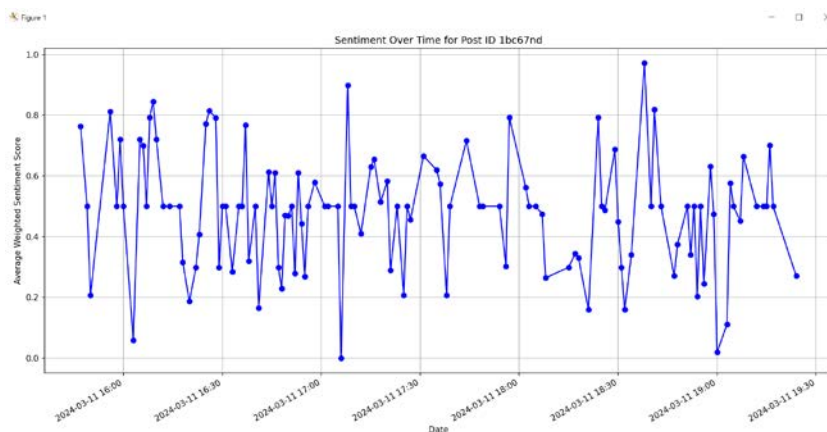


Рис. 1. Сентимент значення на певному проміжку часу для конкретного посту

Висновки

Результати дослідження показали, що методи аналізу сентименту та ваги голосів можуть бути корисними для маркетингових стратегій, управління репутацією та прийняття рішень у різних сферах діяльності. Виявлено загальні настрої аудиторії та їх реакції на події, пов'язані з конфліктними ситуаціями. Аналіз показав, що більшість користувачів висловлюють негативні або нейтральні думки щодо конфлікту, хоча є й ті, хто підтримує одну зі сторін.

Список використаних джерел

1. Ling Shen, Minghong Xu, "Student Public Opinion Management in Campus Commentary Based on Deep Learning", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2022, Article ID 2130391, 12 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2130391>

2. Baojun Ma, Hua Yuan, Yan Wan, Yu Qian, Nan Zhang " PUBLIC OPINION ANALYSIS BASED ON PROBABILISTIC TOPIC MODELING AND DEEP LEARNING", PACIS 2016 PROCEEDINGS.
<http://www.pacis2016.org/>

V. Yakovyna, Dr. of Tech. Sc., Prof.

O. Khil, Assistant

vitaliy.s.yakovyna@lpnu.ua

oleksandr.s.khil@lpnu.ua

Lviv Polytechnic National University

CHALLENGES OF USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR EVALUATING AND PREDICTING SOFTWARE DEFECTS

Introduction

In critical software systems, significant effort is required to manage defects. Machine learning models can automate the prediction of defect criticality by utilizing documented defect reports. There are three main methods of defect prediction: Within-Project Defect Prediction (WPDP) [1], Cross-Project Defect Prediction (CPDP) [2], and Heterogeneous Cross Project Defect Prediction (HCPDP) [3], which facilitate early detection and management of defects.

Software defect prediction optimizes testing by predicting potential problems in components. The methodology involves training a classifier on the features of software components to assess their likelihood of defectiveness. In the absence of defect data, CPDP uses data from other projects to make predictions, allowing developers to efficiently identify and prioritize testing. This approach is particularly useful for new projects without historical data. However, it has limitations related to lack of specific knowledge about the target project and class imbalance.

Content

Dataset selection is critical for software defect prediction research because it directly impacts the predictive accuracy and reliability of the models. Researchers ensure consistency by utilizing a variety of data sources. Recent experiments frequently utilize open data sources, including the PROMISE database [4] and other well-known datasets such as NASA MDP [5], AEEEM [6], NetGene, SeaCraft, MORPH, ReLink [7], SOFTLAB [8], and JURECZKO [9], to improve the accuracy of defect prediction.

In general, the machine learning-based software defect prediction approach [10] can be broken down into the following steps(Fig. 1.):

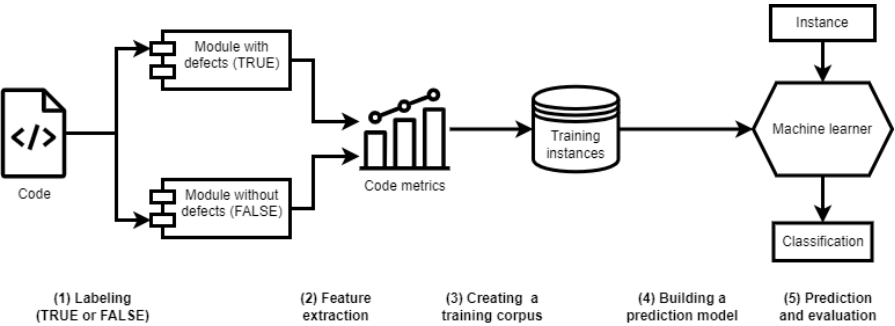


Fig. 1. General defect prediction process

Forecasting software defects is typically defined as a binary classification task that distinguishes between defective and defect-free components. The classification stage, serving as the final step in the forecasting model, has seen significant improvements over the years. Classifiers such as logistic regression (LR), Naive Bayes (NB), and random forest (RF) are commonly used in research. While the importance of the classifier in the model is well-recognized, not all research prioritizes its optimization to enhance prediction accuracy.

To evaluate the effectiveness of software defect prediction models, researchers commonly use indicators such as precision, recall, accuracy,

ROC-AUC, F-Measure, among others. The most commonly used are recall, ROC-AUC, and F-measure. However, it is often the case that research does not provide justification for the selection of these particular metrics for evaluation.

Conclusions

Software quality necessitates the timely delivery of a product free from functional defects that fulfills user requirements. Effective prediction and early identification of errors, through methods such as static code analysis and test-driven development, are key to developing reliable systems. Decades of research have advanced this field, and this work analyzes technological and methodological approaches while identifying gaps that necessitate further research to enhance the accuracy of CPDP models.

Proposals

1. A comprehensive description of machine learning methods used for detecting defects, based on software metrics.
2. A universal scheme for defect prediction that enables the classification of software modules.
3. An overview of the most frequently used criteria for assessing the accuracy of predictive models.

References

1. Bhat, N.A., Farooq, S.U. An empirical evaluation of defect prediction approaches in within-project and cross-project context. *Software Qual J* 31, 917–946 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11219-023-09615-7>
2. Jing, XY., Chen, H., Xu, B. (2023). Cross-Project Defect Prediction. In: *Intelligent Software Defect Prediction*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2842-2_4
3. Wu, J., Wu, Y., Niu, N. et al. MHCPDP: multi-source heterogeneous cross-project defect prediction via multi-source transfer learning and autoencoder. *Software Qual J* 29, 405–430 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11219-021-09553-2>
4. Lima, M., Valle, V., Costa, E., Lira, F., & Gadelha, B. (2019). Software engineering repositories: expanding the promise database. In

- Proceedings of the XXXIII Brazilian Symposium on Software Engineering (pp. 427-436). <https://doi.org/10.1145/3350768.3350776>
5. Siddiqui, T., Mustaqeem, M. Performance evaluation of software defect prediction with NASA dataset using machine learning techniques. *Int. j. inf. tecnol.* 15, 4131–4139 (2023). <https://doi.org/10.1007/s41870-023-01528-9>
 6. Malhotra, R., Chawla, S. & Sharma, A. Software defect prediction using hybrid techniques: a systematic literature review. *Soft Comput* 27, 8255–8288 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07738-w>
 7. Niu, L., Wan, J., Wang, H. et al. Cost-sensitive Dictionary Learning for Software Defect Prediction. *Neural Process Lett* 52, 2415–2449 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11063-020-10355-z>
 8. Omondiagbe, Osayande Pascal (2022). Dataset For Software Defect Predictions. [figshare. Dataset. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19516858.v1](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19516858.v1)
 9. Esteves, G., Figueiredo, E., Veloso, A. et al. Understanding machine learning software defect predictions. *Autom Softw Eng* 27, 369–392 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10515-020-00277-4>
 10. Khalid A, Badshah G, Ayub N, Shiraz M, Ghouse M. Software Defect Prediction Analysis Using Machine Learning Techniques. *Sustainability*. 2023; 15(6):5517. <https://doi.org/10.3390/su15065517>

ВИРІШЕННЯ ЗВОРОТНИХ ЗАДАЧ ТОМОГРАФІЇ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРІ МОЖЛИВИХ РІШЕНЬ

Вступ

Задачі томографії належать до класу обернених некоректних задач. Загальноприйнятий метод їх розв'язання засновано на мінімізації відхилення розв'язку прямої задачі $\tilde{A}z$ (де z – шукані параметри) від отриманих результатів вимірювання $M^\alpha[z, u_\delta]$, де u_δ – так звані «розбіжності». У формулі

$$M^\alpha[z, u_\delta] = \rho_u^2(\tilde{A}z, u_\delta) + \alpha\Omega[z] \quad (1)$$

перший член можна інтерпретувати як стандартне (квадратичне) відхилення результатів вимірювань від «справжніх» значень, а другий – стабілізуючий функціонал, що «враховує» апіорну інформацію про шукані параметри та розподіл шумів вимірювання.

У випадку наявності інформації про амплітуду вимірюваної величини $z(s)$ та її плавності dz/ds , стабілізуючий функціонал має вигляд:

$$\Omega[z] = \int_a^b \left\{ q(s)z^2 + p(s) \left(\frac{dz}{ds} \right)^2 \right\} ds \quad (2)$$

Цей метод може бути узагальнено для будь якої апіорної інформації, та навіть на випадок її відсутності за рахунок використання методу мінімізації алгоритмічної складності рішення [1]. Тобто, найбільш прийнятним рішенням зворотної задачі (зокрема, задачі томографії) є таке, що може бути описано найкоротше (чим більше та чи інша закономірність дозволяє спростити опис отриманих результатів, тим більша її правдоподібність).

При цьому складність опису можливих (не заданих апіорно) закономірностей типу (2) також враховується, як складова, що виключає «підгонку» рішення до одержаних результатів вимірювань. Але мно-

жина можливих рішень є нескінченною, що не дозволяє використати метод «перебору» для визначення найправдоподібнішого.

Інформаційний аналог принципу найменшої дії

У фізиці аналогічною задачею є задача динаміки, у якій шукають траєкторію руху системи між її заданими початковим та кінцевим станами у фазовому просторі. Для її вирішення варіаційним методом мінімізується дія, вид якої визначається властивостями системи і зовнішніми силовими полями. В релятивістській механіці тіло, що вільно рухається, «обирає» ту траєкторію, для якої його власний «годинник» покаже максимальний час.

Результати вимірювань цього руху за допомогою «дзеркального годинника Ейнштейна» можна записати як бінарне «слово» – послідовність «0» та «1». Тоді класичну траєкторію руху можна сприймати, як набір закономірностей (та записати у «префікс»), а усю іншу інформацію (записану у «суфікс» стиснутого опису) – як випадкові відхилення від них.

Таким чином, довжина запису «префіксу» (набору усіх закономірностей, що було знайдено) повинна бути максимальною, щоб одержати найбільш правдоподібне рішення (найкоротший опис одержаних результатів). Це цілком відповідає принципу найменшої дії, якщо ототожнити складність запису «суфіксу» із часом, вимірним за супутнім дійсному руху «дзеркальним годинником» [2].

Використання інформаційно-фізичних аналогій для вирішення задачі томографії в інформаційному просторі

У фізиці при вирішенні задачі динаміки може виникати та сама проблема багатовимірності фазового простору станів. Вона має просте рішення тільки за наявності симетрій у записі функціоналу дії. Саме ці симетрії (перш за все однорідність та ізотропність фазового простору) дозволяють одержати простий аналітичний вираз функціоналу та записати закони динаміки (та електродинаміки) в аналітичній диференційній формі.

Такий саме підхід може бути застосовано і для вирішення задач томографії в інформаційному просторі можливих рішень (аналогів траєкторій). Але, на відміну від фізики, симетрія апіорно заданих

властивостей об'єкту контролю не є очевидною. Тому кожен окремий випадок потребує окремого розгляду [3].

Тим не менш, можна застосувати чисельний аналог варіаційного принципу. А саме – метод градієнтного спуску для пошуку найбільш короткого опису наявної вимірювальної інформації. Для його використання не потрібно мати аналітичний вираз функціоналу дії (або складності) по усьому фазовому простору. Замість цього достатньо розраховувати його варіацію при малих змінах множини незалежних параметрів стану окремо. Саме таким чином у класичній механіці можуть бути одержані рівняння Гамільтона для опису динаміки системи із будь якою кількістю узагальнених координат.

Приклад застосування методу градієнтного спуску вирішення задачі томографії в інформаційному просторі можливих рішень

На рисунку 1 наведено результати комп'ютерного моделювання процедури СКВІД-томографії. Її сутність полягає в точному (до 1 кванта) вимірюванні магнітного потоку у СКВІД-і (надпровідне кільце із контактом Джозефсона у його розрізі). У чисельному експерименті було змодельовано сигнал, виміряний при поперечному скануванні плати із декількома стрічковими підповерхневими струмами (чорна лінія). На нього було накладено Гаусовий шум (червона лінія) із амплітудою, рівною амплітуді корисного сигналу.

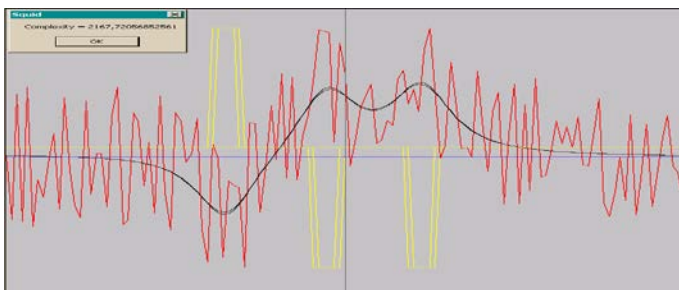


Рис. 1. Результати комп'ютерного моделювання роботи СКВІД-мікроскопа та результати реконструкції розподілу струму в досліджуваному зразку

У якості незалежних параметрів простору можливих рішень (ПМР) було обрано кількість струмових стрічок n , їхні координати k_i , ширину

d_i , та густину струму J_i кожної з них. Кожен з цих параметрів почергово варіювався таким чином, щоб одержати мінімальну (у бітах) складність опису змодельованого та зашумленого сигналу. При цьому крок варіювання параметрів (n , k_i , d_i) дорівнює 1, а для J_i підбирався за тим самим критерієм мінімізації загальної складності.

Наведемо початкові та кінцеві показники роботи алгоритму пошуку локального мінімуму складності. Так, складність опису необробленого результату моделювання (128 точок сканування, зображених червоною лінією) із заданою точністю дорівнює 2225 біт.

