

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Радіотехнічний факультет

## **РАДІОЕЛЕКТРОНІКА В ХХІ СТОЛІТТІ**

Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів  
та аспірантів «Радіоелектроніка в ХХІ столітті»  
10 – 12 травня 2023  
Київ, Україна

Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті», Київ, 10 – 12 травня 2023 р.: матеріали конференції — Київ, 2023. — 124 с.

Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті» містять результати наукових досліджень студентської молоді та науковців в галузі проблем створення теоретичних засад сучасної радіотехніки та електронних комунікацій; радіоапаратуробудування; практичної реалізації досягнень науки та технології; інтелектуалізації процесів проектування та виробництва.

#### **Програмний комітет конференції**

Голова: Антипенко Р. В., доцент, к.т.н.

Члени:

Жук С. Я., д.т.н., професор

Нелін Є. А., д.т.н., професор

Яненко О. П., д.т.н., професор

Васильєв В. М., д.т.н., професор

Мовчанюк А.В., к.т.н., доцент

Мартинюк С. Є., к.т.н., доцент

Катін П. Ю., к.т.н, доцент

Піддубний В. О., к.т.н., доцент

Сушко І. О., к.т.н, доцент

Чмельов В. О., к.т.н., доцент

Товкач І. О., к.т.н, старший викладач

Перегудов С. М., к.т.н., доцент

Сушко О. Ю., PhD, доцент

Мирончук О. Ю., PhD, доцент

Захарченко О. С., старший викладач

Адаменко В. О., старший викладач

Новосад А. А., старший викладач

#### **Організаційний комітет конференції**

Голова: Головня В. М., старший викладач

Члени:

Лащевська Н.О, к.т.н., доцент

Шпилька О.О., к.т.н., доцент

Пільтяй С. І., к.т.н., доцент

Нікітчук А.В., старший викладач

**Адреса оргкомітету:** Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2100, радіотехнічний факультет, корп. 17, кім. 310, пр-т Берестейський, 37, м. Київ, 03056, Україна. Тел. (+38097) 291-26-15.

Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції та вченої ради радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 05/2023 від 28.04.2023 р.)

---

## ЗМІСТ

### **СЕКЦІЯ 1. ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯ, РАДІОЛОКАЦІЯ, НАВІГАЦІЯ. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Аврамишин А. І. (керівник Лащевська Н. О.) Розпізнавання продуктів харчування з використанням згорткової нейронної мережі	8
Броварник С. А. (керівник Зінгер Я. Л.) Використання штучного інтелекту та машинного навчання для покращення роботи інерційних навігаційних систем	11
Бруско А. В. (керівник Мирончук О. Ю.) Визначення напрямку радіосигналу за допомогою кількох приймачів SDR	14
Гайдай А. В. (керівник Товкач І. О.) Алгоритм локалізації багатьох БПЛА на основі сенсорної мережі	16
Галкін Т. А. (керівник Катін П. Ю.) Аналіз мікрокомп'ютерів для побудови автоматизованої мережевої системи моніторингу і управління зрошенням	19
Гелетко О. Я. (керівник Адаменко В. О.) Формування ефективного променя ФАР за допомогою алгоритмів машинного навчання	23
Гладовський М. В. (керівник Неуймін О. С.) Мінідрон моніторингу обстановки ближнього радіусу дії	26
Голодяєва П. В., Ходаніцький О. О., Гайдай А. В., Чмир Р. В. (керівник Товкач І. О.) Аналіз алгоритму оцінки місцеположення рухомого об'єкта за допомогою ансцентного фільтра Калмана	29
Yevdokimov D. O. (Supervisor Zinher Y. L.) Computer vision for detection, classification, and tracking of non-typical low-contrast targets against complex background surfaces	32
Желябовський А. Ю. (керівник Піддубний В. О.) Машинне навчання при ідентифікації металів вихрострумовою радіотехнічною системою	35
Запорожець Д. А. (керівник Вишневий С. В.) Придушення завад на цифрових зображеннях	38
Захарченко М. М. (керівник Шпилька О. О.) Розрахунок енергетичних параметрів каналу зв'язку для високошвидкісної передачі інформації з супутників низьких навколосемних орбіт	41
Іванченко Ю. В. (керівник Чмельов В. О.) Підходи щодо забезпечення ефективної роботи РЛС в різних умовах	44

Картушин О. Ю. (керівник Васильєв В. М.) Застосування ADS-B в системах керування рухомими об'єктами	47
Кот М. Г. (керівник Жук С. Я.) Використання радіохвильових технологій для відстежування та розпізнавання людей у приміщенні з використанням нейронних мереж	50
Лаврінєнко В. С. (керівник Степанов М. М.) Бездротові сенсорні мережі, основні поняття та сфери застосування	52
Левікін В. Г. (керівник Дружинін В. А.) Методика детектування джерел інфрачервоного випромінювання з нечітким логічним виведенням	54
Манчак К. В. (керівник Чмельов В. О.) Адаптивне формування сигналу активної завади роботі РЛС	56
Nikitchuk A. V. Reliability of computer networks: problems and challenges	58
Прокопов Р. О. (керівник Мирончук О. Ю.) Телеметричні системи в літальних апаратах. Передавач телеметричної інформації	60
Рознатовський В. Б. (керівник Катін П. Ю.) Аналіз технологій для програмного застосування інтерфейсу цифрового радару на основі технології ASP.NET CORE	62
Самохатній Д. О. (керівник Шпилька О. О.) Методика розрахунку чутливості приймача радіотелеметричної системи	65
Соколов К. А., Кравчук Я. О. (керівник Жук С. Я.) Аналіз точносних характеристик комбінованої системи спостереження на основі відеокамери та FMCW далекоміру	67
Ходаніцький О. О., Голодяєва П. В., Гайдай А. В., Чмир Р. В. (керівник Товкач І. О.) Програмне забезпечення для побудови сенсорної мережі на основі RASPBERRY PI	70
Царенко О. О., Мартинов Д. П. (керівник Жук С. Я.) Аналіз точносних характеристик позиціонування за різницево-далекомірним методом з використанням чисельної оптимізації з обмеженнями	73
Чмир Р. В. (керівник Товкач І. О.) Алгоритм визначення місцеположення джерела радіовипромінювання на основі системи SDR приймачів	76
Чорний В. В. (керівник Піддубний В. О.) блок живлення вихрострумової радіотехнічної системи з безконтактним вимірюванням струму споживання в силовому колі	79

---

**СЕКЦІЯ 2. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ В РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ.  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКА БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.  
УЛЬТРАЗВУКОВА ТЕХНІКА**

- Жирова А. І. (керівник Лащевська Н. О.) Застосування нейронних мереж для діагностування цирозу печінки 83
- Левченко І. С. (керівник Лащевська Н. О.) Розпізнавання зображень отриманих із супутникових систем з використанням нейронних мереж 85
- Чаленко М. А., Токарчук Є. В. (керівник Богомолів М. Ф.) FET біосенсори на базі оксиду графену без міток 88

**СЕКЦІЯ 3. ПРОЕКТУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ  
РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ. РАДІОВИМІРЮВАННЯ. МІКРО-  
ТА НАНОЕЛЕКТРОННА ТЕХНІКА**

- Асонов Д. Д. (керівник Головня В. М.) Автоматична домашня пивоварня 92
- Бичков О. Д. (керівник Зінгер Я. Л.) Вивчення впливу зовнішньої електроніки на аеродинаміку конвертованого боєприпасу, зокрема різних електронних давачів, сенсорів, антен 95
- Гончарук К. Г. (керівник Неуймін О. С.) Пристрій автоматичного нанесення фарб на вертикальну поверхню 98
- Nikitchuk A. V. Impact of components parameters deviations on electronic equipment reliability 100
- Родько М. А. (керівник Головня В. М.) Покращення ефективності роботи сонячних смарт-камер в системах охорони 102

---

**СЕКЦІЯ 4. РАДІОТЕХНІЧНІ КОЛА ТА СИГНАЛИ.  
ЕЛЕКТРОДИНАМІКА. ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ ТА АНТЕННА  
ТЕХНІКА**

Гавриш К. О. (керівник Турєєва О. В.) Модифікований подільник потужності уїлкінсона міліметрового діапазону довжин хвиль	106
Жердев М. В. (керівник Омеляненко М. Ю.) Гібридно-інтегральний імітатор доплерівського зсуву міліметрового діапазону	109
Задорожний Г. С. (керівник Василенко Д. О.) Моделювання розумної реконфігурованої повехні міліметрового X-BAND діапазону частот	111
Кулаєв В. В. (керівник Турєєва О. В.) Хвилеводно-планарний фільтр з придушенням смуги пропускання вищого порядку	114
Парфило І. О. (керівник Богомолів М. Ф.) Широкосмугова антиподальна антена вівальді для мікрохвильової системи виявлення раку молочної залози	117
Покоюк В. О. (керівник Омеляненко М. Ю.) Гібридно-інтегральний субгармонічний змішувач міліметрового діапазону довжин хвиль	119
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК АВТОРІВ</b>	121

***Секція 1. Телекомунікація, радіолокація, навігація.  
Інформаційні технології.***

*Принципи побудови, аналіз та синтез радіотехнічних пристроїв, систем, програмно-апаратних комплексів. Використання радіотехнічних пристроїв та систем для задач зв'язку, управління, виявлення та ідентифікації об'єктів, захист інформації. Інформаційне та програмне забезпечення радіотехнічних пристроїв та систем.*

## РОЗПІЗНАВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Аврамишин А. І.

(Науковий керівник Лащевська Н. О., к.т.н., доцент)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет

### Вступ

Згорткові нейронні мережі (ЗНМ, англ. convolutional neural network, CNN, ConvNet) – це клас глибоких штучних нейронних мереж прямого поширення, який застосовується для аналізу зображень.

### Основна частина

В роботі було розглянуто нейронну мережу, яка здатна розпізнавати тільки зелене звичайне яблуко, жовтий звичайний банан та помаранчевий звичайний апельсин. Але і цієї інформації вже достатньо компаніям, які займаються зберіганням, продажом та купівлею цих фруктів. Дана програма дозволяє просканувати наявні продукти та зробити висновок про їх якість. Це в свою чергу економить часовий та людський ресурс.

Згорткова нейронна мережа (рис. 1), яка використовується для розпізнавання об'єктів на фото складається з п'яти шарів:

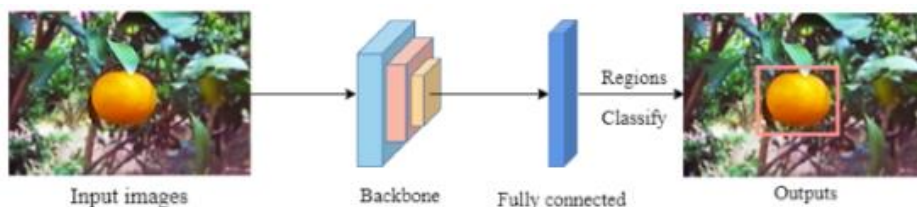


Рисунок 1 – Алгоритм виявлення об'єкта [1]

- Пулінговий шар – за потреби зменшує розмір зображення, зберігаючи ключові ознаки об'єктів.

- Згортковий шар – застосовує фільтри для подальшого виявлення ключових ознак об'єктів. Він складається з декількох фільтрів, які накладаються на зображення. Усі фільтри виконують згортку за висотою та шириною вхідної ємності, обчислюючи скалярний добуток даних фільтра та вхідних, які представлені значеннями кожного з пікселів зображення, формуючи двовимірну карту збудження цього фільтру (рис. 2).

- Шар зрізаних вузлів – використовує ненасичену передавальну функцію  $f(x) = \max(0, x)$ . Це підвищує нелінійні властивості функції ухвалення рішення.

- Агрегувальний шар – об'єднує виходи кластерів нейронів одного шару до одного нейрону наступного шару.



- Повноз'єднаний шар – поєднує кожен нейрон одного шару з кожним нейроном наступного шару.

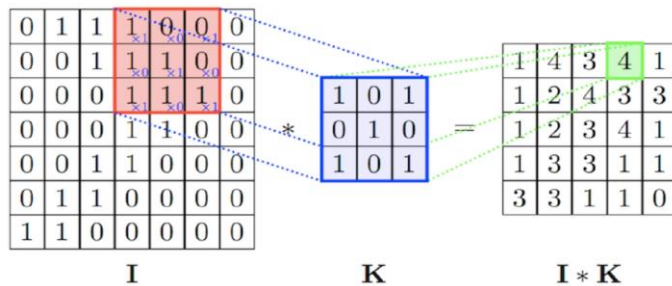


Рисунок 2 – Схема роботи фільтру згорткового шару

Для навчання мережі [2] було взято базу даних з 240 фотографіями яблук, бананів та апельсинів. Тести (рис. 3) з розпізнавання яблука пройшли успішно.

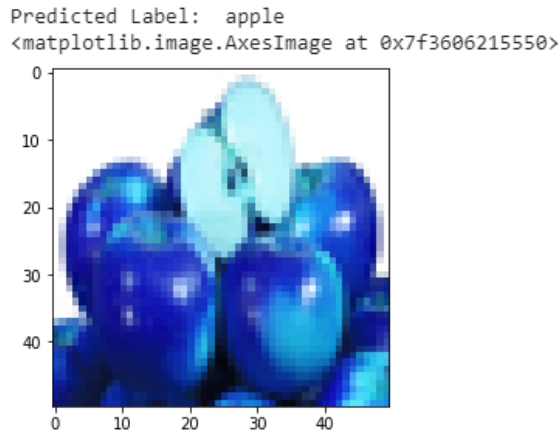


Рисунок 3 – Результати тесту з розпізнавання яблука

Подальша робота полягала в створенні методу навчання нейронної мережі для розпізнавати більшої кількості фруктів та овочів та класифікувати їх на безпечні і зіпсовані продукти, а також зчитувати кінцевий термін споживання пакетованих продуктів харчування.

Для цього було запропоновано ускладнити архітектуру мережі, додавши нові шари нейронів

Задача доданих шарів в архітектуру полягає у виявленні слідів псування (зміна форми, текстури чи кольору), після розпізнавання продукту харчування.

Ще одним напрямком в модернізації згорткової нейронної мережі для розпізнавання продуктів харчування було вирішено застосувати аугментацію даних[3]. Зміна контрасту або яскравості може допомогти виявити зіпсовані частини продукту. На даному етапі роботи цей напрям знаходиться в процесі дослідження. Тестування нейронної мережі на навчальній вибірці повинно показати, чи дійсно аугментація даних покращить розпізнавання

свіжих та зіпсованих продуктів та на скільки.

Для досягнення цієї мети проводиться поповнення бази даних зображень фруктів та овочів, свіжих та зіпсованих. Додаються до навчальної вибірки фотографії продуктів із різним рівнем зіпсованості (порізи, гниль, пліснява, бруд, плями, побиття). Все це допоможе нейромережі легше, швидше та більш точно класифікувати продукти.

#### **Висновок**

Для покращення згорткової нейронної мережі, яка наразі розпізнає лише яблуко, банан та апельсин, щоб вона могла розпізнавати більше видів фруктів та овочів, класифікувати їх на свіжі та зіпсовані, а також зчитувати кінцевий термін придатності з пакованих продуктів було запропоновано: ускладнити архітектуру нейронної мережі шляхом додавання нових шарів; навчити мережу виконувати аугментацію даних; виконати значне поповнення бази даних навчальної вибірки зображень.

Попередньо можна вважати, що дані кроки допоможуть без зайвого навантаження, втрат швидкості та ефективності розпізнавати більшу кількість даних. А система розпізнавання з використанням даної нейронної мережі може стати досить привабливою для користування у великій аудиторії.

#### **Література**

1. Огляд технології розпізнавання цілей для роботів, що збирають фрукти: Від цифрової обробки зображень до глибокого навчання [Електронний ресурс]: Сюехуй Хуа, Хаосін Лі, Цзіньбінь Цзен, Чун'ян Хань, Тяньці Чен, Лусін Тан, Юаньцян Ло. Доступно за посиланням: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/7/4160>. – Назва з екрана. Останній вхід 24.03.2023.

2. Навчання нейронної мережі [Електронний ресурс]: Вайбхав Кумар. Доступно за посиланням: <https://analyticsindiamag.com/fruit-recognition-using-the-convolutional-neural-network/>. – Назва з екрана. Останній вхід 16.06.2020.