Складність опису тих самих результатів, але з урахуванням апіорно заданого точного розподілу струмів (закладеного при моделюванні), виявилася рівною 2159 біт. З них менша частина («префікс») інформації описує цей розподіл, а більш велика решта («суфікс») – адитивний шум (відхилення точок червоної лінії від відповідних точок чорної лінії).

В результаті застосування описаного вище алгоритму пошуку найкоротшого шляху в просторі інформаційних станів вдалося знайти розподіл, який знижує складність опису результатів до 2167 біт. Таким чином, спрощений алгоритм пошуку найпростішого опису результатів вимірювань дав змогу ідентифікувати 58 із 66 біт інформації про поточні параметри розподілу. В результаті значення струму в поточних доріжках та їх розташування були визначені точно (жовта лінія), а ширина доріжок була визначена з похибкою в 1 крок дискретного набору значення (двійкова жовта лінія на рисунку 1).

Висновки

Таким чином, метод мінімізації складності вимірювальної інформації узагальнює класичні методи вирішення зворотних некоректних задач. Він є аналогом методу найменшої дії при вирішенні задач динаміки у релятивістській механіці. У найпростішому випадку «гладкого» та без особливостей інформаційного простору рішень варіаційну задачу можна вирішувати методом градієнтного спуску. Попередні результати апробації цього алгоритму довели його високу інформативність та чутливість. Зокрема, розрізнявальна здатність СКВІД-мікроскопу була збільшена у 5 разів. Інформаційно-фізичні аналогії двох розглянутих варіаційних задач дозволяють сподіватись на подальше

удосконалення цього методу. Зокрема, перспективним здається використання інформаційного аналогу маси матеріальної точки, що дозволяє більш точно розраховувати її дійсну траєкторію в механіці. Та, напевне, дозволить знайти більш правдоподібне рішення (аналог траєкторії) в інформаційному просторі можливих рішень.

Посилання

1. Мельник С. І. Невизначеність і точність вимірювань як параметри оптимального опису їх результатів // Системи обробки інформації. 2010. 4(76). – С. 56-62.
2. Мельник С. І., Тулузов І. Г. Можливість побудови релятивістського простору інформаційних станів на основі теорії складності та аналогій з фізичним простором-часом // arXiv:1703.08069. – 2017.
3. Мельник С.І., Тулузов І.Г., «Рішення задач динаміки в інформаційному просторі станів на основі принципу мінімізації складності», Український метрологічний журнал, №3(2016): Доповіді X МНТЦ «Метрологія-2016», 15-18.

Гарасимчук О.І., асп. кафедри ICM
oleh.ih.harasymchuk@lpnu.ua
НУ «Львівська Політехніка»

ТЕСТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

На сьогоднішній день більшість сфер життя та процесів, пов'язаних з ними, функціонує онлайн. Через це дуже велика кількість користувачів і компаній мають потребу у системах, які можуть обробляти одночасно значні об'єми даних. Розподілені інформаційні системи з використанням мікросервісної архітектури – це один з варіантів вирішення цієї проблеми. Маючи ряд переваг над іншими архітектурами, такі як здатність витримувати високі навантаження, можливість горизонтального та вертикального масштабування, стійкість до збоїв, гнучкість у процесі і організації розробки, такі системи з іншого боку ставлять

перед командами розробки і багато викликів, таких як асинхронний протокол комунікації, взаємодія з даними, узгодженість між сервісами, взаємодія між процесами, коректне проектування бізнес логіки. Для того, аби мінімізувати ризики, необхідно організувати грамотне тестування системи, на різних її рівнях, включаючи як зусилля розробників, так і інженерів з підтримки якості.

Так як мікросервісна архітектура включає в себе велику кількість незалежних між собою модулів, це викликає певні складнощі з тестуванням. Поєднання архітектурного стилю мікросервісів та контейнерної інфраструктури вимагає стратегії тестування, сумісної з новими технологіями. Мікросервісна архітектура більш орієнтована на зовнішні залежності і менше на компоненти, що перебувають у процесі, тому стратегії тестування та тестові середовища повинні адаптуватися до цих змін.

Більше мережевого зв'язку (networking) призводить до більших зусиль, витрачених на тестування з'єднань та контрактів між вашими мікросервісами. Також існує кілька нових методів тестування для обробки залежних компонентів під час переміщення до контейнерної інфраструктури, що часто виникає при розробці мікросервісів.

Основними категоріями рішень для тестування мікросервісів є ті, які вже доступні в монолітних архітектурах, але також застосовні до мікросервісів, і ті, що розроблені спеціально для архітектур мікросервісів.

Методи, доступні в монолітних архітектурах, використовують тестові елементи, такі як заглушки, макети або віртуальні сервіси; підключення до реальних тестових примірників резервних або сторонніх систем і контрактне тестування. Методи, розроблені для архітектури мікросервісів – це тестові контейнери, такі як контейнери для випробування баз даних, тестові контейнери для віртуалізації сервісу та тестові контейнери сторонніх служб (наприклад, тестовий контейнер Kafka, тестовий контейнер PostgreSQL або тестовий контейнер для віртуальних пристроїв).

Придатність різних методів тестування може змінюватися з часом, оскільки петлі зворотного зв'язку в архітектурі мікросервісів є більш жорсткими, оскільки команди, як правило, розподілені та перехресно функціональні.

Існує кілька типів залежностей на компоненти, з якими ваш мікросервіс може спілкуватися в рамках тестового сценарію:

- Інший мікросервіс вашої розподіленої системи. Наприклад, під час тестування мікросервісу А ви підключаєте його до тестового мікросервісу Б і тестуєте їх разом.
- Стороння система. Наприклад, під час тестування мікросервісу А ви підключаєте його до реального екземпляра сторонньої системи.
- Залежність на застарілу версію системи. Наприклад, під час тестування мікросервісу А ви підключаєте його до тестового примірника монолітної системи.
- Непрограмна (апаратна) залежність. Наприклад, під час тестування мікросервісу А ви підключаєте його до апаратного пристрою, відповідального за виконання функції.

Відповідно до перерахованих вище залежностей, існують наступні підходи для покриття цих залежностей у тестовому середовищі:

- Макет (mock) замінює об'єкт, від якого мікросервіс залежить конкретним тестовим об'єктом, який перевіряє, що мікросервіс використовує його правильно.
- Заглушка (stub) замінює об'єкт, від якого залежить мікросервіс, специфічним для тесту об'єктом, який надає дані тесту до мікросервісу. Дані тесту можуть бути статичними або динамічними.
- Симулятор – це розумна версія заглушки, яка імітує частину поведінки системи, від якої залежить мікросервіс.
- Тестова база даних в пам'яті (in-memory), замість реальної.
- Тестовий контейнер, що покриває залежність на зовнішню систему. Наприклад, ви можете використовувати тестовий контейнер бази даних або тестовий контейнер для віртуалізації служби.

- «Legacy in box» підхід. Замість того, щоб покладатися на спільне тестове середовище, ви можете запустити застарілу систему в контейнері. Ви можете налаштувати його таким чином, що відповідає вашим потребам тестування.

Тестування контрактів є найважливішим елементом при тестуванні слабко зв'язаних систем, таких як мікросервіси. Контракт описує, як компоненти спілкуються та взаємодіють один з одним, формати повідомлень, які використовуються між компонентами, поведінкові очікування компонентів. Контрактне тестування застосовується, щоб переконатися, що контракти між компонентами виконуються, а отже компоненти можуть працювати разом.

Під час створення тестового контракту ваш тестовий параметр являє собою знімок (snapshot) контракту між компонентами в певний момент часу. Цей знімок може застаріти. Оновлення знімків у контракті дозволяє перезаписати (оновити) контракти між компонентами. Як правило, оновлення буде обслуговувати синтаксис і частково семантику контракту.

Тестування контрактів, орієнтоване на споживачів (consumer driven contract testing), є окремою стратегією тестування мікросервісів. Контракти, орієнтовані на споживачів, можна розділити на виробника (producer) та споживачів (consumer). Тестування контрактів, орієнтоване на споживачів, підтверджує, що виробник надає контракт, який відповідає усім очікуванням споживачів. Споживачі перевіряють, що виробники все ще надають структуру повідомлень та поведінку, яка їм потрібна.

Отже, розвиток інформаційних систем, зростання складності їх архітектур вимагає від розробників вибір актуальних методів тестування. Впровадження інноваційних підходів та стратегій тестування, а також влучне використання старих підходів є необхідною умовою функціонування та в довгостроковій перспективі розвитку таких систем.

A. Lomovatskyi, postgraduate
T. Basyuk, PhD, Assoc. prof
anton.a.lomovatskyi@lpnu.ua
Taras.M.Basyuk@lpnu.ua
Lviv Polytechnic National University

CLASSIFICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR DETERMINING THE EMOTIONAL COLORING OF UKRAINIAN LANGUAGE CONTENT

Introduction

The Ukrainian language is multifaceted and variable in the meaning of words (the same word can have different meanings depending on the context and emphasis). That is why the development of natural language processing systems that take into account the emotional coloring and peculiarities of the Ukrainian language is key to improving the quality and efficiency of Ukrainian-language content development [1].

Several key theses can be identified to define the areas of analysis of the state of research on the emotional coloring of content:

- The importance of understanding emotional coloring. Understanding this allows us to better choose the tone of the content, which will allow the reader to better understand the message.
- Emotional analytics in social media. Understanding this allows us to improve marketing strategies and reputation management systems.
- Psychological analysis of the text. Understanding this allows us to determine the contingent of different groups of people.

Emotional analysis of content is an extremely important component of the development of Internet technologies and modern communication systems.

Main research

Lexicon-based approaches – the direction of text analysis and emotional coloring is based on the use of a certain vocabulary or vocabularies that are associated with real emotions. These approaches

allow us to determine the polarity of a word or sentence. The algorithm of such approaches is quite simple [2]:

1. Creating or using an existing lexicon (dictionary) that contains an assessment of various emotionally colored words.
2. Counting emotional words in the text. In general, this is the number of positive, negative and neutral words.
3. Assigning weights to words. Because certain words can occur several times and have different strengths of emotional association. This step allows us to determine the final result even more accurately.
4. Summarize the scores of emotional words. This can be a simple count with the addition of different types of words, or more complex statistical methods using algorithms and weights.

Rule-based approaches, in the context of text analysis and emotion detection, are based on predefined rules or rules that are programmatically set to detect specific emotional features in a text. These approaches use a set of rules or templates to identify emotional expressions, phrases, or contexts [3]. TextBlob is a text processing library in the Python programming language that provides sentiment analysis and emotional coloration detection capabilities. While it is commonly used for sentiment analysis, it can also be extended to recognize emotional features in text.

Word embeddings are a word vectorization technique used in natural language processing (NLP). This technique allows representing words as vectors of numerical values that are used for further analysis of texts by machine algorithms. Word vectorization allows combining words by context and determine whether they belong to a particular phrase [4].

Word2Vec is a word embedding model developed by Google Research in 2013. This model is one of the first and most popular models for obtaining embedded word representations by vectors in low-dimensional space.

Machine learning methods, such as Supervised Learning, can be used to analyze texts emotionally. This approach means that the model is trained on labeled data, where each text has corresponding emotional labels (e.g., positive, negative, neutral). The models can use a variety of algorithms,

such as logistic regression, support vector machine (SVM), neural networks, or decision trees, to classify texts according to their emotional connotations. Once trained, the models can be used to classify new texts according to their emotional characteristics [5].

Logistic Regression is a machine learning method used to solve classification problems. Despite its name, logistic regression is used to predict the probability that an input sample belongs to a certain class. This method is one of the simplest and most effective classification algorithms.

After the analysis a diagram of existing methods for determining the emotional coloring of Ukrainian language content was designed (Fig. 1).

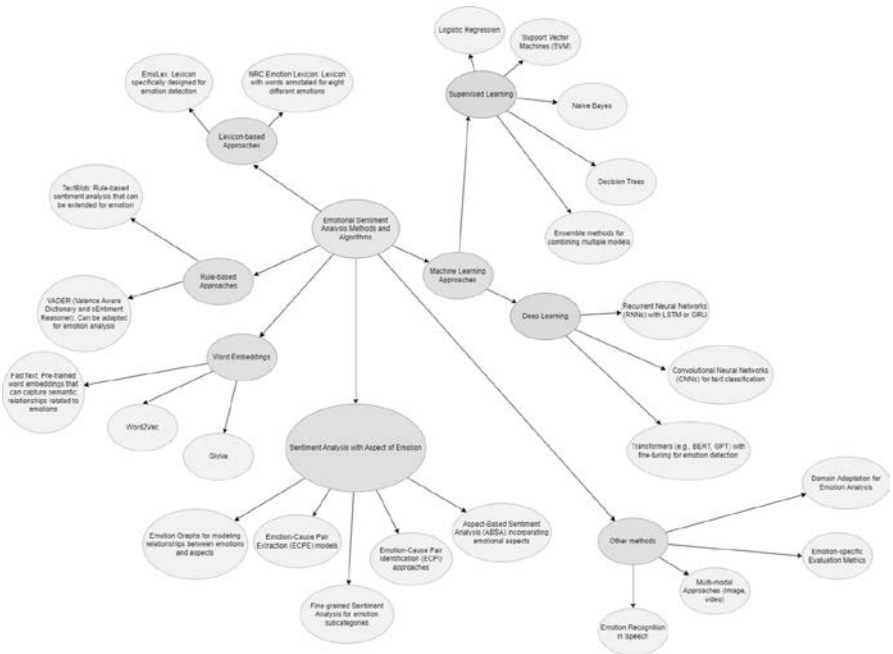


Fig. 1. Classification of methods for determining emotional coloring

Conclusions. After analyzing the existing machine learning methods for text analysis and emotional coloring, we can identify some of them that can

be partially used to analyze Ukrainian-language text content. First of all, we can use the NRC EmoLex dictionary, as it officially supports Ukrainian localization. We can also use VADER algorithms, but not directly, since this tool does not support the Ukrainian language.

It is important to use word vectorization methods to find the context and relationship of key pairs. To do this, we can use word2vec, namely the FastText tool, which has an official support file for training models in Ukrainian. After the models have been formed and trained, it is necessary to proceed to the step of predicting the further result based on training. For this purpose, we can use various machine learning methods, but the most accurate ones are logistic regression and support vector machine.

The diagram showing the existing methods for determining the emotional coloring was designed and it opens a lot of possibilities for future studies.