3. Попереднє навчання генеративно-змагальних моделей перекладу зображень в умовах обмеженої кількості даних [Електронний ресурс]: (кваліфікаційна робота) / Р. М. Лавриненко / 2021. – С. 95. – Доступно за посиланням: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/20cce775-d06e-45ee-95ad-8126723b1c9e/content>. – Назва з екрана.

## **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ ІНЕРЦІЙНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**Броварник С. А.**

*(Науковий керівник Зінгер Я. Л., к.т.н., доцент кафедри ПРЕ)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Для навігації та керування різними транспортними засобами і апаратами часто використовують інерційні навігаційні системи (ІНС), окремо або разом з іншими системами керування та навігації. ІНС — це електронні пристрої, що вимірюють і відстежують рух об'єкта в просторі без залежності від зовнішніх джерел, таких як супутники, радіо чи маяки. Вони використовуються в літаках, кораблях, підводних човнах та космічних апаратах, щоб визначити їх місцезнаходження, швидкість, орієнтацію і рух.

Оскільки ІНС використовують для визначення положення об'єкту акселерометри, гіроскопи, магнітометри та барометри, дані з яких можуть мати певні похибки, а отже такі системи потребують періодичної або постійної корекції в процесі роботи. Причинами виникнення похибок та помилок в даних є шуми (теплові та електромагнітні) і зовнішні впливи (вітер, вібрації, удари). Відповідно, це ускладнює використання ІНС окремо від інших систем навігації чи додаткових пристроїв для корекції даних та траєкторії руху.

Неправильна робота системи та некоректні, спотворені дані, призводять до похибки у визначенні положення об'єкту, вектору та швидкості його руху, особливо в умовах, де обмежена видимість та відсутня можливість використання супутникової системи навігації. Особливо це проявляється на великих дистанціях, оскільки похибка вимірювань та обробки даних накопичується з часом і призводить до збільшення розходження очікуваної траєкторії з фактичною.

Для корекції зазвичай використовуються різноманітні програмні фільтри для даних, такі як давачі навігаційної системи, фільтр Калмана для корекції положення та швидкості руху об'єкта і його траєкторії в реальному часі. На жаль існуючі рішення не враховують зовнішні впливи і мають недостатньо високу ефективність через відмінності у кожній конкретній ІНС. Наприклад відмінність параметрів давачів системи у різних партіях або різні характеристики об'єктів, що рухаються.

Вирішити перелічені вище проблеми та зробити ІНС більш універсальною та автономною системою можна за допомогою використання штучного інтелекту та машинного навчання (побудова траєкторії руху, формування

складних маршрутів, прийняття рішень щодо продовження руху чи повернення до початкової точки маршруту (у випадку безпілотних апаратів), калібрування давачів, корекція даних від давачів тощо).

Наразі існує певна кількість досліджень використання штучного інтелекту та машинного навчання в ІНС, проте досліджені моделі зазвичай мають малу вибірку навчальних та тестових даних, а також не враховуються зовнішні впливи на систему, тому такі моделі не можна застосовувати в реальних рішеннях, або їх застосування є обмеженим конкретними вузькоспеціалізованими задачами.

Доцільно створити модель, що забезпечувала б: навчання в процесі своєї роботи; покращення власної ефективності; покращення ефективності та коректності роботи навігаційної системи; врахування зовнішніх впливів, відповідно виявляючи аномальні відхилення робочих параметрів системи. Також така система має бути універсальною для різних об'єктів, що рухаються.

Один з прикладів можливої структури такої моделі наведений на рис. 1.

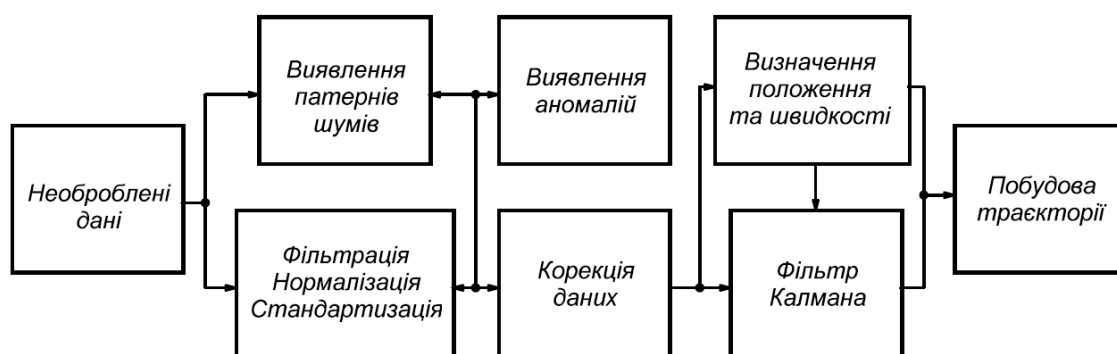


Рисунок 1 – Структурна схема моделі машинного навчання для підвищення ефективності ІНС

Відповідно до структурної схеми (рис. 1) необроблені дані від давачів (акселерометрів та гіроскопів) спочатку фільтруються програмними фільтрами моделі [1], нормалізуються та стандартизуються для оброблення даних та подальшого навчання і корекції моделі. Також модель визначає шумові патерни [2] з метою покращення методів фільтрації та кращого розпізнавання аномалій та фактичних корисних даних вимірювань.

На основі визначених шумів та розрахованих параметрів фільтрів виявляються аномалії [3] у даних і якщо вони мають систематичний або періодичний характер, то за допомогою них коригуються параметри фільтрів та алгоритмів нормалізації. Якщо аномалії не повторюються і мають значний вплив на вхідні дані, то це враховується під час корекції даних та відповідній побудові траєкторії на їх основі.

Похибки та помилки у даних виправляються за допомогою програмних алгоритмів корекції. Також приймаються рішення щодо обробки аномаль-

них даних: чи будуть аномалії відкореговані як випадкові або будуть визначені як зовнішні впливи на об'єкт чи безпосередньо давачі, тобто будуть внесені відповідні поправки у траєкторію та дані про відповідні прискорення об'єкта, як поточні, так і прогнозовані.

Після корекції за отриманими даними визначається положення об'єкта відносно початкової точки та швидкість його руху. Ці дані також потрапляють до фільтра Калмана [4], який згладжує залишкові нерівномірності в наборі отриманих даних та допомагає побудувати оптимальну траєкторію руху, яка залежить від попередньо заданого маршруту або рішення, що було прийняте моделлю у поточній ситуації (наприклад повернення до початкової точки чи зміна маршруту відповідно до проведеного аналізу даних).

Таким чином можна отримати модель машинного навчання, що дозволяє значно підвищити ефективність роботи ІНС та забезпечити більш високу надійність та автономність систем шляхом покращення обробки сигналів та аналізу даних. Також використання наведеної моделі дозволяє зменшити залежність від шумів та зовнішніх впливів.

#### Література

1. Research on Filtering Algorithm of MEMS Gyroscope Based on Information Fusion. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.3390/s19163552>. Останній вхід 25.04.2023.
2. Pattern detection in noisy signals. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(94\)00174-K](https://doi.org/10.1016/0031-3203(94)00174-K). Останній вхід 25.04.2023
3. Machine Learning for Anomaly Detection: A Systematic Review. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3083060>. Останній вхід 25.04.2023
4. Kalman Filter. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/kalman/bibl/Kordic.pdf>. Останній вхід 25.04.2023.

## **ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ РАДІОСИГНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ КІЛЬКОХ ПРИЙМАЧІВ SDR**

*Бруско А. В.*

*(Науковий керівник Мирончук О. Ю., PhD)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

У сучасному світі радіосигнали всюди навколо нас, передають інформацію по радіохвилях. З розвитком технологій ми стали більше залежати від бездротового зв'язку, як мереж Wi-Fi та стільникового зв'язку. Також радіохвилі дозволяють здійснювати локацію, наприклад під час пошуково-рятувальних місій або військових операцій. У таких випадках для визначення напрямку до джерела радіосигналу можна використовувати кілька приймачів SDR (програмно визначене радіо) [1].

SDR — це тип системи радіозв'язку, в якій деякі апаратні компоненти традиційних радіостанцій замінені програмним забезпеченням. Це забезпечує більшу гнучкість і контроль над радіосигналами, що приймаються та передаються. Приймачі SDR зазвичай використовуються в радіоастрономії, аматорському радіо та інших наукових програмах.

Щоб визначити напрямок радіосигналу, кілька приймачів SDR розміщують у різних місцях, утворюючи мережу. Кожен приймач підключається до комп'ютера зі спеціальним програмним забезпеченням, яке може аналізувати отриманий сигнал. Програмне забезпечення використовує алгоритми для порівняння фази та амплітуди сигналу на кожному приймачі для визначення напрямку прибуття (DOA) сигналу.

Одним із поширених алгоритмів, що використовуються для оцінки DOA, є алгоритм MUSIC (Multiple Signal Classification). Цей алгоритм використовує власні значення та власні вектори коваріаційної матриці сигналу для оцінки DOA. Іншим широко використовуваним алгоритмом є алгоритм ESPRIT (Оцінка параметрів сигналу за допомогою методів обертальної інваріантності), який оцінює DOA на основі різниці фаз між сигналами, отриманими на кожному приймачі [2].

Точність оцінки DOA залежить від кількох факторів, таких як частота сигналу, відстань між приймачами та кількість приймачів у мережі [3]. Загалом, чим більша відстань між приймачами та чим більше приймачів у мережі, тим точнішою буде оцінка DOA.

Однією з переваг використання кількох приймачів SDR є те, що це забезпечує більшу гнучкість у позиціонуванні приймачів. У традиційних системах радіопеленгації приймач необхідно фізично повертати, щоб визначити напрямок сигналу. З кількома приймачами SDR приймачі можна розмістити у фіксованих місцях, а оцінку DOA можна зробити в електронному



ВИГЛЯДІ.

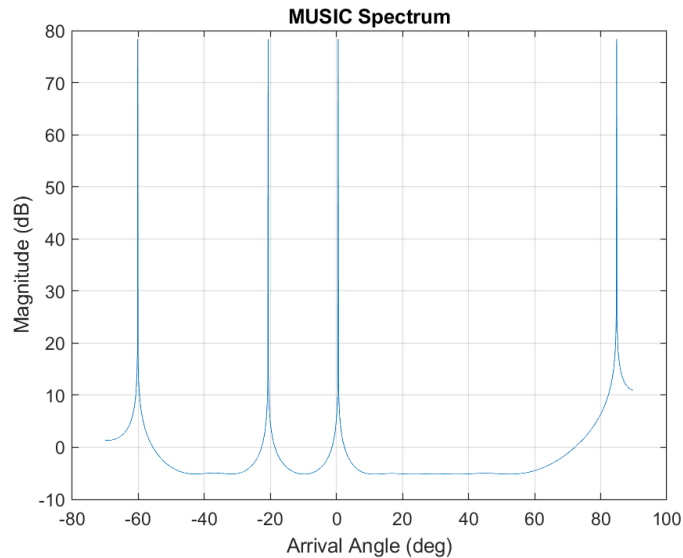


Рисунок 1 – Оцінка напрямку прибуття сигналів за допомогою алгоритму MUSIC

Ще однією перевагою використання приймачів SDR є можливість обробляти кілька сигналів одночасно. Традиційні системи радіопеленгації можуть обробляти лише один сигнал за раз, тоді як приймачі SDR можуть обробляти кілька сигналів одночасно, що дозволяє швидше та ефективніше оцінювати DOA.

На завершення можна сказати, що визначення напрямку радіосигналу є важливим завданням у різних сферах, від пошуково-рятувальних місій до військових операцій. Використовуючи кілька приймачів SDR, можна досягти точної оцінки DOA з більшою гнучкістю та ефективністю. Оскільки технологія продовжує розвиватися, приймачі SDR продовжуватимуть відігравати важливу роль у радіозв'язку та обробці сигналів.

#### Література

1. D. Sinha, A. K. Verma and S. Kumar, "Software defined radio: Operation, challenges and possible solutions," 2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), Coimbatore, India, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISCO.2016.7727079.
2. Наритник, Т., Авдеєнко, Г. і Якорнов, Є.А. 2022. МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ ПЕЛЕНГАЦІЇ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АНТЕННИХ РЕШТОК. Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології. 1, 03 (Сер 2022), 115-152. DOI:<https://doi.org/10.36994/2788-5518-2022-01-03-08>.
3. Estimate arrival directions of signals using MUSIC [Електронний ресурс] : MATLAB — Режим доступу до статті. <https://www.mathworks.com/help/phased/ref/musicdoa.html> — Назва з екрана.

## АЛГОРИТМ ЛОКАЛІЗАЦІЇ БАГАТЬОХ БПЛА НА ОСНОВІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Гайдай А. В., Чмир Р. В., Голодяєва П. В., Ходаніцький О. О.  
(Науковий керівник Товкач І. О.)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет

В сучасному світі актуальність безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зростає з кожним роком через їх великий потенціал у різних галузях. Разом з цим збільшуються вимоги до контролю руху БПЛА. Робота БПЛА безпосередньо пов'язана з обміном інформацією з пультом оператора і в переважній більшості для цих цілей використовується технологія WI-FI з несучою частотою 2,4-5 GHz. Тому локалізація БПЛА так чи інакше пов'язана з обробкою і класифікацією декількох прийнятих сигналів для того, щоб визначити, приналежність кожного отриманого сигналу до відповідного БПЛА.

Зазвичай сигнали класифікуються за трьома складовими: амплітуда прийнятого сигналу, частота прийнятого сигналу, фаза прийнятого сигналу. Визначення відстані до джерела сигналу на основі амплітуди сигналу, є найдешевшим та найбільш доступним методом для визначення місцезнаходження БПЛА, оскільки для методу за частотою потрібно локатори або ж радари, що є досить складним та дорогим обладнанням. А метод на основі частоти потребує синхронізації між приймачем та передавачем, чого досягти для даної задачі складно, хоча в своїй основі і є найбільш точним.

При визначенні положення об'єкту за допомогою сенсорної мережі використовуються виміряні значення потужності прийнятих сигналів (RSS - receive signal strength). Потужність визначається за моделлю поширення, має вигляд [1]:

$$P_{ik} = P_0 - 10 \cdot a \cdot \lg \left( \frac{R_{ik}}{R_0} \right) + v_{ik} \quad (1)$$

де  $P_{ik}$  — виміряна потужність  $k$ -го БПЛА, отримана  $i$ -тим сенсором, який знаходиться на відстані  $R_{ik}$ ,  $i = \overline{1, S}$ ,  $S$  — кількість сенсорів,  $k = \overline{1, U}$ ,  $U$  — кількість БПЛА;  $P_0$  — потужність сигналу на відомій відстані  $R_0$ ;  $a$  — коефіцієнт загасання в середовищі;  $v_{ik}$  — помилка вимірювання потужності сигналу.

Оскільки кожен сенсор приймає  $U$  сигналів від БПЛА, то кількість варіантів співставлень сигналу до БПЛА визначається за формулою

$$L = U + US(U - 1). \quad (2)$$

Таким чином проводиться розрахунок  $L$  місцеположень об'єктів за допомогою розв'язки системи рівнянь методом найменших квадратів (МНК) в



векторному виді:

$$\omega_l = 0,5(A^T A)^{-1} A^T B, \quad (3)$$

де  $\omega_l^T = (x_l, y_l, R_l)$  — вектор, що включає оцінки координат БПЛА;

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & -0.5 \\ x_2 & y_2 & -0.5 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_i & y_i & -0.5 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 - 10^{\frac{P_0 - P_1}{5 \cdot a}} \\ x_2^2 + y_2^2 - 10^{\frac{P_0 - P_2}{5 \cdot a}} \\ \dots \\ x_i^2 + y_i^2 - 10^{\frac{P_0 - P_{ik}}{5 \cdot a}} \end{pmatrix}.$$

$x_i, y_i$  — положення  $i$ -того сенсора в заданій сітці координат;  
 $x_l, y_l$  — координати що визначаються.