References

1. Basyuk, T., & Vasyliuk, A. (2023). Peculiarities of an Information System Development for Studying Ukrainian Language and Carrying out an Emotional and Content Analysis. CEUR Workshop Proceedings, 3396, 279-294.
2. Bessa, A. (2023, December 11). Lexicon-based sentiment analysis: What it is & how to conduct one. Knime. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.knime.com/blog/lexicon-based-sentiment-analysis>
3. (n.d.). A Guide on Word Embeddings in NLP. Turing. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.turing.com/kb/guide-on-word-embeddings-in-nlp>
4. (n.d.). What is Supervised Learning? Google Cloud. Retrieved February 28, 2024, from <https://cloud.google.com/discover/what-is-supervised-learning>
5. Kirti, A. (2023, April 17). Rule Based Approach in NLP. Geeksforgeeks. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.geeksforgeeks.org/rule-based-approach-in-nlp/>

Харченко А. І., ст. ф-т. КН
Кобилін І. О., канд. техн. наук
anna.kharchenko@nure.ua
ilya.kobylin@nure.ua
Харківський національний
університет радіоелектроніки

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ЧАСОВИМИ РЯДАМИ В РОБОТОТЕХНІЦІ

У робототехніці для оцінки продуктивності, стану робота та його поведінки необхідно опрацювати такі дані як температура, швидкість, положення та ін. Збирання цих даних ускладнюється такими проблемами як шуми, викиди, відсутні значення, сезонність та нестационарність. Тому важливо знати які є інструменти та техніки для покращення точності та корисності даних для робототехніки.

Часові ряди це інструмент для представлення даних як послідовність дійсних чисел, що були виміряні за певний часовий інтервал. Тобто, якщо кожні п'ять секунд датчики руху робота записували координати поточного місцезнаходження, то цей набір даних можна представити як часовий ряд та обробити його.

Обробка часового ряду дозволяє передбачити дані датчиків, що є корисним для розрахунку траєкторії робота. [1]

Математично часовий ряд можна представити так:

$$T = t_1, t_2, \dots, t_n, \quad (1)$$

де T – це послідовність дійсних чисел, n – довжина T .

При обробці часових рядів використовується поняття підпослідовності часового ряду, що математично представлено так:

$$T_{i,m} = t_i, t_{i+1}, \dots, t_{i+m-1}, \quad (2)$$

де $T_{i,m}$ – підпослідовність часового ряду, i – індекс початку $T_{i,m}$, m – довжина $T_{i,m}$.

Для передбачення наступних значень у часовому ряді необхідно проаналізувати кожну підпоследовність та визначити їх схожість, визначити чи підпоследовність є повторюваною, які підпоследовності не мають цінності та є лише шумом.

Ці задачі розв'язуються такими методами, як розрахунок профілю відстані та розрахунок матричного профілю.

Перед розрахунком профілю відстані спочатку необхідно визначити як саме розраховується відстані між підпоследовностями. Спочатку виконується z-нормалізація для часового ряду, що дозволяє зменшити розмір ряду, але зберегти його властивості [2]. І після нормалізації можна обчислити евклідову відстань між двома підпоследовностями:

$$d(Q, C) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - c_i)^2}, \quad (3)$$

де q та c це дійсні значення, що належать підпоследовностям $Q = q_1 \dots q_n$ та $C = c_1 \dots c_n$.

Якщо відома деяка підпоследовність, яка, наприклад, відповідає збою в роботі, і треба визначити чи цей збій траплявся у часовому ряді, то вона представляється як запит. І часовий ряд умовно розбивається на підпоследовності такої ж довжини як і запит. У профілі відстані виконується розрахунок наскільки підпоследовність відрізняється від запиту. Якщо відстань між запитом та підпоследовністю є близькою до нуля, це з великою ймовірністю свідчить про те, що в часовому ряді був знайдений запит, що відповідає збою в роботі.

Інакше кажучи, профіль відстані це набір z-нормалізованих евклідових відстаней від обраної підпоследовності до всіх інших підпоследовностей у часовому ряді, і це математично сформульовано так:

$$D_i = d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,n-m+1}, \quad (4)$$

де D_i – це вектор відстаней, де кожне значення $d_{i,j}$ представляє евклідову відстань між запитом $T_{i,m}$ та між підпоследовністю $T_{j,m}$ з індексом початку j .

У той час як об'єм даних про поведінку робота може бути вражаючим, визначення матричного профілю не вимагає багато обчислювальних ресурсів.

Наприклад, якщо робот записував місцезнаходження у тривимірному форматі, постає питання яким чином можна представити ці тривимірні дані як часовий ряд. Це вирішується розбиття даних по координатам, представлення часового ряду для кожної координати і розрахунку трьох профілів відстані відповідно. Дані профілі можна сумувати, що дозволяє отримати один профіль відстані для тривимірних даних.

Профіль відстані дозволяє лише визначити де в часовому ряді присутній запит-підпоследовність, у той час як матричний профіль використовується для пошуку мотивів, де мотив це найкраще збережена поведінка у часовому ряді.

Матричний профіль це метод для анотації часового ряду, що для аналізу подібності последовностей у часовому ряду. Він представляє вектор евклідових відстаней між кожною підпоследовністю та її найближчим сусідом.

Евклідова відстань для цього методі отримується так, що для кожної підпоследовності обраховується профіль відстані до всіх інших підпоследовностей. Для кожного профілю відстані знаходиться його мінімальне значення евклідової відстані, яке записується в матричний профіль. Таким чином, кожен елемент матричного профілю представляє найменше значення з профілю відстані для кожної підпоследовності.

Математично матричний профіль можна представити так:

$$P = [\min(D_1), \min(D_2), \dots, \min(D_{n-m+1})], \quad (5)$$

де D_i це профіль відстані для підпоследовності $T_{i,m}$ та індекс i приймає значення $1 \leq i \leq n - m + 1$.

Цей метод корисний не тільки для визначення повторюваних підпоследовностей, а і для визначення аномалій та нетипових підпоследовностей.

Матричний профіль дозволяє оптимізувати стан робота, адже матричний профіль дозволяє краще зрозуміти що та як впливає на робота. Багато параметрів можна розкласти як часовий ряд і потім обробити матричним профілем. Метод дозволяє визначити які стались проблеми у функціонуванні, потім проаналізувати яка повторювана підмножини передували проблемі та дослідити що саме ці підмножини представляють.

Таким чином при спостережні за роботом та використанні матричного профілю легко встановити причинно-наслідкові зв'язки. Тож часові ряди є потужним інструментом для роботи з об'ємними даними, за умови що часову змінну можна поєднати з цими даними. Методи профілю відстані та матричного профілю дозволяють оброблювати будь-яку підпоследовність в ряді. Якщо були отримані запити, що представляють деяку несправність, певний стан, то за допомогою матриці відстані можна знайти чи присутній цей запит в часовому ряді та потім визначити чи це є аномалією в даних, чи підмножина повторювана та з якими іншими підмножинами вона може бути пов'язана.

Список використаних джерел

1. Anete Vagalel, Luīze Šteina, Valters Vēciņš. Time Series Forecasting of Mobile Robot Motion Sensors Using LSTM Networks. 2021. URL: <https://sciendo.com/article/10.2478/acss-2021-0018>
2. Chin-Chia Michael Yeh, Yan Zhu, Liudmila Ulanova, Nurjahan Begum. Matrix Profile I: All Pairs Similarity Joins for Time Series: A Unifying View that Includes Motifs, Discords and Shapelets. 2016. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7837992>
3. Hui Ding, Goce Trajcevski, Peter Scheuermann, Xiaoyue Wang. Querying and Mining of Time Series Data: Experimental Comparison of Representations and Distance Measures. 2008. URL: https://www.cs.ucr.edu/~eamonn/vldb_08_Experimental_comparison_time_series.pdf

ЕВОЛЮЦІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОБОТОТЕХНІКИ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

З часу, де почали роботи в галузі робототехніки та автоматизованих систем керування, які були ініційовані в основному для підвищення продуктивності та зменшення ризику в промисловому виробництві, сфера пройшла значний шлях еволюції та трансформації. Від підсилення механічних функцій у пристроях до використання сучасних технологій, які поєднують в собі штучний інтелект, інтернет речей (IoT) та аналіз даних в реальному часі, робототехніка стала неодмінною складовою сучасної технологічної парадигми. Історія робототехніки охоплює величезний період часу, розпочинаючи з ранніх механічних пристроїв та досягаючи неймовірних висот у сучасних інтелектуальних системах.

Витоками (XVIII – середина XIX ст.) робототехніки вважають перші механічні пристрої, такі як автомати та механічні кульки, які були створені як розважальні або виставкові експонати. Ці пристрої виконували прості механічні рухи за допомогою зубчастих коліс та механічних важелів.

Під час промислової революції (кінець XIX – початок XX ст.) стали з'являтися перші промислові роботи, такі як ткацькі автомати та механічні рушники. Ці пристрої відігравали важливу роль у виробництві та виконували рутинні завдання.

З появою електронних компонентів та комп'ютерів в ері електроніки та комп'ютеризації (XX ст.) з'явилися нові можливості у робототехніці. Перші програмовані роботи виникли в промислових лініях для виконання складних операцій.

Розвиток сенсорів та штучного інтелекту (XX – XXI ст.) вплинув на створення більш досконалих детекторів, що дозволило роботам сприймати своє оточення та реагувати на нього. Впровадження штучного інтелекту дозволило роботам навчатися і адаптуватися до нових ситуацій.

Сучасні робототехнічні системи стають все більш інтелектуальними та автономними. Роботи використовуються у широкому спектрі сфер, від виробництва до медицини та космічних досліджень. Майбутнє робототехніки включає в себе розвиток роботів, здатних до складних маніпуляцій та співпраці з людьми, а також впровадження роботів у нові сфери, які досі були недосяжними.

Говорячи про сьогоденність, важливо акцентувати, що інтеграція робототехніки в інформаційні системи стала ключовим аспектом сучасного технологічного прогресу. Розвиток систем збору, аналізу та обробки даних відіграє важливу роль у забезпеченні оптимального управління робототехнічними процесами та їх взаємодії.

Робототехнічні системи здатні генерувати величезні обсяги даних про свою діяльність та навколишнє середовище. Ці дані можуть включати інформацію про рух, стан обладнання, оточуючі об'єкти тощо.

Щоб ефективно використовувати цю інформацію, потрібні засоби для аналізу та витягнення корисних знань. Аналітичні інструменти дозволяють виявляти закономірності, тренди та аномалії у зібраних даних, що може бути використано для покращення ефективності та безпеки робототехнічних систем.

Автоматизована обробка даних включає в себе перетворення, очищення та структурування інформації для подальшого використання. Наприклад, як фільтрацію шуму, нормалізацію даних, агрегацію та інші операції.

Інформація, зібрана та проаналізована системами, може бути використана для управління робототехнічними процесами. Наприклад, на основі аналізу даних про рух робота можуть бути прийняті рішення щодо оптимального маршруту або режиму роботи.

Інтеграція робототехніки в інформаційні системи також передбачає можливість взаємодії з іншими компонентами технологічного середовища, такими як системи управління запасами, ERP-системи, системи моніторингу тощо.

У цілому, інтеграція робототехніки в інформаційні системи створює можливості для ефективного управління та оптимізації робототехнічними процесами, що відкриває нові перспективи для автоматизації та підвищення продуктивності в різних галузях.

Виклики та перспективи майбутнього робототехніки обширні і мають велике значення для подальшого розвитку технологій та суспільства в цілому. Автономні роботи та роботи зі штучним інтелектом є близьким світлим майбутнім. Прогрес у сфері датчиків, штучного інтелекту та робототехніки дозволяє створювати все більш автономних роботів. Ці роботи можуть здійснювати різні завдання без постійного контролю людини, що відкриває нові можливості для автоматизації виробництва, транспорту, агропромисловості та інших сфер. Штучний інтелект вже застосовується в різних робототехнічних системах для прийняття рішень, навчання та адаптації до змінних умов. Подальший розвиток цієї галузі може призвести до створення роботів, які здатні до складних когнітивних функцій та навіть мислення.

Водночас не можна й забути про етичні аспекти. Впровадження робототехнічних технологій ставить перед суспільством ряд етичних питань, таких як вплив на ринок праці, конфіденційність даних, безпека та ризики автономних систем, а також відповідальність за прийняття рішень. Вирішення цих питань вимагатиме широкого діалогу між науковцями, інженерами, законодавцями та суспільством в цілому.

Загалом, майбутнє робототехніки обіцяє низку захоплюючих можливостей, проте водночас вимагає уваги до етичних, соціальних та правових питань, що виникають в результаті цього швидкого технологічного прогресу.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ В ОПТИМІЗАЦІЇ ХМАРНИХ ПРОДУКТІВ

Швидкі темпи розвитку технологій і зростаюча конкуренція змушують компанії шукати способи оптимізації своїх хмарних продуктів для підвищення ефективності, забезпечення безпеки та зниження витрат. У цьому контексті виникає необхідність у застосуванні сучасних підходів до оптимізації, що стає предметом обговорення нашої конференції.

Так як мікросервісна архітектура включає в себе велику кількість незалежних між собою модулів, це викликає певні складнощі з тестуванням. Поєднання архітектурного стилю мікросервісів та контейнерної інфраструктури вимагає стратегії тестування, сумісної з новими технологіями. Мікросервісна архітектура більш орієнтована на зовнішні залежності і менше на компоненти, що перебувають у процесі, тому стратегії тестування та тестові середовища повинні адаптуватися до цих змін.

Існують різні типи оптимізації хмарних продуктів, спрямованих на поліпшення ефективності, безпеки, економічності та інші аспекти роботи в хмарному середовищі. Ось кілька основних типів оптимізації:

- Оптимізація витрат ресурсів: Включає в себе стратегії економії коштів на інфраструктурі, такі як резервування інстансів, використання технологій «Serverless», правила автоматизації та управління вартістю. Мета – зниження витрат без втрати продуктивності.
- Оптимізація продуктивності: Зумовлена необхідністю підвищення швидкості роботи додатків та забезпечення найкращого користувацького досвіду. Включає в себе шкалювання ресурсів, оптимізацію алгоритмів та інфраструктури для максимальної продуктивності.

- Оптимізація безпеки: Забезпечує захист даних та інфраструктури в хмарному середовищі. Включає в себе моніторинг, виявлення та відповідь на загрози, шифрування даних, резервне копіювання та інші заходи безпеки.
- Оптимізація масштабування: Спрямована на забезпечення гнучкості та масштабованості хмарних додатків. Включає в себе контейнеризацію, оркестрацію, автоматичне масштабування ресурсів та інші методи для ефективного реагування на зміни навантаження.
- Оптимізація життєвого циклу даних: Включає в себе управління зберіганням, резервним копіюванням, архівуванням та відновленням даних у хмарних середовищах.
- Оптимізація архітектури: Спрямована на створення оптимальної архітектури додатків у хмарному середовищі, що враховує вимоги до продуктивності, безпеки та вартості.

Ці типи оптимізації можуть використовуватися окремо або в поєднанні залежно від конкретних потреб організації та її хмарної інфраструктури.

Штучний інтелект відіграє ключову роль у вдосконаленні хмарних продуктів, забезпечуючи автоматичне масштабування і прогнозування навантаження. Алгоритми машинного навчання аналізують дані про використання ресурсів та динаміку навантаження, допомагаючи реагувати на зміни в реальному часі та оптимізувати розподіл ресурсів.