Отримані  $L$  місцеположень БПЛА, з яких  $U$  місцеположень БПЛА дійсні. Для визначення необхідних  $U$  місцеположень БПЛА порівнюються виміряні потужності та отримані  $L$  місцеположень БПЛА, які перераховані в дальність від сенсора до БПЛА -  $R_{ik}$  та  $R_{il}$ , відповідно.

$$R_{ik} = R_0 \cdot 10^{\frac{P_0 - P_{ik} + v_{ik}}{10 \cdot a}}; \quad (4)$$

$$R_{il} = \sqrt{(x_l - x_i)^2 + (y_l - y_i)^2}. \quad (5)$$

Ймовірність того, що випадкова величина відхилиться від свого математичного очікування більш ніж на три середньоквадратичні відхилення, не перевищує 0,28%. Тому дисперсія вимірювання дальності  $i$ -тим сенсором обчислюється за допомогою виразів

$$\sigma_{r_{ik}}^2 = \frac{(r_{ik \max} - r_{ik \min})^2}{12}; \quad r_{ik \max} = R_{ik} \cdot 10^{\frac{3 \cdot \sigma_p}{10 \cdot a}}; \quad r_{ik \min} = R_{ik} \cdot 10^{\frac{-3 \cdot \sigma_p}{10 \cdot a}}.$$

Нерівність, яка повинна виконуватись для знаходження дійсних  $U$  положень БПЛА має вид

$$R_{ik} - 3\sigma_{r_{ik}} \leq R_{il} \leq R_{ik} + 3\sigma_{r_{ik}}. \quad (6)$$

Моделювання алгоритму (2)-(6) проведено для конфігурації сенсорної мережі (рис. 2.1, а), яка складається з трьох датчиків з координатами [2]:  $D_1 (100; 0)$ ,  $D_2 (75; -75)$ ,  $D_3 (-75; -75)$ . СКВ помилки вимірювання  $\sigma_p = 1$  дБ.

На рис. 1 показані координати БПЛА в результаті розрахунку системи рівнянь (2). Оскільки невідомо відповідність сигналів до БПЛА, то на першому етапі алгоритму отримуємо 8 фактичних координат. Другий етап алгоритму дозволить відкинути помилкові координати та виявити дійсні, як показано на рис. 2.

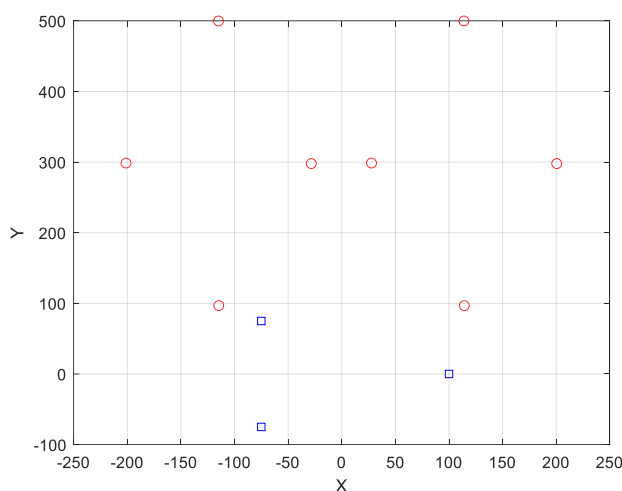


Рисунок 1 –  $L$  положень БПЛА

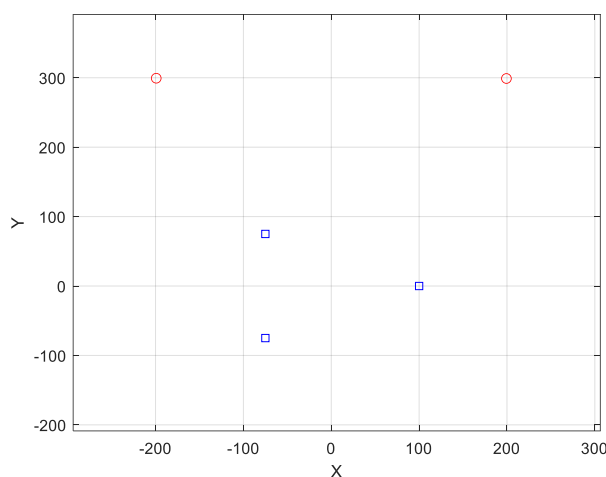


Рисунок 2 –  $U$  положень БПЛА, які відповідають дійсним

Подальшим напрямком роботи стає застосування алгоритмів траєкторної фільтрації для зменшення обчислюваних витрат, які виникають при розрахунку  $L$  місцеположень БПЛА.

#### Література

1. C. Liu *et al.*, "RSS Distribution-Based Passive Localization and Its Application in Sensor Networks," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 4, pp. 2883-2895, April 2016, doi: 10.1109/TWC.2015.2512861.
2. I. O. Tovkach, S. Y. Zhuk, O. S. Neumin and V. O. Chmelov, "Analysis of Influence of Number of Sensors on Accuracy of Radio Source Position Determination Based on TDOA-, RSS- and AOA- Measurements," 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 217-220, doi: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575365.

## **АНАЛІЗ МІКРОКОМП'ЮТЕРІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ МЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І УПРАВЛІННЯ ЗРОШЕННЯМ**

*Галкін Т. А.*

*(Науковий керівник Катін П. Ю., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

На теперішній час активно розвивається техніка та нові технології, які значно покращують процеси виготовлення рослинної продукції. Прикладом таких технологій є автоматизована мережева система моніторингу і керування зрошенням. Вона є сучасним інструментом у сільському господарстві та садівництві, що дозволяє ефективно використовувати водні ресурси та забезпечувати рівномірне та оптимальне зволоження рослин. Дана система містить, у більшості випадків, контролер якій керує системою у цілому [1-3]. У систему включені також сенсори вологості ґрунту та атмосферних опадів, насос для підкачування води, клапан для керування рівнем поливу та програмне забезпечення для збору, аналізу та передачі даних.

Перевагами автоматизованої системи поливу є: економія часу та енергії, економія водних ресурсів, підвищення врожаю, дистанційне керування, екологічність.

Таким чином, автоматизована мережева система моніторингу і керування зрошенням є ефективним та інноваційним рішенням у галузі сільського господарства та садівництва [1-3]. На сьогоднішній день існує багато систем для автоматичного поливу, і вибір залежить від потреб користувача, його бюджету та функціональних вимог.

Типова гідропонна система контролю автоматично підтримує рівень рідини резервуара, забезпечує регулювання значень рН (кислотності), реалізує процес поливу. За допомогою регулятора рН можна автоматично встановлювати оптимальні для води значення рН. Після того, як ці значення будуть задані, можна запускати в роботу насос для поливу, а також заповнювати резервуар водою. Гідропонна система для контролю рН складається з двох насосів для додавання рідких добрив і одного насоса для регулювання рівня рН. Він налаштовується програмою автоматичного запуску насоса для поливу двома різними способами: безперервним, для реверсивних гідропонних і аеропонних систем; періодичним для не реверсивних систем гідропоніки (субстрат) і для ґрунту.

Всі відомі системи мають типову будову, що реалізована на базі мікроконтролера і керується оператором. Недоліком такої системи є обмеженість функціональності у контексті інтеграції у мережу і використання сучасних технологій. Для вирішення цієї проблеми можна використати сучасні міні-

комп'ютери, що дозволять усунути виявленні недоліки. Проведемо аналіз сучасних міні-комп'ютерів для побудови автоматизованої мережевої системи моніторингу і управління зрошенням [4]. Для аналізу обрані найбільш бюджетні зразки, а результати аналізу узагальнені (див. табл. 1):

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики міні-комп'ютерів від Orange Pi

Модель	Orange Pi 3 LTS	Orange Pi 4 LTS	Orange Pi Zero2	Orange Pi R1 Plus LTS
Пам'ять	Карта MicroSD 8 ГБ /EMMC	16 ГБ EMMC Flash	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Слот для карти TF</li> <li>• 2 МБ SPI Flash</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Слот для карти Micro-SD</li> <li>• Флеш-пам'ять</li> </ul>
USB -виходи	1*USB2.0+4*USB3.0	2*USB2.0+1*USB3.0+1*USB3.0Type-C	3*USB 2.0 HOST	1x USB 2.0 HOST
Розмір	60x93,5 мм	56X91 мм	53 мм × 60 мм	56 мм × 57 мм
WiFi, Bluetooth	Підтримка IEEE 802.11 •Підтримка BT5.0	WiFi+BT5.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Чіп AW859A</li> <li>• Підтримка IEEE 802.11</li> <li>•ПідтримкаBT5.0</li> </ul>	-
Вага	45г	49г	30г	29,5г
GPIO	26 pin	26 pin	26 pin x 13 pin	13 pin
Відео вхід (вихід)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HDMI 2.0a</li> <li>• Вихід TV CVBS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HDMI 2.0,</li> <li>• 1* DP 1.2</li> <li>• Підтримує Dual MIPL-DSI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micro HDMI 2.0a до 4K-60fps</li> <li>• Вихід TV CVBS</li> </ul>	Вихід TV CVBS
Аудіо	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вихід HDMI</li> <li>• Аудіопорт 3,5 мм</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вихід: роз'єм 3,5 мм і HDMI2.0a</li> <li>• Вхід: мікрофон</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micro HDMI</li> <li>• 3,5 мм аудіо порт</li> </ul>	Аудіопорт 3,5 мм (через 13-конт. інтерф. плату)
ЦП	Чотириядерний 64-розрядний процесор Cortex-A53	Двоядерний Cortex-A72 (велике ядро) + чотириядерний Cortex-A53	Allwinner H616 64-розрядний чотириядерний процесор Cortex-A53	<ul style="list-style-type: none"> <li>•RockchipRK3328</li> <li>• Чотириядерний 64-розрядний процесор ARM Cortex-A53</li> </ul>
RAM	2GB LPDDR3	3 ГБ/4 ГБ LPDDR4	512 МБ/1 ГБ DDR3	1 ГБ LPDDR3
Живлення	5V3A Type-C	DC5V/3A або 5V/4A	Вхід інтерфейсу Type-C 5V3A	Інтерфейс USB Type-C

Продовження Таблиці 1

Модель	Orange Pi R1	Orange Pi Zero	Orange Pi Zero LTS
Пам'ять	Картка TF (макс. 32 ГБ) / флеш-пам'ять Spi (16 МБ)	Картка TF (макс. 32 ГБ)/ 2 МБ Spi Flash	Картка TF (макс. 32 ГБ)/ 2 МБ Spi Flash
USB -ви-ходи	-	Лише один USB 2.0 HOST, один USB 2.0 OTG	-
Розмір	45 мм × 60мм	48 мм × 46 мм	48 мм × 46 мм
WiFi, Bluetooth	Вбудований WiFi Realtek RTL8189FTV, IEEE 802.11	Вбудований WiFi XR819, IEEE 802.11	Вбудований WiFi XR819, IEEE 802.11
Вага	35г	26г	26г
GPIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 26-контактний роз'єм</li> <li>• 13-контактний роз'єм, 2x USB, IЧ-контакт, АУДІО.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 26-контактний роз'єм,</li> <li>• 13-контактний роз'єм, 2x USB, IЧ-контакт, АУДІО.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 26-контактний роз'єм,</li> <li>• 13-контактний роз'єм, 2x USB, IЧ-контакт, АУДІО (МІКРОФОН, AV)</li> </ul>
Відео вхід (вихід)	Підтримує зовнішню плату через 13 контактів	AV OUT (через 13-контактну зовнішню плату)	AV OUT (через 13-контактну зовнішню плату)
Аудіо	Немає	МІС (через 13-конт. зовнішню плату)	МІС (через 13-конт. зовнішню плату)
ЦП	H3 Quad-core 32-bit Cortex-A7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Чотириядерний процесор H2 Cortex-A7</li> <li>• H3 чотириядерний Cortex-A7</li> </ul>	Чотириядерний процесор H3 Cortex-A7 H.265/HEVC 1080P.
RAM	256 МБ/512 МБ DDR3 (спільно з GPU)	256 МБ/512 МБ DDR3 SDRAM (Спільний доступ із GPU)	256 МБ/512 МБ DDR3 SDRAM (Спільний доступ із GPU)
Живлення	USB OTG може подавати живлення	USB OTG може подавати живлення	USB OTG може подавати живлення

Вартість міні-комп'ютерів (табл. 1), знаходиться у межах 10-30 доларів США, що прийнятним для використання для побудови контролера системи. З іншого боку функціональність, периферія і безкоштовне системне програмне забезпечення дозволяють реалізувати повноцінний функціонал для по-

будови контролера автоматизованої мережевої системи моніторингу і управління зрошенням. Наприклад для всіх зразків, що наведені у табл. 1 актуальною є операційна система на базі на Linux. Вона забезпечує підтримку таких популярних платформ, як Ubuntu, Debian, Armbian та інших. Ці операційні системи можуть забезпечувати наступний функціонал:

- управління системою у віддаленому варіанті за схемою клієнт-сервер;
- використання керованих радіоканалів для реалізації системи віддаленого моніторингу датчиків автоматизованої мережевої системи моніторингу і управління зрошенням;
- інтеграція у систему метеоумов для вдосконаленого управління зрошенням, та багато іншого функціоналу.

Таким чином, автоматизована мережева система моніторингу і керування зрошенням у бюджетній версії може бути реалізована наступними міні-комп'ютерами: Orange Pi R1, Orange Pi Zero, Orange Pi Zero LTS [4] (табл. 1). Більш складні варіанти, що можуть забезпечити потужний функціонал і зручність у роботі представлені наступними міні-комп'ютерами: Orange Pi 3 LTS [5], Orange Pi 4 LTS [6], Orange Pi Zero2 [7], Orange Pi R1 Plus LTS. Недоліком таких рішень є більша вартість самого міні-комп'ютера.

Для продовження подальших досліджень потрібно реалізувати структурну схему і підібрати архітектуру програмного рішення, що може бути напрямком подальших досліджень.

#### Література

1. Rachio 3 Smart Sprinkler Controller [Електронний ресурс] // Rachio.com. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://rachio.com/products/rachio-3/>.
2. RainMachine HD-12 [Електронний ресурс] // rainmachine.com. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rainmachine.com/products/rainmachine-touch-hd.html>.
3. B-hyve Smart Indoor/Outdoor Irrigation Controller [Електронний ресурс] // Orbitonline.com. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.orbitonline.com/products/b-hyve-smart-indoor-outdoor-irrigation-controller>.
4. Orange Pi Zero LTS [Електронний ресурс] // OrangePi. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-Zero-LTS.html>.
5. Orange Pi 3 LTS [Електронний ресурс] // OrangePi. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/orange-pi-3-LTS.html>.
6. Orange Pi 4 LTS [Електронний ресурс] // OrangePi. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/orange-pi-4-LTS.html>.
7. Orange Pi Zero2 [Електронний ресурс] // OrangePi. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-Zero-2.html>.

## **ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПРОМЕНЮ ФАР ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

*Гелетко О. Я.*

*(Науковий керівник ст.вик. Адаменко В. О.)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

У сучасних мережах 5G зі збільшенням кількості користувачів мережі постає проблема перенавантаження мережі, що призводить до зменшення швидкості передачі інформації або значних затримок у обслуговуванні користувачів. Дана проблема вирішується за допомогою точного налаштування променю фазованої антенної решітки (ФАР) на користувача та забезпечення достатньої потужності сигналу для формування стійкого зв'язку між базовою станцією та пристроєм користувача.

Задача формування ефективного променю ФАР та його швидкого і точного налаштування є достатньо складною через ряд причин, наприклад: інтерференція між антенними елементами решітки, інтерференція з відбитим променем від перешкод, недостатнє придушення бокових пелюсток діаграми спрямованості ФАР, розсіювання потужності променю, неоднорідності антенних елементів, їх дефекти, неправильне розташування, погодні умови тощо.

Для вирішення більшості з даних проблем або компенсації їх впливів на якість зв'язку доцільним є використання алгоритмів машинного навчання з метою формування системи, що самостійно, в процесі роботи, буде коригувати параметри променю ФАР залежно від зовнішніх умов, особливостей конструкції конкретної ФАР, місця розташування, навантаження на мережу, характеру даних, що передаються, поточного стану користувача тощо. Тобто така система буде адаптивною, забезпечуватиме високу якість зв'язку і зменшуватиме навантаження на мережу.

Для виконання поставлених задач система, що використовує алгоритми машинного навчання, повинна мати наступну орієнтовну структуру (рис. 1).