Контейнеризація і оркестрація, зокрема за допомогою інструментів як Kubernetes та Docker, дозволяють ефективно керувати і масштабувати додатки в хмарних середовищах. Це зменшує час розгортання, полегшує управління та забезпечує більшу гнучкість і стабільність.

Машинне навчання допомагає вдосконалити ефективність хмарних сервісів шляхом аналізу даних, прогнозування попиту та оптимізації витрат. Алгоритми прогнозування допомагають управляти ресурсами більш точно, зменшуючи витрати і покращуючи рівень обслуговування.

Важливо забезпечити баланс між продуктивністю та безпекою у хмарних середовищах. Механізми моніторингу, виявлення загроз та захист даних грають критичну роль у забезпеченні безпеки, не пожертвуючи при цьому продуктивністю.

Стратегії економії коштів у хмарних обчисленнях через резервування інстансів, використання правил автоматизації та управління вартістю допомагають підтримувати оптимальні витрати на інфраструктуру, забезпечуючи ефективну роботу системи.

Технології «Serverless» зменшують витрати ресурсів та спрощують розробку хмарних додатків. Це дозволяє компаніям зосередитися на розвитку функціоналу, не витрачаючи час на управління інфраструктурою.

Загалом прогнозування напрямків розвитку та інновацій в оптимізації хмарних продуктів допомагає компаніям готуватися до майбутніх викликів та вигідно використовувати нові можливості.

У висновку можна зазначити що, використання передових технологій та стратегій допомагає компаніям забезпечити більшу ефективність, безпеку та економічність своїх хмарних сервісів. Впровадження інноваційних підходів стає ключовим чинником у забезпеченні конкурентоспроможності та успішності на ринку.

Коваленко А. О., аспірант кафедри ПЗ
Федасюк Д.В., д-р. техн. наук, проф.
andrii.o.kovalenko@lpnu.ua
dmytro.v.fedasyuk@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

МЕТРИКИ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ МОВИ C++

Вступ. Архітектура програмного забезпечення відіграє ключову роль в успішній розробці, підтримці та еволюції програмних систем. Вона все більше визнається критичним фактором успіху проектів

програмного забезпечення, не тільки визначаючи структуру системи, але й впливаючи на її продуктивність, здатність до масштабування та зручність обслуговування [1].

Таким чином, ефективні архітектурні практики мають ключове значення для зменшення ризиків накопичення технічного боргу та забезпечення довговічності та надійності програмної системи [2].

У царині мов програмування C++ займає визначне місце завдяки широкому використанню в розробці критично важливих для продуктивності програм, операційних систем, вбудованих систем тощо.

Складна природа програм C++, що характеризується підтримкою різних парадигм програмування, вимагає спеціальних показників для оцінки архітектури програмного забезпечення. Традиційні показники, незважаючи на те, що вони корисні, часто не враховують унікальні особливості цієї мови. Спеціальні показники можуть надати уявлення про структуру та якість програмного забезпечення, визначаючи області для вдосконалення та потенційні проблеми з обслуговуванням. Вони також сприяють глибшому розумінню кодової бази, даючи змогу розробникам приймати обґрунтовані рішення та здійснювати рефакторинг. Крім того, у контексті сучасної практики розробки програмного забезпечення, де цінується гнучкість і швидка ітерація, наявність надійних показників дає змогу командам оперативно оцінювати вплив змін на архітектуру системи.

Основна частина

Для оцінки архітектури C++ проекту пропонується використати структурні метрики, які розраховуються на основі графу залежностей (ГЗ) між компонентами – рис. 1. Це орієнтований зв'язний граф, в якому вершини (V) – це компоненти, а ребра (E) – залежності між ними.

Граф залежностей отримуємо з програмного коду за допомогою спеціального засобу статичного аналізу – Understand Tool від Scientific Toolworks, Inc. [5]. У разі відсутності відображення структурних елементів у компоненти, отримуємо її із структури каталогів проекту та з графу залежностей з допомогою алгоритмів кластеризації. Надалі з

програмного коду та графу залежностей, використовуючи дані про компоненти, розраховуємо традиційні та спеціальні метрики.

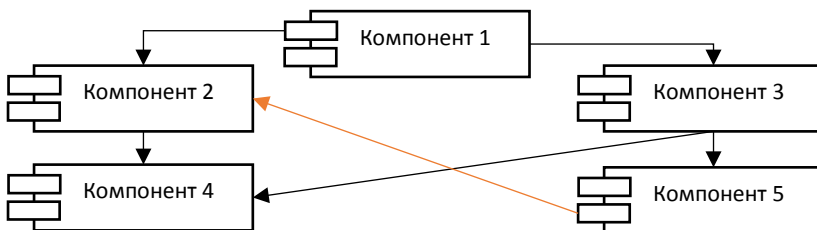


Рис. 1. Приклад графа залежностей між компонентами

На рис. 2 показано процес отримання метрик:



Рис. 2. Отримання метрик з програмного коду

Залежно від рівня деталізації компонентом будемо вважати множину позакласових функцій у файлі, класи, файли або власне архітектурні компоненти (модулі).

Метрика стабільності

Кожен компонент має вхідні та вихідні залежності:

- $E_{in} \in E$ – множина вхідних залежностей для вибраного компонента.
- $E_{out} \in E$ – множина вихідних залежностей для вибраного компонента.

Отже, отримуємо наступну метрику стабільності компонента:

$$S = 1 - \frac{|E_{out}|}{|E_{in}| + |E_{out}|} = \frac{|E_{in}|}{|E_{in}| + |E_{out}|}, \quad (1)$$

де $|E_{in}|$ – кількість вхідних залежностей, $|E_{out}|$ – кількість вихідних залежностей.

Значення стабільності лежить в межах $[0, 1]$. Значення 1 означає найбільш стабільний компонент, значення 0 – найменш стабільний.

Метрика абстрактності

Для визначення абстрактності компонент адаптуємо метрику, запропоновану Мартіном Р. у роботі [3] до C++ проєктів.

Для множини позакласових функцій у файлі метрику абстрактності визначимо наступним чином:

$$A_{func} = \frac{N_{hof}}{N_f}, \quad (2)$$

де N_{hof} – кількість нестатичних функцій вищих порядків, N_t – загальна кількість нестатичних функцій.

Для класів метрику стабільності визначимо як:

$$A_{class} = \frac{N_{vf}}{N_f}, \quad (3)$$

де N_{vf} – кількість чисто віртуальних функцій, N_f – загальна кількість функцій у класі.

Для файлів метрику абстрактності розрахуємо наступним чином:

$$A_{file} = \frac{N_{pfc}}{N_{fc}}, \quad (4)$$

де N_{pfc} – кількість функцій та класів оголошених у відповідному файлі-заголовку, N_{fc} – загальна кількість функцій та класів.

Для архітектурних компонент (модулів) визначимо:

$$A_{comp} = \frac{N_a}{N_t}, \quad (5)$$

де N_a – кількість абстрактних класів та функцій вищих порядків у компоненті, N_t – загальна кількість класів та функцій у компоненті.

Метрика дотримання принципу стабільних абстракцій

Принцип стабільних абстракцій визначає залежність між абстрактністю та стійкістю компонента. Він вимагає, щоб стабільні компоненти були також абстрактними і навпаки – нестабільні були конкретними.

Для оцінки дотримання цього принципу скористаємось метрикою Мартіна Р. з роботи [3]:

$$D = |A - S|; D \in [0, 1] \quad (6)$$

де A – це метрика абстрактності, а S – стабільності.

На рис. 3 показано графічне представлення метрики D .

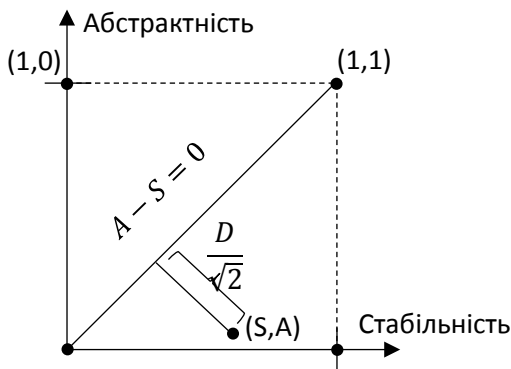


Рис. 3. Графічне представлення метрики D

Метрики рівня графа залежностей

На основі метрик індивідуальних компонентів розраховуємо також метрики для графа залежностей уцілому:

$$D_{\text{сеп}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D_n; D_{\text{сеп}} \in [0, 1]; \quad (7)$$

$$\sigma_D^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (D_n - D_{\text{сеп}})^2. \quad (8)$$

Висновки та пропозиції

Розроблено підхід до оцінювання архітектури програного забезпечення з урахуванням особливостей мови C++, запропоновано адаптовані метрики на основі графу залежностей та принципу стабільних абстракцій.

Проведено адаптацію метрик представлених Мартіном Р. та іншими дослідниками для C++ проектів. Адаптовані метрики враховують не лише об'єктно-орієнтовану парадигму, а також функційну та процедурну, а також підтримку узагальненого програмування (шаблонів).

Аналіз цих метрик для різних версій програмного забезпечення дає змогу виявляти статистичні аномалії та запобігати внесенню таких змін до коду, які суперечать прийнятим раніше архітектурним рішенням.

У подальших дослідження пропонується проведення емпіричного дослідження структури існуючих C++ проєктів з використанням запропонованих метрик, проведення статистичного аналізу та пошуку аномалій.

Вивчення цих метрик робить внесок у сукупність знань про оцінку якості програмного забезпечення та надає інструменти для практиків для оцінки та покращення архітектури їхніх проєктів на C++. Завдяки цьому дослідженню підкреслено важливість використання метрик архітектури програмного забезпечення, що враховують особливості мови C++.

Перелік використаних джерел

1. Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2012). *Software Architecture in Practice (3rd ed.)*. Addison-Wesley Professional.
2. Tom, E., Aurum, A., & Vidgen, R. (2013). An exploration of technical debt. *Journal of Systems and Software*, 86(6), 1498-1516. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.12.052>
3. R. C. Martin, *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*. Pearson, 2017.
4. D. Tiwari et al., "Metrics Driven Architectural Analysis using Dependency Graphs for C Language Projects," *2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, Milwaukee, WI, USA, 2019, pp. 117-122, <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2019.00025>
5. Understand by SciTools. URL: <https://scitools.com/>

Чернова І.С., канд. техн. наук
bioischernova@ukr.net
ІТІ «Біотехніка» НААН України
Лисенко В.П., д-р техн. наук, проф.
lysenko@nubip.edu.ua
НУБІП України

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ЕНТОМОФАГІВ

Роботу присвячено питанню використання інтелектуальних інформаційних технологій в агропромисловому комплексі України, зокрема, у виробництві ентомофагів для біологічного захисту рослин від шкідливих організмів. У даний час знаходять широке застосування інтелектуальні алгоритми обробки інформації із використанням онтологій та нейронних мереж. Перевагою онтологій є компактне узагальнення значного масиву різномірних даних предметної області за допомогою сучасних програмних засобів, серед яких слід відзначити безкоштовне середовище Visual Understanding Environment. На базі використання результатів власних досліджень і технологічного досвіду фахівців розроблено онтологію процесів інтелектуальної підтримки прийняття рішень у виробництві ентомофагів, яка містить такі основні поняття, як:

- управління знаннями технологів;
- систематизацію знань дослідників у вигляді фреймів, когнітивних моделей, рівнянь регресії, нейронних та семантичних мереж, експертних систем, прецедентів, онтологій;
- структурування знань про об'єкти (ентомокультури), задачі, технологічні процеси виробництва;
- структурування рівня технологічної керованості (у тому числі можливості змінювання параметрів) процесів виробництва.

Так, застосовуючи експертні знання щодо рівня технологічної керованості процесів виробництва ентомофага бракон (*Habrobracon hebetor*),

загальнодоступний програмний пакет Artificial Neural Network Scilab, алгоритм навчання нейронної мережі Левенберга-Марквардта (забезпечує швидку збіжність та мінімальну середньоквадратичну похибку при навчанні), формалізовано з високим ступенем точності рівень технологічної керованості цього виробництва (0.1 – низький, 0.45 – середній, 0.9 – високий). Програмний код у Artificial Neural Network Scilab наведено нижче.

```
D=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
1//rozvedennia komakhy-khazaiaina;
2//rozvedennia entomofahiv;
3//zberihannia entomofahiv;
4//kontrol yakosti entomolohichnoi produktsii;
5//pakuvannia entomofahiv;
6//pidhotuvannia materialiv;
7//pidhotuvannia pozhyvnoho seredovyshcha;
8//pidhotuvannia prymishchen;
9//utylyzatsiia vidkhodiv;
10//stabilizatsiia parametriv mikroklimatu;
E=[0.9 0.9 0.1 0.9 0.1 0.1 0.45 0.1 0.45 0.45];
0.9//vysokyi riven tekhnolohichnoi kеровanosti protsesiv vyrobnytstva
entomofahiv;
0.45//serednii riven tekhnolohichnoi kеровanosti protsesiv vyrobnytstva
entomofahiv;
0.1//nyzkyi riven tekhnolohichnoi kеровanosti protsesiv vyrobnytstva
entomofahiv;
K=[1 20 1];
af=['ann_logsig_activ'];
lr=0.1;
Z=ann_FFBP_lm(D,E,[1 20 1]);
F=ann_FFBP_run(D,Z);
```

Навчання мережі відбувалось впродовж 268 епох, середньоквадратична похибка становила 0.000000 (Epoch 268 / 1000 MSE: 0.000000).

Результати навчання продемонстрували високу точність апроксимації рівня технологічної керованості процесів виробництва ентомофагів:

```
--> f=ann_FFBP_run([4],Z),([f])
```

$f = 0.90000$

--> $f = \text{ann_FFBP_run}([7], Z), ([f])$

$f = 0.45000$

Отже, використання онтологій у процесах виробництва ентомофагів спрощує процеси сприйняття інформації, дозволяє проводити автоматизований аналіз знань.

Застосування нейронних мереж з високим ступенем точності формалізує нелінійні слабо структуровані процеси виробництва, що разом підвищує ефективність керування складним біотехнологічним виробництвом.

Балич П.Є., асп. кафедри ICM
pavlo.y.balych@lpnu.ua
НУ «Львівська Політехніка»

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ПОСТАЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У надзвичайно динамічному та глобалізованому періоді сьогодення логістичні операції постачання відіграють чи не головну роль у забезпеченні успіху будь-якого підприємства. Своєчасна доставка товарів клієнтам, оптимізація витрат та високий рівень обслуговування можуть бути гарантовані лише за допомогою ефективного управління цими операціями. Системи підтримки прийняття рішень (СППР) є надзвичайно цінним інструментом, що допомагають менеджерам з логістики приймати кращі рішення, надаючи їм доступ до даних, аналітики та інструментів моделювання.

СППР є рушійною силою оптимізації логістики в сучасному світі. Різні види СППР здатні надавати широкий спектр можливостей для оптимізації логістичних операцій. Системи оптимізації маршрутів допомагають планувати найефективніші маршрути доставки, економля-

чи час та ресурси. Системи управління запасами дозволяють контролювати рівні запасів та оптимізовувати замовлення, уникаючи дефіциту або надлишків товарів. Системи прогнозування попиту допомагають передбачити майбутні потреби клієнтів, даючи можливість краще планувати виробництво та запаси. Системи аналітики даних надають глибоке розуміння логістичних процесів, виявляючи тенденції та закономірності, що сприяють кращому прийняттю рішень.

Впровадження СППР у логістиці постачання неминуче несе з собою суттєві переваги, такі як:

- Оптимізація витрат шляхом оптимізації маршрутів, управління запасами та прогнозування попиту, що веде до економії коштів на транспортуванні, закупівлях та складському обслуговуванні.
- Покращення обслуговування клієнтів завдяки своєчасній доставці, точності замовлень та мінімізації помилок чим гарантується високий рівень задоволеності клієнтів, що однозначно покращує лояльність клієнтів та, як наслідок, приводить до росту продажів.
- Підвищення видимості ланцюга постачання також є одним з найбільших переваг СППР, які своїми компонентами надають прозорість логістичних процесів, дозволяючи менеджерам відстежувати рух товарів, виявляти проблеми та реагувати на них вчасно.
- Обґрунтовані рішення на основі даних: компоненти СППР аналізують великі обсяги даних, надаючи менеджерам чітке бачення логістичних операцій, що сприяє прийняттю обґрунтованих та ефективних рішень, також радикально зменшуючи вплив так званого «людського фактору».

Як і будь-яка система – СППР разом із значними перевагами несе за собою певні виклики, які варто згадати, а також шляхи їх подолання. Як основні можна виділити високу вартість, оскільки закупівля, впровадження та обслуговування СППР потребує вагомих інвестицій, окрім цього СППР зазвичай потребують спеціальних навичок та знань

для налаштування та використання системи, що викликає потребу найму фахівців чи залучення працівників до проходження спеціалізованого навчання, яке може зайняти тривалий час. Як останнє можна виділити інтеграцію СППР з існуючими системами і практиками підприємства, що також може виявитись складним і часозатратним для подолання процесом.

Ці виклики можна подолати за допомогою ретельного планування, чіткої постановки цілей, вибору відповідних СППР, вивчення сучасних підходів до реалізації, дослідження можливості інтеграції готових хмарних рішень, використання новітніх аналітичних інструментів на базі штучного інтелекту та IoT технології, та залучення кваліфікованих фахівців для впровадження та обслуговування системи.

Системи підтримки прийняття рішень стають незамінним інструментом для вдосконалення прийняття рішень у логістиці постачання. Завдяки їх можливостям підприємства мають можливість оптимізувати свої логістичні операції, економити кошти, покращувати обслуговування клієнтів та підвищувати свою конкурентоспроможність. Ретельне планування, чітка стратегія та грамотне впровадження СППР надають можливість підприємствам досягти значних успіхів у сфері логістики постачання та значно збільшити свій капітал.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ АСПЕКТІВ БЕЗПЕЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В DATA-DRIVEN ДОДАТКАХ НА ОСНОВІ ХМАРНОЇ АРХІТЕКТУРИ

Постановка проблеми

У сучасному цифровому світі хмарні додатки, керовані даними, стали основою для різних секторів, включаючи охорону здоров'я, фінанси та електронну комерцію. Ці додатки використовують великі обсяги даних для надання персоналізованих та ефективних послуг користувачам. Важливим аспектом є також забезпечення конфіденційності та безпеки даних, особливо у випадках обробки чутливої інформації. Тому критично важливим є процес верифікації даних, оскільки він забезпечує точність, надійність та цілісність даних протягом усього їхнього життєвого циклу в системі. Крім того, немає універсальних рішень у цій галузі, тому подальші дослідження в цьому напрямку є надзвичайно актуальними.

Верифікація даних може відбуватися на етапах вводу даних в систему, їх трансформації, застосувань правил бізнес логіки роботи системи та ін. В динамічних хмарних обчисленнях, де робоче навантаження постійно змінюється, завдання автоматичного масштабування залишається викликом через свою складність. Особливо важливим є забезпечення роботи з даними у режимі реального часу, для виявлення та коригування помилки на ранніх етапах їх обробки. Подібні системи повинні не лише забезпечувати необхідні ресурси для виконання завдань, але й оптимізувати їх використання для мінімізації витрат. Методи та засоби, засновані на машинному навчанні, такі як графові нейронні мережі(GNN) продемонстрували високу ефективність у процесі

масштабування, забезпечуючи швидший відгук системи у порівнянні з реактивними стратегіями, що використовують правила [1,2]. GNN додатково підсилюють ці процеси, пропонуючи інноваційні підходи для оптимізації автоматичного масштабування в умовах хмарних обчислень.

Використання GNN супроводжується викликами щодо безпеки цілісності та приватності даних. Конфіденційність графових даних та параметрів моделей, повинна бути гарантована, а будь-який доступ несанкціонованих осіб має бути попереджений [3,4]. Графові нейронні мережі GNN можуть бути вразливі до атак що можуть впливати на точність моделі, цілісність даних, безпеку системи та фінансові ризики. Зокрема:

Атаки з обманом (анг. Evasion Attacks) – ціль якої є обманути вже навчені моделі. Ці атаки можуть знизити точність і надійність систем, що використовують GNN, і створити ризики для безпеки, особливо у критичних застосуваннях, таких як фінансовий аналіз або медичні діагнози. Зловмисник може генерувати несприятливі збурення графа змінюючи його структуру (для прикладу додаванням або видаленням ребер) через функцій впливу що дозволяє визначити, які зміни в графі матимуть найбільший вплив на класифікацію цільової вершини. [5].

Атаки отруєнням (анг. Poisoning Attacks) – коли зловмисник намагається вплинути на продуктивність цільових моделей на етапі навчання, тобто цільові моделі навчаються на отруєних наборах даних. Атакувальник змінює структуру графа або характеристики вузлів до початку навчання моделі. Наприклад, додаючи шкідливі вузли або ребра, що спотворюють справжні зв'язки, або змінюючи атрибути вузлів, щоб ввести модель в оману. Модель навчається на зміненому графі, що містить шкідливі дані, що впливає на здатність моделі правильно класифікувати вузли чи робити прогнози [6].

Бекдор-атаки (анг. Backdoor attacks) – мета яких полягає в тому, щоб змусити GNN класифікувати тестовий граф за заздалегідь визначеним міткою атакуючого, коли до тестового графа додається певний

підграф. Цей підграф називається тригером атаки. Зловмисник отримує частину навчальних даних та вставляє підграф (тригер) до кожного пошкодженого навчального графу та встановлює його мітку на вибрану зловмисником цільову мітку. Ін'єкція підграфа в граф означає випадкову вибірку деяких вузлів у графі та заміну їхніх зав'язків як підграф. Це дозволяє атакуючому маніпулювати результатами класифікації тестових графів. Наприклад, у вже навченій моделі для виявлення шахрайських транзакцій або фейкових користувачів, атакуючий може зробити так, що ці записи будуть класифіковані як легітимні, додаючи тригер до тестових графів, що вводить систему в оману та змушує її присвоювати неправильні мітки. Особливістю такої атаки є мінімальний вплив на точність навчання GNN для чистих даних, щоб залишатися непомітною [7].

У зв'язку з цим у питаннях безпеки нейромереж виділяють чотири основні проблеми дослідження, а саме стійкість до загроз моделі, виявлення атаки, мінімізація внутрішніх ризиків моделі, та зниження системних загроз [8]. Особливо гострими ці питання є для графових нейронних мереж GNN через їхню високу інформаційну насиченість та більшу кількість вразливостей для здійснення атак і витоку або отруєння інформації. Що значно ускладнює їх впровадження на практиці в критично важливих системах, таких як в охороні здоров'я, фінансовій сфері, репутаційній системі, тощо.

Впровадження GNN приводить до необхідності зміни підходів до організації програмних додатків, а саме необхідності зміни архітектури існуючих систем шляхом введення допоміжних компонент для організації проміжної взаємодії та обробки потоків даних. З урахуванням вище наведеного, ми створили програмний прототип нейронної мережі GNN використовуючи мову програмування Python, та розробили відповідний прикладний програмний інтерфейс (API) для безшовної інтеграції розробки в хмарну архітектуру існуючої інформаційної системи медичного закладу. Це дозволило налагодити процес обробки потоків даних та створило підґрунтя для проведення подаль-

ших досліджень безпекової складової процесів обробки медичних даних. Крім того, дослідження backdoor атаки на графову нейронну мережу в емуляції підтвердило тезу, що небажаний вплив на мережу може серйозно вплинути на результати аналізу та призвести до неправильних рішень.

Перелік використаних джерел

1. Soni, D.; Kumar, N. "Machine learning techniques in emerging cloud computing integrated paradigms: A survey and taxonomy". *Journal of Network and Computer Applications*, 2022, 205, 103419.
2. Mohammad, A.S.; Pradhan, M.R. "Machine learning with big data analytics for cloud security". *Computers & Electrical Engineering*, 2021, 96, 107527.
3. Wang, B., Guo, J., Li, A., Chen, Y., & Li, H. "Privacy-preserving representation learning on graphs: A mutual information perspective". In *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*. ACM, 2021, pp. 1667–1676.
4. He, X., Jia, J., Backes, M., Gong, N.Z., & Zhang, Y. "Stealing links from graph neural networks". In *USENIX Security Symposium*. USENIX Association, 2021, pp. 2669–2686.
5. Wang, B., Zhou, T., Lin, M., & Chen, Y. "Efficient evasion attacks to graph neural networks via influence function". *arXiv preprint*, August 2020.
6. Shanthamallu, U.S., Thiagarajan, J.J., & Spanias, A. "Uncertainty-matching graph neural networks to defend against poisoning attacks". *arXiv preprint*, 2020.
7. Zhang, Z., Jia, J., Wang, B., & Gong, N.Z. "Backdoor attacks to graph neural networks". *arXiv preprint*, 2021.
8. Hendrycks, D., et al. "Unsolved problems in ML safety". *arXiv preprint arXiv:2109.13916*, 2021

M. Seniv, PhD, Associate Professor.
S. Zdebskyi, student.
maksym.m.seniv@lpnu.ua
stepan.zdebskyi.pz.2020@lpnu.ua
Lviv Polytechnic National University

**THE MODULE FOR AUTOMATED DETERMINATION
OF OPERATIONAL CONDITIONS AND VISUALIZATION
OF STATE GRAPHS FOR AN IMPROVED SOFTWARE SYSTEM
FOR AUTOMATED CALCULATION OF RELIABILITY
INDICATORS OF TECHNICAL SYSTEMS**

Introduction

The steady growth of society's dependence on software and hardware systems has led to increased requirements for their reliability and security. Unfortunately, traditional reliability analysis methods are often unable to adequately address the challenges posed by the large number of parameters and their interactions within complex systems [1]. This leads to the need to develop new approaches and tools that would allow reliability analysis to be performed efficiently and with high accuracy [2]. The VIPER system is designed to execute these tasks. This product has tools for building structural diagrams of technical systems, determining the operability condition, calculating system states and displaying them as a graph. Since the VIPER system has been developed for quite a long time, previous teams used outdated technologies and principles of building software products. Therefore, in the context of this work, the VIPER product has been modified by rebuilding the graphical interface and implementing a recursive algorithm for constructing the performance expression. The construction of a circular graph of states has also been implemented to display modern web technologies, indicating their potential use in the future modification of the VIPER system [3].

Problems with the original version of the VIPER system

Due to the rapid development of software development technologies, prolonged work on a product leads to the risk that the principles and tools used may become outdated. An obvious serious problem with the VIPER system is the inconvenient interface, which does not follow basic design rules. All controls are located on a single panel at the bottom of the screen, which causes a clutter of different types of functionality in one part of the workspace, which causes a clutter of different types of functionality in one part of the workspace. In addition, the toolbar cannot be hidden, which reduces the area of the scheme designer area [4].

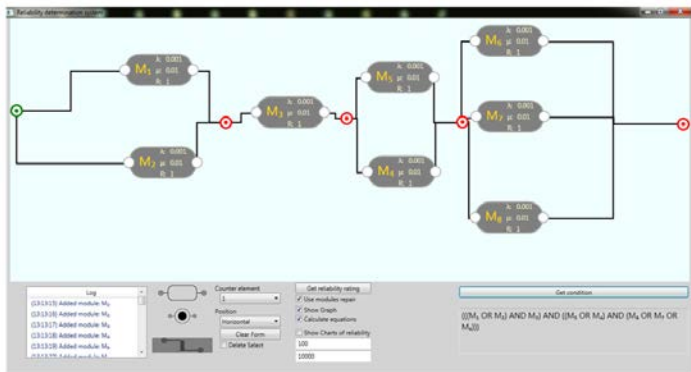


Fig. 1. Main window of the previous version of the VIPER system

The primary technology for developing the VIPER system is the WPF platform, which allows for creating applications for the Windows operating system. This tool is still popular; however, today, the web environment is increasingly chosen for developing products of any complexity and scale. Using React and ReactFlow technologies to build a circular state graph will demonstrate the potential for migrating the entire system to a web-based format.

Modification of the VIPER application. As part of the modification of the VIPER software product's graphical interface, a top navigation menu was created, the elements of which display a certain part of the functionality or open a panel with tools. Each panel contains tools grouped according to

the list of main functions of the main menu. Visual elements for a new tool for calculating the operability expression using a recursive algorithm have also been added. Each panel can be closed, in which case only the system structure and the top menu are displayed.

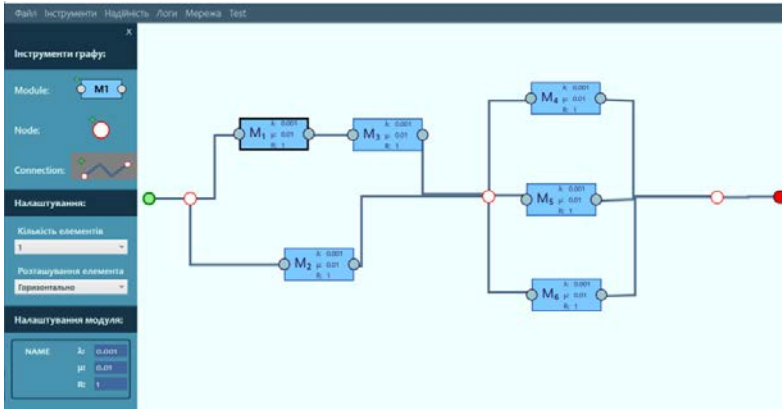


Fig. 2. Graphical interface wireframe and its implementation

To demonstrate the advantages of modern web libraries for implementing complex reliability analysis systems, a circular state graph has been implemented.