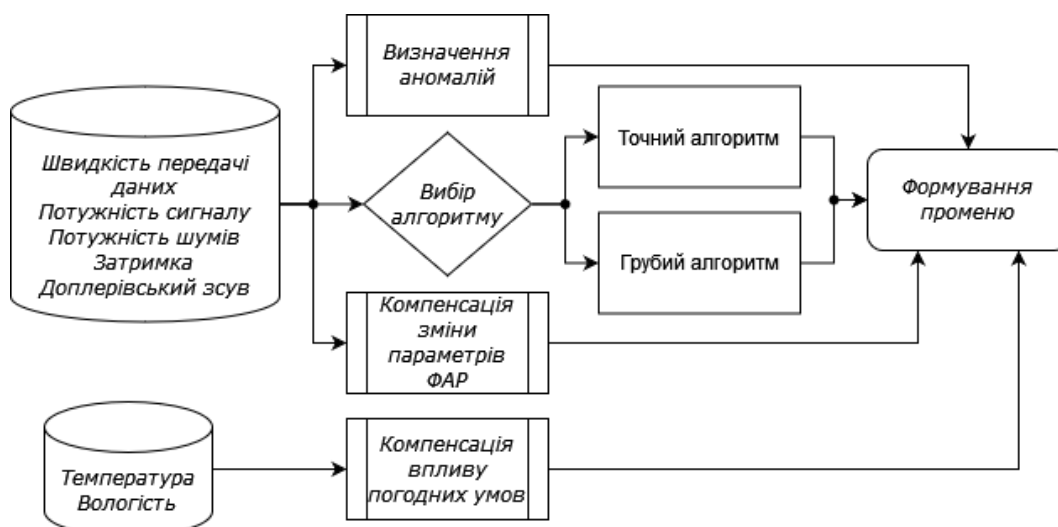


Рисунок 1 – Структурна схема системи формування ефективного променя ФАР

Побудована система спочатку оцінює якість сигналу, швидкість передачі даних і затримку, враховуючи поточне навантаження на мережу. Відповідно, якщо навантаження на мережу є великим, то система приймає рішення про вибір алгоритмів пришвидшеного формування променя (грубий алгоритм), за патернами, що були налаштовані завчасно та, за необхідності, скориговані під час роботи системи. Калібрування та подальші корекції виконуються шляхом невеликих змін у параметрах променя, наприклад виконуючи невеликі його відхилення (хитання) від визначеного положення користувача і фіксуючи зміни у якості сигналу. Таким чином досягається найбільша ефективність променя і коригуються вагові коефіцієнти для моделі машинного навчання [1] даної підсистеми. При цьому вагові коефіцієнти розраховуються таким чином, щоб забезпечити найкраще співвідношення швидкості формування променя та якості сигналу, оскільки в умовах високого навантаження на мобільну мережу час та обчислювальні ресурси на точне налаштування променя сильно обмежені.

У випадку низького або помірного навантаження на мережу обирається алгоритм, за яким система намагається досягнути найбільшої точності спрямування променя на користувача (точний алгоритм) і зосередити якомога більше потужності в головній пелюстці діаграми спрямованості ФАР [2], придушуючи бокові пелюстки і більш ефективно розподіляючи потужність між окремими антенними елементами, що знижує загальні енергетичні витрати.

Таким чином досягається найбільша швидкість передачі даних, мінімізація затримки сигналу та його висока якість. При цьому зберігається динамічність та гнучкість мобільної мережі, за рахунок адаптивного підходу до вибору алгоритмів формування променя.

Додаткові давачі (температури та вологості) дозволяють врахувати у моделі вплив параметрів середовища поширення сигналу [3] і компенсувати



їх за допомогою окремої підсистеми, яка базується на методах машинного навчання і може в реальному часі розраховувати коефіцієнти корекції для компенсації впливу погодних умов на якість сигналу.

Окрім того система виявляє аномалії, як випадкові, так і періодичні. Випадкові аномалії, в залежності від тривалості їх впливу, класифікуються як миттєві, тимчасові або постійні. В залежності від цього приймається рішення чи ігнорувати, чи грубо скоригувати або повторно навчити модель. За таким самим принципом будується підсистема, що відповідає за компенсацію впливу забруднення і зміни робочих параметрів ФАР. Встановлюються порогові значення похибок параметрів і після виходу за їх межі виконується перенавчання моделі, з метою корекції вагових коефіцієнтів.

Також система обирає більш точні та тривалі алгоритми або більш швидкі та грубі, залежно від того, рухається користувач чи ні. Рух користувача визначається за допомогою ефекту Доплера [4].

Така система дозволяє значно підвищити ефективність сучасних мобільних мереж 5G і збільшити максимальну кількість користувачів, оскільки комбінує одночасне вирішення багатьох задач передачі інформації за допомогою ФАР.

#### **Література**

1. Beam-Selection for 5G/B5G Networks Using Machine Learning. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/6/2967>. Останній вхід 27.04.2023.
2. Algorithms for Zero-forcing Beamforming in Multiple Input Multiple Output 5G Systems. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/123837>. Останній вхід 27.04.2023
3. Effects of temperature and humidity on radio signal strength in outdoor wireless sensor networks. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.15439/2015F241>. Останній вхід 27.04.2023
4. Doppler Effect based Moving Target Detection Adaptive to Speed. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2820716.2820722>. Останній вхід 27.04.2023.

## **ОГЛЯД МІНІДРОНІВ МОНІТОРИНГУ ОБСТАНОВКИ БЛИЖНЬОГО РАДІУСУ ДІЇ**

*Гладовський М. В.,*

*(Науковий керівник: Неуймін О. С., к.т.н.)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Моніторинг обстановки ближнього радіусу дії є важливою задачею, а в сьогоднішні дні і найбільш актуальною у різних галузях, таких як авіація, мореплавство та військова справа, для контролю дорожнього руху, охорони довкілля та дослідження кліматичних змін. Для вирішення задачі моніторингу обстановки ближнього радіусу дії актуальність набули мінідрони.

Основною складовою мінідрону моніторингу є сенсорна система, яка може виявляти різні типи небезпек, такі як пожежі, викиди отруйних речовин, вибухи та інші аварійні ситуації. Сенсорна система зазвичай складається з декількох датчиків, які можуть вимірювати рівні різних газів, температуру, тиск та інші параметри [1]. Крім сенсорної системи, мінідрон також може мати вбудовану систему збору та передачі даних. Ця система може надсилати дані до центру моніторингу, де вони аналізуються та обробляються. Центр моніторингу може мати додаткові функції, такі як автоматичне сповіщення служб рятувальників та інших відповідних органів про аварії та інші небезпечні ситуації [1].

Для вибору дрону важливо враховувати наступні особливості:

- Точність вимірювання параметрів, що моніторяться. Обмежена точність може призвести до недостатнього контролю над небезпечними ситуаціями.
- Залежність від погодних умов: погодні умови, такі як туман або сильний вітер, можуть знизити ефективність сенсорної системи мінідрону, що може призвести до помилкових сповіщень або недостатнього виявлення небезпечних ситуацій.
- Ємність батареї: недостатня ємність може створювати проблеми з виконанням поставленої задачі.
- Система передачі даних: системи збору та передачі даних можуть мати обмежену пропускну здатність, що може обмежувати можливості мінідронів моніторингу у відстеженні небезпечних ситуацій в режимі реального часу.
- Можливість модернізації, ремонтпридатність, наявність відкритої документації [2].

На сьогоднішній день на ринку існує ряд популярних мінідронів, які можуть бути використані для моніторингу обстановки ближнього радіусу дії. Актуальною задачею є огляд їх характеристик та вибір найкращого для

вирішення поставленого завдання.

В таблиці 1 приведено основні характеристики відомих мінідронів.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця характеристик популярних мінідронів

Характеристика	DJI Mavic Mini [3]	Holy Stone HS100D [4]	Syma X5UW-D [5]	JJRC H68 [6]	Crazyfly 2,1 [7]
Розмір, мм	290x55x245	175x450x450	320x320x70	310 x 13 x 310	92x92x29
Ємність акумулятора	2400 мА*год	2500 мА*год	500 мА*год	-	980 мА*год
Дальність польоту, м	2000	500	80	100м	1000
Наявність камери	Так (2,7 К)	Так (1080р)	Так (720р)	Так (720р)	Ні
Тривалість польоту	30 хв	15 хв	7 хв	7 хв	7 хв
Можливість модернізації / ремонтпридатність / Відкрита документація	Складно/ так / так	Середньо/так /ні	Середньо/так /ні	Середньо/ так/ні	Важко/ так/ні
Система передачі даних (частотата, дальність, швидкість, протокол)	Частота: 2,4G 2000 м GPS+ГЛОНАСС Wi-fi	Частота: 2,4G GPS, Wi-fi	Частота: 2,4G Wi-fi	Частота: 2,4G 100м Wi-fi	Частота: 2,4G 1000м Bluetooth LE
Ціна, грн	~20 тис.	~8 тис.	~2,5 тис.	~2,5 тис	~8 тис.