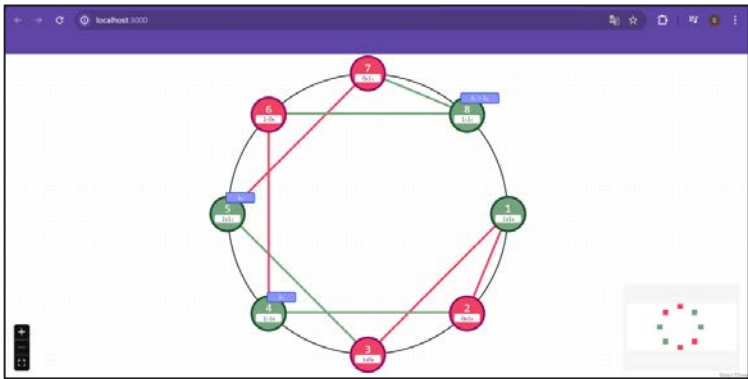


Fig. 3. Implementing the circular graph with React and ReactFlow

The main tools are the React platform and the ReactFlow library, which contains tools for building interactive graphs of any level of complexity. To implement communication between the main part of the VIPER system and the web application, a web server has been implemented using ASP .NET Web API technology.

Conclusions. This paper presents the module of the improved software system for calculating the reliability indicators of technical systems, in which the improved graphical interface, among other things, allows you to visualize a circular graph of states and transitions. In the future, it will be expedient to implement the entire functionality of VIPER with the help of cloud technologies.

References

1. Бобало, Ю. Я. та ін. (2013). Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія / Ю. Я. Бобало, Б. Ю. Волочій, О. Ю. Лозинський, Б. А. Мандзій, Л. Д. Озірковський, Д. В. Федасюк, С. В. Щербовських, В. С. Яковина. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013, 300 с.
2. Ozirkovskyy, L., Volochiy, B., Zmysnyi, M., & Shkiliuk, O. (2020). SYNTHESIS OF SAFE BEHAVIOR ALGORITHMS OF RADIOELECTRONIC SYSTEMS FOR CRITICAL APPLICATIONS. *Informatyka, Automatyka, Pomiar y W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 10(1), 2831. <https://doi.org/10.35784/iapgos.913>
3. Bobalo, Y., Seniv, M., Yakovyna, V., & Symets, I. (2018). Method of Reliability Block Diagram Visualization and Automated Construction of Technical System Operability Condition. In: Shakhovska, N., Medykovskyy, M. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing III. CSIT. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 871. Springer, Cham. 599–610. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_43
4. Bobalo, Y., Yakovyna, V., Seniv, M. & Symets, I. (2018). Technique of Automated Construction of States and Transitions Graph for the Analysis of Technical Systems Reliability, 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, 314–317. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526698>

¹ Yu. Romanyshyn, Sc. D., Prof.

² S. Yelmanov

¹ M. Durkot

¹ O. Tehlivets

¹ V. Melnyk

yurii.m.romanyshyn@lpnu.ua

sergei.yelmanov@gmail.com

markiiian.durkot@lpnu.ua

oles.v.tehlivets@lpnu.ua

volodymyr.r.melnyk@lpnu.ua

¹ Lviv Polytechnic National University

² Special Design Office of Television Systems, Lviv

NEURAL NETWORK CLASSIFICATION OF CEED2016 BASE IMAGES BY TYPES OF THEIR CONTRAST ENHANCEMENT

Introduction. Automatic assessment of image quality, including image contrast, is one of the important stages of image preprocessing. The presence of such an assessment makes it possible to conclude the necessity or possibility of performing procedures for improving the quality and contrast of images to increase the efficiency of further image processing – classification, segmentation, recognition, etc. Because the used methods of quantitative assessment of contrast and image quality often lead to significantly different results, which also differ from visual expert assessments, neural network methods are becoming widely used. These methods usually require appropriate image databases for construction and testing neural networks, as well as the availability of expert image quality evaluations. Among the well-known image databases, TID2013, CID2013, LIVE, CEED2016, and others can be distinguished.

In the presence of expert evaluations of image quality, neural networks usually use these evaluations to evaluate the quality of images for training. In the absence of numerical estimates and the presence of selected classes of images by quality, neural networks are built as a solution to the

corresponding classification problem. Some databases contain reference images that are distorted by different methods with different levels of distortion (for example, the TID2013 database). Other databases (for example, CEED2016) have low-quality base images that are enhanced by various methods.

The purpose of this work is to investigate the possibilities and effectiveness of using deep neural networks for automatic assessment of image quality by classifying them according to the results of improving the quality of basic images by six methods when using the CEED2016 database.

Neural network classification of CEED2016 database images. The CEED2016 image database is designed to evaluate and compare contrast enhancement methods. The CEED2016 image database (Contrast Enhancement Evaluation Database) contains 30 original color images (img1-img30) and 180 enhanced images derived from the original images. Each original image is enhanced (changed) using six different most common contrast enhancement methods: Adaptive Edge Based Contrast Enhancement (AEBCE), Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), Discrete Cosine Transform based (DCT), Global Histogram Equalization (GHE), Top Hat Transformation based (TOPHAT) and Multi-scale Retinex (MRETINEX). This database is widely used in research related to image processing, in particular, evaluation and improvement of their contrast. All images have dimensions of 512×512 pixels.

On Fig. 1 an example of a basic image from the CEED2016 database and 6 images obtained as a result of transformations using the specified methods is shown.

All images are divided into training and validation images. Each of the groups of images is divided into 7 groups (base and transformed images). The training set of images contains $20 \times 7 = 140$, and the validation set contains $10 \times 7 = 70$ images.

The neural network, based on the training group of images, must classify images according to the 7 specified groups, that is, realize the recognition of methods of changing the contrast of images. The structure of the neural network is shown in Table 1.

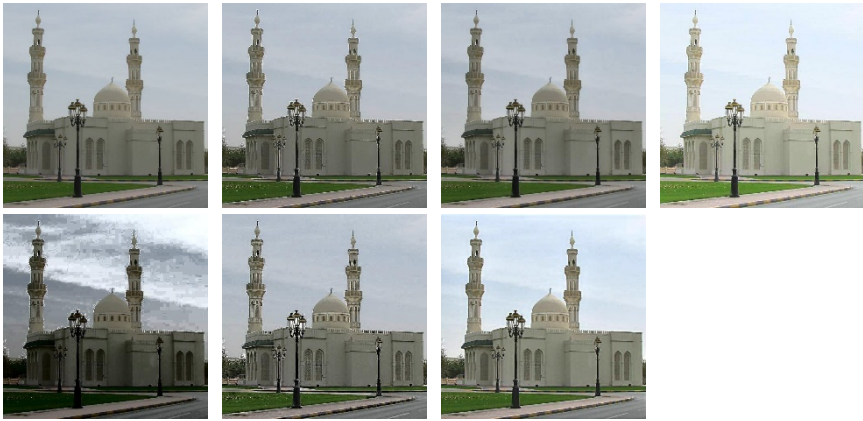


Fig. 1. An example of a basic image and the results of its transformation

Table 1. The structure of the neural network

Network layers	Output data	Parameters number	Network layers	Output data	Parameters number
Conv2D (32, (3, 3))	(, 510, 510, 32)	896	Dropout (0.2)	(,30, 30, 256)	0
MaxPooling2D (2, 2))	(, 255, 255, 32)	0	Conv2D (512, (3, 3))	(,28, 28, 512)	1 180 160
Dropout(0.2)	(, 255, 255, 32)	0	MaxPooling2D ((2, 2))	(,14, 14, 512)	0
Conv2D (64, (3, 3))	(, 253, 253, 64)	18 496	Dropout (0.2)	14, 14, 512	0
MaxPooling2D ((2, 2))	(, 126, 126, 64)	0	Conv2D (512, (3, 3))	(,12, 12, 512)	2 359 808
Dropout (0.2)	(, 126, 126, 64)	0	MaxPooling2D ((2, 2))	(,6, 6, 512)	0
Conv2D (128, (3, 3))	(, 124, 124, 28)	73 856	Dropout (0.2)	(,6, 6, 512)	0
MaxPooling2D ((2, 2))	(, 62, 62, 128)	0	Flatten ()	(,18432)	0
Dropout (0.2)	(, 62, 62, 128)	0	Dense (512)	(, 512)	9 437 696
Conv2D (256, (3, 3))	(, 60, 60, 256)	295 168	Dense (7)	(, 7)	3 591
MaxPooling2D ((2, 2))	(, 30, 30, 256)	0			Total parameters: 13 369 671

The neural network contains 6 Conv2D convolutional layers, the same number of MaxPooling2D and Dropout layers, a Flatten layer, and 2 fully connected Dense layers.

The construction and training of the neural network was carried out using Keras and TensorFlow. In Fig. 2 the results of neural network training (change in classification accuracy for the training image sample and the validation one depending on the iteration number) are presented.

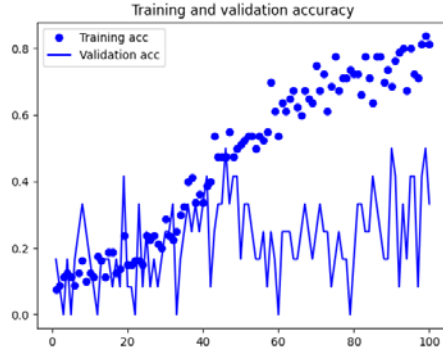


Fig. 2. Results of neural network training

As can be seen from these graphs, after 43 iterations, despite the use of the Dropout layer, there is an overfitting effect. The reason for this is, first of all, a small sample of images for training.

Conclusions. Automated quantification and improvement of image quality are among those tasks for which the effective application of deep neural networks can be solved. However, in contrast to the tasks of image content recognition and classification, advances in the use of neural networks for the tasks of image evaluation and image quality improvement are much more modest. In this regard, when using neural networks, it is necessary to use appropriate image databases with a large number of images.

**SECTION 8. Security of Information
and Communication Systems.**

СЕКЦІЯ 8. Безпека інфокомунікаційних систем.

Котух Є.В., канд. техн. наук, доц.
Халімов Г.З., д-р. техн. наук, проф.
yevgenkotukh@gmail.com
hennadii.khalimov@nure.ua
НТУ «Дніпровська політехніка»
Харківський Національний Університет Радіоелектроніки

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМІВ КРИПТОСИСТЕМ З ВІДКРИТИМ КЛЮЧЕМ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Обчислювально складні задачі – широке поняття, яке охоплює проблеми, для розв'язання яких потрібний значний (в ідеалі, нерозв'язний) обсяг ресурсів. Телекомунікаційні системи використовують криптографію для забезпечення конфіденційності, цілісності та аутентифікації інформації. Це включає захист від несанкціонованого доступу до даних, запобігання спотворенню або зміні інформації під час передачі, а також аутентифікацію сесій учасників комунікації. Криптографічні методи дозволяють створювати захищені канали зв'язку та забезпечувати безпеку інформаційного обміну в мережах зв'язку, що є необхідною умовою для збереження конфіденційності та надійності комунікацій у сучасному інформаційному суспільстві.

До нещодавнього часу в криптографії з відкритим ключем широко використовувалися дві складні задачі (або їх варіанти): факторизація цілих чисел і проблема дискретного логарифмування. Проблема факторизації цілих чисел RSA і дискретного логарифма в кінцевих циклічних групах DLOG лежать в основі побудови багатьох криптосистем. На практиці схеми, засновані на задачах RSA і DLOG, обирають свої параметри так, щоб ускладнити відповідну задачу криптоаналізу. У 1994 році Пітер Шор показав, що ці класичні складні задачі можна легко вирішити на великомасштабному квантовому комп'ютері. Прогрес у створенні квантових комп'ютерів стає все більш відчутним. К 2030 року за заявами Microsoft, IBM очікується поява великомасштабних

квантових комп'ютерів на кілька тисяч кубітів, що призведе до реальної загрози безпеці, забезпечуваної сучасною криптографією з відкритим ключем. Це спонукало криптографічне співтовариство, галузь та багато стандартизаційних організацій запланувати заміну сьогодні широко використовуваної криптографії з відкритим ключем квантовостійкою альтернативою: постквантовою криптографією. Квантовостійкі криптосистеми, засновані на решетках, лінійних кодах з коригуванням помилок, багатовимірних поліноміальних рівняннях, односторонніх функціях, ізогеніях еліптичних кривих та некомутативних групах, активно використовують висококомплексні задачі:

- проблему навчання з помилками LWE, коротке ціле рішення SIS у втіленнях інкапсуляції ключів та прямого шифрування у FrodoKEM, Kyber, Sabre та підписах (Dilithium, Falcon, qTESLA);
- складність декодування лінійних зашумлених кодів з секретним кодом у схемах інкапсуляції ключів та прямого шифрування BIKE, Classic McEliece, HQC, NTS-KEM, ROLLO та підписах: CFS, Durandal, WAVE;
- складність розв'язання багатовимірних рівнянь у схемах підпису LUOV, MQDSS, Rainbow, GeMSS;
- складність обертання односторонніх функцій у схемах підпису: XMSS, SPHINCS+, Picnic;
- складність пошуку ізогеній еліптичних кривих у схемах прямого шифрування: SIKE, CSIDH та підписах: CSI-FiSh, SQISign;
- складності проблеми групової факторизації (нерозв'язна проблема слова) у схемах прямого шифрування.

Оцінки квантової стійкості криптосистем, що були представлені на конкурсі NIST та попередньо обрані як кандидати для постквантової криптографії, постійно переглядаються та уточнюються. Найновіші результати з побудови поліноміального квантового алгоритму для розв'язання проблеми LWE з поліноміальними відношеннями модульшум були представлені у вказаній роботі. Незважаючи на виявлену помилку в алгоритмі, нові ідеї щодо застосування комплексної гаусо-

вої функції та віконного квантового перетворення Фур'є, на думку автора, можуть знайти нові застосування в квантових обчисленнях або розробити нові методи розв'язання проблеми LWE.

Ми припускаємо, що будь-який криптоалгоритм, який має властивості регулярності у своїх структурованих даних, буде розкритий квантовим комп'ютером. Властивості суперпозиції та квантової заплутаності дозволяють реалізувати обчислення над усіма станами кубітного реєстру одночасно. Ця властивість моделює повний набір станів у класичному комп'ютері. Наявність регулярності у обчислювальних даних алгоритму, наприклад періодичності (частотних резонансів) у алгебраїчних структурах (кільцях, групах, решітках тощо), потенційно можуть бути відфільтровані деяким алгоритмом із меншою складністю, ніж алгоритм Гровера. Протиріччя в криптосистемах, заснованих на обчислювальних структурах і притаманних їм проблемах регулярності, може бути врегульоване за допомогою зміни підходу до проектування криптографічних систем. Заміна основи важко розв'язуваної проблеми на завдання, яке має множину еквівалентних рішень без регулярностей, коли всі рішення є однаково ймовірними. У цьому випадку квантовий криптоаналіз зводиться до схеми Гровера з експоненційною складністю в реалізації. Класичним прикладом криптографічного алгоритму, який використовує множину можливих рішень, є порогова схема розділення секрету Шамира. Схема Шамира ґрунтується на класичній задачі алгебри апроксимації полінома за своїми значеннями. Таємність визначається тим, що неповна кількість часткових секретів (значень функції) не дозволяє відновити загальний секрет. У основу побудови криптосистеми покладена відома алгебраїчна задача, яка визначає, що єдине рішення існує лише для повно визначеної системи лінійних рівнянь. У випадку неповно визначеної системи рівнянь кількість рішень визначається потужністю множини можливих рішень.

ПРОТИДІЯ АТАКАМ ПРОТИ СИСТЕМИ GNSS НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Системи GNSS (Global Navigation Satellite System) відіграють домінуючу роль у процесі автоматичної навігації та корекції курсу суден [1]. Із зростанням використання технологій GNSS зростає необхідність захисту навігаційного обладнання користувача від навмисних або ненавмисних радіоперешкоди. Сигнали GNSS на вході антени дуже слабкі та мають номінальний рівень 130 дБм, через що обладнання користувача може зазнавати навмисного подавлення супутникових сигналів або навмисного втручання (GNSS spoofing), що імітує сигнали навігаційних супутників. Що дає можливість створюючи зловисникам умови для обчислення координат з великими помилками. Для модифікації сигналів систем GNSS використовуються системи SDR [3]. Для модифікації сигналів GNSS використовуються заглушувачі – пристрої для навмисного глушіння, блокування або перешкоджання бездротовому зв'язку. Перешкоди зазвичай будуються на базі систем SDR. Такі пристрої допускають спуфінг-атаки. Спуфінг – це радіоперешкоди, що представляють собою сигнал, подібний (або подібний) до сигналів навігаційних супутників. Під час підробки вводяться неправильні дані, які приймач GNSS сприймає як дійсний сигнал. В результаті приймач невірно визначає координати судна; транспортний засіб може рухатися по заданій хакером траєкторії або неправильно синхронізувати час. Сигнал, створений хакером, є додатковим сигналом від супутників і приймається приймачем GNSS на стороні випромінювача. [4].

В основному атаки побудовані так: приймач, отримуючи перешкоду, не може визначити параметри справжнього супутника, а потім

захоплює дані з підроблених джерел. Система SDR формує сигнали, ідентичні реальним за всіма радіотехнічними параметрами. Складність цього методу генерації фальшивих сигналів висока, але в цьому випадку приймач швидко захоплює підроблений сигнал. В подальшому можлива плавна корекція параметрів сигналу, а отже можливе створення навігаційного поля. Одним з ефективних методів зменшення перешкод у фазовому фокусі антени може бути використання адаптивної антенної решітки. В доповіді розглянутий метод побудови адаптивної решітки, який дозволяє зменшити рівні сигналів від атакуючої сторони.

Кут приходу радіочастотного сигналу на апертуру однієї антени може надати інформацію про пеленг атакуючого. Підроблені сигнали можна виявити, якщо вони надходять з однієї ділянки простору. Якщо використовується кілька джерел, то цей спосіб захисту не настільки ефективний. Лише кілька синхронних передавачів можуть замінити глобальну систему позиціонування. Кожен повинен генерувати сигнал лише з одного супутника. Як впливає з вищевикладеного, використання адаптивних антенних систем, які не дозволяють генерувати перевищення сигналу на антені вище 40 дБ, є дієвим напрямом у боротьбі з кібератаками на систему GNSS.

Список використаних джерел

1. PolikarovskiykhO., DausY., LarinD., & TkachenkoM. (2023). Systematization of Cyber Threats in Maritime Transport. Security of Infocommunication Systems and Internet of Things, (1), 01008. <https://doi.org/10.31861/sisiot2023.1.01008> доступний у: <https://journals.chnu.edu.ua/sisiot/article/view/10>
2. GNU Radio Website, accessed December 2022. [Online]. Available: <http://www.gnuradio.org>
3. K. Kim, J. S. Kim, S. Jeong, J.-H. Park, and H. K. Kim, "Cybersecurity for autonomous vehicles: Review of attacks and defense," Computers & Security, vol. 103, p. 102150, 2021

Іваницька С. М.
ivanytska.sofia@gmail.com
Львівський національний університет імені Івана Франка
Іваницький М. А.
ivanytsky@gmail.com
Львівський університет бізнесу та права

ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДАНИХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН

У сучасному цифровому світі, де обмін даними стає все більш важливим та широким, захист особистої інформації та конфіденційності даних стає критичною проблемою. Постає необхідність правового забезпечення безпеки даних в контексті використання технології блокчейн.

Захист даних користувача в технології блокчейн включає декілька аспектів, що суттєво підвищують безпеку, унеможливають витік даних чи їх зміну. Серед них виділимо такі:

- шифрування даних передбачає їх збереження у спеціальних блоках в зашифрованому вигляді;
- децентралізована структура вбачає збереження даних на багатьох нодах, тому важче зламати систему;
- криптографічна безпека використовується для здійснення підтвердження та захисту транзакції;
- приватні ключі для підпису та доступу до даних;
- процес досягнення консенсусу між учасниками мережі для підтвердження правдивості та цілісності даних.

Сформуємо алгоритм забезпечення безпеки даних при використанні блокчейн-технології:

- Постановка проблеми та аналіз захищеності від ризиків, недостовірності та зміни інформації.

- Визначення детальних юридичних вимог до захисту даних.
- Економічне обґрунтування ефективності застосування технології блокчейн.
- Дослідження сучасних методів ідентифікації для забезпечення анонімності учасників транзакцій.
- Розроблення формальної політики безпеки даних, яка враховує вимоги законодавства.
- Використання криптографічних методів для шифрування даних під час їхнього збереження та передачі.
- Використання технік машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу та прогнозування потенційних загроз безпеці.
- Впровадження системи моніторингу та аудиту безпеки.
- Розроблення методів виявлення та запобігання атакам.
- Постійне оновлення політик безпеки та вдосконалення на основі новітніх розробок та залучення вчених до наукових досліджень з питань безпеки даних.
- Інтеграції технологій блокчейн з іншими системами безпеки.
- Запровадження механізмів швидкого реагування на порушення, які визначені у міжнародних стандартах кібербезпеки.

Застосування блокчейн-технологій на підприємствах дозволяє бути конкурентоспроможними на ринку, а в публічній сфері – зможе покращити цифрову трансформацію суспільства загалом.

Згідно з доктриною [1] необхідні чіткі правові механізми захисту безпеки даних та законодавче регулювання, як на національному так і міжнародному рівнях.

Ефективне правове забезпечення безпеки даних вимагає підходу, складовою якого є постійне оновлення та вдосконалення відповідно до законодавчих змін та з врахуванням тенденцій технологічного прогресу. Це сприятиме підвищенню довіри до систем блокчейн та забезпечить

надійний захист конфіденційності, цілісності та доступності даних у публічному секторі й матиме економічний ефект в майбутньому.

Список використаних джерел

1. Гурова А., Кіпачова М. Правові засади застосування блокчейну в космічній діяльності: особливості регулювання технології на національному, регіональному та міжнародному рівнях // Підприємництво, господарство і право. 2021. №1 С.265-275.

Y. Stefinko, postgraduate

A. Piskozub, PhD. of Tech. Sc, Associate Prof.

yaroslav.y.stefinko@lpnu.ua

andriian.z.piskozub@lpnu.ua

Lviv Polytechnic National University

PENETRATION TESTING EXPERT SYSTEM IN THE CONTEXT OF RUSSIAN CYBER-WAR AGAINST UKRAINE

Introduction

From the beginning of full-scale invasion of Russia to Ukraine in 2022, we experience intensive cyber-war against our informational resources and services. Russian malicious actors are discovering innovative and effective methods to bolster russia's military efforts, targeting both military and civilian sectors. This approach has become a hallmark of russia's war strategy against Ukraine, making the evaluation of their tactics crucial for enhancing global security and protection.

This research relies on data gathered by the State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine (SSSCIP) while countering cyber-attacks from russian hackers during the war. There were 2 public Threat Research Reports published in 2022 & 2023 with statistics,

metrics and lessons learned. They are discussing shift in the patterns, goals, and capacity of the russian government and government-controlled Advanced Persistent Threat (APT) groups. This information will assist in developing effective defense systems within Ukrainian institutions and organizations globally. Several key statements from the 2022 report [1]:

- the number of recorded cyber incidents almost tripled in 2022;
- targets: government agencies, media and telecommunications sectors. The russian authorities anticipated a quick victory and aimed to manipulate Ukrainians through mass media to instill fear. Subsequently, both the russian military and hackers redirected their efforts towards the energy sector.
- targeted phishing remains a common method, but since mid-2022, hackers have shifted to exploiting technical vulnerabilities in service providers for critical information infrastructure, like Internet service providers.

Main findings and insights for 2023 report [2]:

- The number of incidents involving CERT-UA in investigations and forensics has doubled.
- The civil and law enforcement sectors are the leaders.
- State-sponsored APT prioritize returning attempts to compromise known victims who manage vital data for the russian military. This strategy allows them to plan future actions, predict our reactions, and gain an advantage by understanding the victim organization's network, defenses, personnel, and communication methods.
- Emphasizing immediate data exfiltration.
- Media sector faces ongoing attacks in the first half of 2023.
- Increase in "Living off the Land" attack method, while decline in malware distribution via email.
- Targeting open-source mail systems for hacking and exploitation.
- Decrease in energy sector attacks and 50% drop in critical incidents. The primary issue enabling successful penetration was the insufficient isolation between Operational Technology (OT) and corporate networks.

Research Goals

The goal of this research is to show how vital is penetration testing for us and how much efforts we need to make it as a work culture for any network teams or system administrators.

Figure 1 below shows that *Vulnerability* type of incident is the third one in the ranking of H1'2023 incidents. It means that after *Fishing* and *Malware*, the most critical job is to discover and protect software or systems from any known vulnerability before the attacker can compromise it. If we sum-up all those 3 types (incl. *System compromise*, *Vulnerability exploitation attempt*) of incidents we can see that that vulnerability remediation is the second important task after *Fishing*. It shows importance of proactive defense as effective pentest can reveal all the vulnerabilities and protect us beforehand.

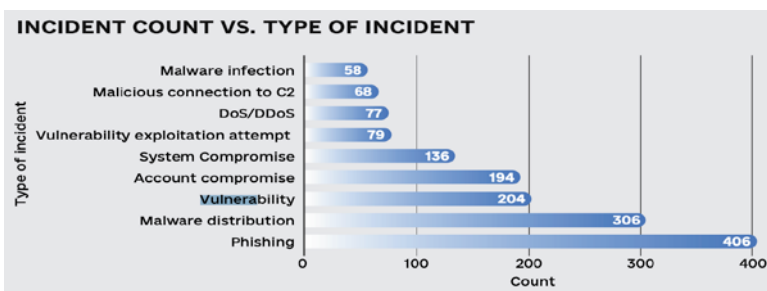


Fig. 1. Distribution of incident types registered during H1'2023 (SSSCIP) [2].

The main challenges of penetration testing are as follows:

- Manual routine work by pentester, leading to a high probability of errors and slow execution.
- The frequent risk of disrupting the computer system with certain automated hacking tools (known as exploits), necessitating the filtering of specific exploits.
- Scalability to a large number of targets is not always achievable during intrusion stages, only during information gathering stages, highlighting the need for optimal automated processes.

- Ultimately, the low efficiency of penetration testing and its infrequent execution do not yield positive results in a highly dynamic modern environment (with frequent changes, numerous mobile devices, significant systems downtime during testing). This calls for increased process automation, enhanced speed and frequency of penetration testing, and more optimal execution for maximum vulnerability detection or exploitation in minimal time.

The aim of this research is to develop and construct an enhanced penetration testing system using partially observable Markov decision processes and reinforcement learning elements, ultimately improving the efficiency of these tests considering probabilistic and qualitative vulnerability metrics calculated and applied using machine learning with expert systems approach.

Several researchers [5] have already delved into these topics, but it requires more investigation. This mathematical apparatus has very good potential to improve penetration testing through automation and reducing routine tasks. For example, there are traditional vulnerabilities in certain software and traditional classical methods to exploit this software (ready-made exploits) – the only thing needed is to train the program to apply them automatically within a certain conditions (machine learning in laboratory conditions, training will create a database of vulnerabilities and exploits for them). This is a kind of expert system.

Conclusions. Regular system compromise should be a standard practice during red-team assessments, not just for regulatory compliance (e.g., ISO 27001, HIPAA, PCI-DSS, SOC 2 annually), but also for safeguarding critical infrastructure against current Russian cyber threats. Ideally, pentests should occur monthly, conducted by commercial and government teams, with all recommendations addressed to mitigate medium-level risks, thereby reducing incidents that could impact civilians. Defending critical infrastructure poses a significant challenge due to evolving terrorist tactics.

Some administrators overlook essential security measures, leading to vulnerability exploitation attempts. Automation can assist in reducing

successful exploitation incidents. Despite automated tools, large network penetration testing remains complex and resource intensive. Optimizing testing with intelligent automation ensures consistency and efficiency, reducing human effort and system downtime. Human expertise (e.g., CEH certification) is crucial for developing and enhancing pentesting systems with practical knowledge and machine learning-based attack databases.

A hybrid automated scanning, exploitation, and reporting penetration testing model with decision-making algorithms was proposed to address human challenges and support experts in result analysis and remediation discovery.

References

1. "Russia's Cyber Tactics: Lessons Learned in 2022 – SSSCIP analytical report on the year of russia's full-scale cyberwar against Ukraine"/<https://cip.gov.ua/en/news/russia-s-cyber-tactics-lessons-learned-in-2022-ssscip-analytical-report-on-the-year-of-russia-s-full-scale-cyberwar-against-ukraine>
2. "How russian government-controlled hacking groups shift their tactics, objectives and capacities – report"/ <https://cip.gov.ua/en/news/yak-zminyuyutsya-taktiki-cili-i-spromozhnosti-khakerskikh-grup-uryadu-rfta-kontrolovanikh-nim-ugrupovan-zvit>
3. Stefinko Y.Y., Piskozub A.Z. "Theory of modern penetration testing expert system" // Тези доповідей "Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії" ХНЕУ ім.С.Кузнеця, Харків – 20-21 квітня 2017.- С.48-49.
4. Banakh R., Piskozub A., Stefinko Y. "Manual and automated penetration testing. Benefits and drawbacks. Modern tendency" // TCSET'2016, <https://doi.org/10.1109/TCSET.2016.7452095>.
5. M.Ghanem, T.Chen, Reinforcement Learning for Intelligent Penetration Testing, Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (2018) 185–192. <https://doi.org/10.1109/WorldS4.2018.8611595>.

БЕЗПЕКОВІ ВИКЛИКИ В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ

Вступ

Кіберфізичні системи (CPS) представляють трансформаційну інтеграцію фізичних процесів і обчислювальних можливостей, змінюючи різні галузі, такі як охорона здоров'я, транспорт і виробництво. Перетин фізичної та кіберсфери в CPS відкриває безпрецедентні можливості для ефективності, автоматизації та зв'язку. Однак таке об'єднання також створює безліч викликів безпеки, що вимагає всебічного розуміння потенційних загроз і розробки надійних механізмів захисту. Ми розглянемо основні проблеми безпеки, забезпечуючи основу для цілісного огляду безпеки в кіберфізичних системах. CPS стали базою сучасних технологічних досягнень, пропонуючи інноваційні рішення для складних проблем реального світу. Ці системи використовують вбудовані датчики, приводи та процесори для моніторингу, аналізу та впливу на фізичні процеси в режимі реального часу. Приклади застосування CPS варіюються від автономних транспортних систем і медичного моніторингу до розумних мереж і промислової автоматизації. Цей огляд проливає світло на багатогранні проблеми безпеки, з якими стикаються CPS, класифіковані на атаки на фізичний домен, кібер-домен і складну взаємодію між ними, відому як кібер-фізичний домен. Оскільки CPS постійно розвиваються, щоб відігравати все більш невід'ємну роль у нашому повсякденному житті та критично важливих інфраструктурах, стає очевидною потреба в надійних заходах безпеки. В цьому огляді ми заглибимося в специфіку запропонованих механізмів захисту і висвітлимо головні проблеми безпеки, які наявні в сфері кіберфізичних систем.

Огляд безпекових проблеми в кіберфізичних системах

Швидка еволюція кіберфізичних систем (CPS) започаткувала трансформаційні досягнення в різних областях, починаючи від промисловості та медичного обслуговування до транспорту. Однак цей прогрес супроводжується чималими безпековими викликами. Тут ми розглянемо багатогранні проблеми безпеки, проливаючи світло на тонкощі захисту CPS від потенційних загроз.

- *Множинність атак.* Оскільки CPS все більше інтегрується в різноманітні додатки, проблема захисту від множинних одночасних атак постає актуальною проблемою [3, 2]. Традиційно дослідження безпеки зосереджувалися на пом'якшенні окремих атак, але ландшафт загроз, що постійно розвиваються, вимагає зміни парадигми в бік комплексних стратегій захисту, спрямованих на одночасні та різноманітні атаки [4]. Незважаючи на визнання необхідності захисту від багатьох векторів атак, існуючим рішенням безпеки ще належить заглибитися в вивчення комплексних стратегій виявлення та захисту. Розробка надійних механізмів безпеки, які враховують різноманітний характер атак, залишається невід'ємною проблемою.
- *Інтеграція фізичних і кібердоменів.* CPS, будучи ключовим компонентом індустрії майбутнього, переплітає фізичну та кіберсферу, таким чином змінюючи спосіб взаємодії людей із фізичним світом. Ця інтеграція створює унікальні виклики безпеки, вимагаючи інноваційних рішень для забезпечення надійності та доступності системи [3]. Традиційний підхід з використання логіки автоматів для моделювання атак CPS може виявитися недостатнім для охоплення складної динаміки, що виникає через нелінійну поведінку, вузли, що змінюються в часі, і топології в системах CPS. Як наслідок, існує нагальна потреба в розширених методах аналізу, які могли б комплексно вирішувати складнощі, пов'язані зі взаємодією фізичних і кібернетичних елементів.

- *Комплексна системна динаміка.* Динамічний характер систем CPS створює проблеми для аналізу динаміки складних систем з точки зору кібернетики. Існуючим методам аналізу важко впоратися з нелінійною поведінкою, вузлами, що змінюються в часі, і топологіями, що розвиваються, властивими системам CPS. У міру того як CPS продовжують розвиватися, вимагаючи підвищення безпеки, надійності, доступності та стабільності, складність цих систем ще більше посилюється, що породжує нові виклики. Розробка методів аналізу, які можуть ефективно фіксувати та розуміти складну динаміку систем CPS, виділяється як критична сфера досліджень.
- *Протоколи зв'язку та складність мережі.* Включення комунікаційних протоколів і потенціал для мережевих атак значно підвищують складність систем CPS [1]. Умови, необхідні для типових методів виявлення, можуть не забезпечуватися в сценаріях, де розглядаються протоколи зв'язку та мережеві атаки. Таким чином, розробка нових стратегій виявлення, які можуть ефективно керувати підвищеною складністю, введеною протоколами зв'язку, є обов'язковою. Тут підкреслимо важливість вирішення цієї проблеми для зміцнення систем CPS проти складних кіберзагроз.
- *Багатоцільова оптимізація.* З постійним розвитком CPS підвищені вимоги до безпеки, надійності, доступності та стабільності завершилися появою багатоцільової проблеми оптимізації. Збалансування цих різноманітних цілей без шкоди для будь-якого аспекту стає складним завданням. Вирішення цієї проблеми вимагає інноваційних підходів, які можуть знайти баланс між часто суперечливими цілями безпеки, надійності, доступності та стабільності в системах CPS [3].

Висновок

Огляд висвітлив набір безпекових проблем у середовищі кіберфізичних систем (CPS), які необхідно вирішити, щоб забезпечити

цілісність, надійність і стабільність цих взаємопов'язаних систем. Тут підкреслюємо складність інтеграції фізичних і кібердоменів у CPS. Ця інтеграція, стимулюючи інновації та трансформаційні зміни в різних секторах, створює безпрецедентні виклики безпеці. Нерозривний зв'язок між фізичними процесами та кіберсистемами вимагає цілісних підходів до безпеки, які виходять за межі традиційних кордонів. Нелінійна динаміка, вузли, що змінюються в часі, топології, що розвиваються, і включення комунікаційних протоколів сприяють складній природі цих систем. Огляд розкриває потреби в передових методах аналізу та інноваційних рішеннях, які можуть комплексно розглянути багатогранну динаміку CPS. Множинні одночасні атаки викликають серйозне занепокоєння. Оскільки використання CPS стає все більш поширеним у критичних програмах, захист від одночасних множинних атак стає першочерговим. Традиційного фокусування на окремих векторах атаки вже стає недостатньо. Надійні стратегії безпеки повинні розвиватися, щоб одночасно перешкоджати різним атакам – це виклик, який вимагає нових механізмів виявлення та захисту.

Література:

1. Amit Kumar Tyagi, N. Sreenath, Cyber Physical Systems: Analyses, challenges and possible solutions, IoT and Cyber-Physical Systems, Volume 1, 2021, Pages 22-33, ISSN 2667-3452.
2. H. Abbas, H. Suguri, Z. Yan, W. Allen and X. S. Hei, "IEEE Access Special Section: Security Analytics and Intelligence for CPS" in IEEE Access, vol. 8, pp. 208195-208198, 2020.
3. Ivo Friedberg, Kieran McLaughlin, Paul Smith, David Laverty, Sakir Sezer, STPA-SafeSec: Safety and security analysis for cyber-physical systems, Journal of Information Security and Applications, Volume 34, Part 2, 2017, Pages 183-196, ISSN 2214-2126.
4. Yu, Zhenhua & Gao, Hongxia & Cong, Xuya & Wu, Naiqi & Song, Houbing. (2023). A Survey on Cyber-Physical Systems Security. IEEE Internet of Things Journal.

Маньковський С.В., к.т.н,
Матієшин Ю.М., к.т.н.
spartak.v.mankovskyi@lpnu.ua
yurii.m.matiieshyn@lpnu.ua
НУ «Львівська політехніка»

PYTHON-МОДЕЛЬ ПРОТОКОЛУ УЗГОДЖЕННЯ СЕКРЕТНОГО КЛЮЧА У ГРУПІ З ДОВІЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ УЧАСНИКІВ

Робота присвячена проблемі узгодження спільного секретного ключа у групі з довільної кількості учасників. Обмін даними між учасниками здійснюється через відкриті канали передачі даних. Проблема обміну секретним ключем через відкриті канали даних виникла через потребу в безпечному обміні інформацією між двома або більше сторонами, які можуть бути віддаленими одна від одної та не мають спільного конфіденційного каналу зв'язку. В основі протоколу узгодження лежить протокол Діффі-Геллмана на еліптичних кривих (ECDH). Робота містить теоретичні обґрунтування, блок-схему алгоритму та програмну реалізацію алгоритму (на Python), який здійснює узгодження секретного ключа у групі з довільної кількості учасників. Для реалізації криптографічних операцій на еліптичних кривих застосовано Python-бібліотеку Cryptography, зокрема алгоритми X25519, що використовують еліптичну криву Curve25519. Показано результати роботи на прикладі групи з чотирьох учасників, які демонструють коректну роботу моделі та однаковий секретний ключ, отриманий в результаті процесу узгодження. Робота також містить посилання на репозиторій GitHub з повним текстом програми. Таким чином, дана робота дає змогу краще зрозуміти принципи роботи алгоритмів обміну секретними ключами між двома та довільною кількістю учасників, здійснити порівняння результатів з іншими реалізаціями, застосувати

розроблену модель в навчальних та в демонстраційних цілях і може бути корисною для ряду інших наукових та інженерних задач.

Спершу показано математичне представлення протоколу Діффі-Геллмана для узгодження ключів між двома учасниками обміну даними при застосуванні криптографічного алгоритму RSA та еліптичної криптографії (ECC). Згодом наведено узагальнену математичну формулу для довільної кількості учасників узгодження секретного ключа.

Для практичної реалізації моделі за основу обрано Python бібліотеку Cryptography. Розроблено клас об'єктно-орієнтованого програмування Participant. Даний клас пропонується застосувати для опису поточного стану кожного учасника групи, в якій здійснюватиметься узгодження секретного ключа. Клас містить 4 властивості: приватний ключ даного учасника «prkey», відкритий ключ даного учасника «pubkey», відкритий ключ отриманий від сусіднього учасника «rx_pubkey» та серіалізований відкритий ключ у вигляді масиву байтів «public_bytes». Клас Participant реалізовано на Python.

Для кращого розуміння алгоритму узгодження показано схему процесу взаємодії між учасниками групи з чотирьох учасників під час узгодження секретного ключа, а також наведено узагальнену блок-схему запропонованого алгоритму узгодження ключа із застосуванням класу Participant.

Повний текст програми на Python доступний на GitHub за наступним посиланням:

https://github.com/mspartak/science/tree/master/multi_party_ecdh.

Реалізована модель на Python була перевірена на ряді прикладів узгодження секретного ключа у групі з довільною кількістю учасників. Показано коректність роботи моделі на основі отримання однакового ключа всіма учасниками на останньому раунді обмінів. Модель може бути корисною при реалізації схожих систем узгодження ключів, а також для подальших наукових та інженерних досліджень.

БЕЗПЕКА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Безпека інфокомунікаційних систем (ІКС) є критично важливим аспектом у сучасному світі, де інформаційні та комунікаційні технології пронизують всі сфери життя та діяльності. ІКС включають: мережі, системи, програми та пристрої, що забезпечують передачу, обробку та зберігання інформації. Забезпечення їхньої безпеки вимагає комплексного підходу, який включає технічні, організаційні та правові заходи.

Основні загрози безпеці інфокомунікаційних систем:

1. Кіберзлочинність. Кіберзлочинці використовують шкідливе програмне забезпечення, фішинг, атаки на відмову в обслуговуванні (DDoS) та інші методи для отримання несанкціонованого доступу до даних, крадіжки інформації або викрадення коштів. 2. Інсайдерські загрози. Загрози з боку внутрішніх користувачів, таких як співробітники або партнери, можуть бути особливо небезпечними, оскільки вони часто мають легітимний доступ до критичних даних та систем. 3. Шпигунство та саботаж. Державні або комерційні шпигуни можуть намагатися отримати конфіденційну інформацію або порушити роботу систем з метою отримання конкурентної переваги або дестабілізації. 4. Технічні збої. Збої в апаратному або програмному забезпеченні можуть призвести до втрати даних, переривання роботи або інших проблем, що впливають на безпеку ІКС.

Основні компоненти безпеки інфокомунікаційних систем включають:

1. Конфіденційність. Забезпечення конфіденційності полягає у захисті інформації від несанкціонованого доступу. Це досягається за допомогою шифрування даних, а також контролю доступу до інформаційних ресурсів. 2. Цілісність. Цілісність даних означає їх захист від

несанкціонованих змін або видалення. Це забезпечується через механізми контролю версій, контрольні суми, цифрові підписи та інші методи. 3. Доступність. Доступність інформації означає, що вона має бути доступною для уповноважених користувачів у будь-який час. Це включає захист від атак на відмову в обслуговуванні (DDoS) та забезпечення резервного копіювання та відновлення даних. 4. Аутентифікація та авторизація. Аутентифікація забезпечує перевірку особи користувача або системи, що запитує доступ до ресурсів [1]. Авторизація визначає, які ресурси та дії дозволені для даного користувача.

Стратегії та методи забезпечення безпеки ІКС можна виділити наступні:

- організації повинні розробляти та впроваджувати політики та процедури безпеки, які визначають правила та заходи захисту інформації та систем;
- працівники повинні бути навчені щодо основ інформаційної безпеки, розпізнавання кіберзагроз та відповідних дій у разі інциденту;
- постійний моніторинг систем на предмет виявлення аномальної активності та проведення регулярних аудитів безпеки дозволяють швидко виявляти та реагувати на потенційні загрози.

Отже, безпека інфокомунікаційних систем є складним та багатогранним процесом, що вимагає узгоджених зусиль на всіх рівнях організації. Впровадження ефективних політик, технічних заходів, навчання персоналу та постійний моніторинг є критичними компонентами для захисту від широкого спектру загроз. Тільки комплексний підхід до забезпечення безпеки може забезпечити надійний захист інформаційних ресурсів та безперебійність роботи організації в умовах сучасного кіберпростору.

Список

1. Лунтовський А.О., Захарченко М.В., Семенко А.І. Мультисервісні мобільні платформи: монографія. К.: Держуніверситет телекомунікацій ДУТ, 2014. 216

НАУКОВЕ ЕЛЕКТРОННЕ ВИДАННЯ

**INTERNATIONAL
CONFERENCE ON**

**ADVANCED TRENDS
IN RADIOELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS**

ATRT'2024

PROCEEDINGS

**МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
В РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ**

СПРТ'2024

МАТЕРІАЛИ

Режим доступу:

<https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/apr/34397/atrt-2024conferenceproceedings.pdf>

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 4, Львів, 79013
тел. +380 32 2584103, факс +380 32 2584101
vlp.com.ua, ел. пошта: vmr@vlp.com.ua