Як видно з таблиці перспективною платформою для мінідрона моніторингу обстановки ближнього радіусу дії є Crazyfly 2.1, оскільки має помірну ціну, хороші характеристики та відкритий програмний код.

В якості варіантів модернізації дрона можна відмітити наступні:

- Встановлення камери. Це дасть можливість візуально оцінювати навколишню обстановку.

•Заміна двигунів: Це дозволить дрону літати вище та швидше, мати більше корисне навантаження.

•Встановлення GPS-модуля: Це дозволить дрону знаходити своє місцезнаходження, навігувати по координатах та зберігати шлях польоту.

•Заміна радіомодуля Bluetooth LE на останню версію HM-10 с чипом CC2541 от компании Texas Instruments, який спілкується з керуючою електронікою за інтерфейсом UART [8].

#### **Література**

1. Як працює система виявлення перешкод дрона?– Режим доступу:<https://bit.ly/42B9DZA> – 02.03.2023– Назва з екрану.

2. Дрони і Супутники в Сільському Господарстві: Що Краще?– Режим доступу:<https://eos.com/uk/blog/dronu-ta-suputnyku/> – 23.02.2023– Назва з екрану.

3. Квадрокоптер DJI Mavic Mini– Режим доступу: [https://rozetka.com.ua/dji\\_cp\\_ma\\_00000121\\_01/p141068509/](https://rozetka.com.ua/dji_cp_ma_00000121_01/p141068509/)– 05.09.2019– Назва з екрану.

4. Holy Stone HS100– Режим доступу: <https://versus.com/ru/holy-stone-hs100> – 05.06.2021– Назва з екрану.

5. Квадрокоптер Syma X5UW-D– Режим доступу: <https://modelistam.com.ua/kvadrokofter-syma-x5uw-ghz-p-36121/>– 08.09.2022– Назва з екрану.

6. Квадрокоптер JJRC H68 White – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/61556486/p61556486/>– 04.07.2023– Назва з екрану.

7. Crazyflie 2.1– Режим доступу:<https://www.bitcraze.io/products/crazyflie-2-1/> – 05.09.2019– Назва з екрану.

8. Bluetooth Low Energy – Режим доступу: [https://amperka.ru/product/troyka-ble?utm\\_source=man&utm\\_campaign=troyka-ble&utm\\_medium=wiki](https://amperka.ru/product/troyka-ble?utm_source=man&utm_campaign=troyka-ble&utm_medium=wiki)– 08.09.2023– Назва з екрану

## АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ ОЦІНКИ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ЗА ДОПОМОГОЮ АНСЦЕНТНОГО ФІЛЬТРА КАЛМАНА

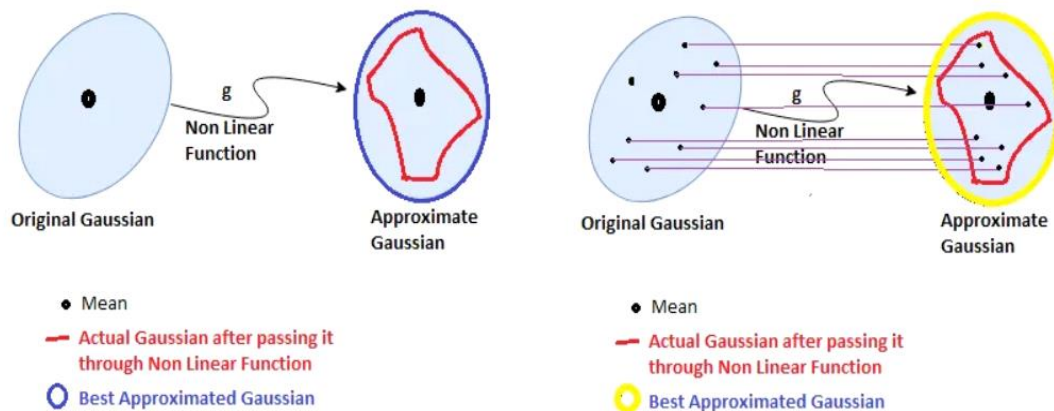
Голодяєва П. В., Ходаницький О. О., Гайдай А. В., Чмир Р. В.  
(Науковий керівник Товкач І. О.)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Радіотехнічний факультет

Оцінка місцеположення рухомого об'єкта є важливою задачею у таких галузях, як навігація, керування, моніторинг навколишнього середовища та багато іншого. Одним з найпоширеніших методів фільтрації траєкторії є фільтр Калмана, який призначений для обробки лінійних систем, але в більшості реальних задач системи та функції спостереження є нелінійними. Тому був розроблений розширений фільтр Калмана, який базується на лінеаризації нелінійних моделей. Однак, лінеаризація може привести до неточностей. Тому існує інша модифікація - ансцентний (сігма-точковий) фільтр Калмана [1].

Розглянемо принцип роботи ансцентного фільтра Калмана (UKF) в порівнянні з розширеним фільтром Калмана (EKF).

При лінеаризації для розширеного фільтра Калмана використовується лише одна точка - середнє значення гаусівського розподілу. Логічним припущенням було, що для досягнення більшої точності розрахунків необхідно апроксимувати з використанням більшої кількості точок, як зображено на рис.1.



а) б)  
Рисунок 1 – Порівняння принципів роботи фільтрів Калмана:  
а) розширеного; б) ансцентного

Етапи роботи ансцентного фільтра Калмана:

- Розрахунок набору сігма-точок.
- Призначення ваги для кожної з точок.

- Перетворення точок з використанням нелінійної функції.
- Розрахунок гаусівського розподілу з отриманих після перетворення та початкових вагових точок.
- Розрахунок середнього значення і коваріаційної матриці нового розподілу.

Набір сігма-точок визначається як:

$$X^{[0]} = \bar{x}, \quad (1)$$

$$X^{[i]} = \bar{x} + (\sqrt{(n + \lambda)P_k})_i, \text{ для } i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$X^{[i]} = \bar{x} - (\sqrt{(n + \lambda)P_k})_{i-n}, \text{ для } i = n+1, \dots, 2n, \quad (3)$$

де  $X$  — матриця сігма-точок,  $\bar{x}$  — середнє значення гаусівського розподілу,  $n$  — розмірність системи,  $\lambda$  — коефіцієнт масштабування,

$P_k$  — коваріаційна матриця.

Вага сігма-точок визначається як:

$$\omega^{[0]} = \frac{\lambda}{n + \lambda}; \quad \omega^{[i]} = \frac{1}{2(n + \lambda)}, \text{ для } i = 1, \dots, 2n. \quad (4)$$

Етап передбачення:

$$\hat{x}_{k/k-1}^{[i]} = f(\hat{x}_{k-1}^{[i]}), \quad (5)$$

$$\hat{x}_{k/k-1} = \sum_{i=1}^{2n} \omega^{[i]} \hat{x}_{k/k-1}^{[i]}, \quad (6)$$

$$P_{k/k-1} = \sum_{i=1}^{2n} \omega^{[i]} (\hat{x}_{k/k-1}^{[i]} - \hat{x}_{k/k-1})(\hat{x}_{k/k-1}^{[i]} - \hat{x}_{k/k-1})^T + Q, \quad (7)$$

де  $Q$  - похибка вимірювань

Етап оцінки:

$$\hat{y}_{k/k-1}^{[i]} = h(\hat{x}_{k/k-1}^{[i]}), \quad (8)$$

$$\hat{y}_{k/k-1} = \sum_{i=1}^{2n} \omega^{[i]} \hat{y}_{k/k-1}^{[i]}, \quad (9)$$

$$S_k = \sum_{i=1}^{2n} \omega^{[i]} (\hat{y}_{k/k-1}^{[i]} - \hat{y}_{k/k-1})(\hat{y}_{k/k-1}^{[i]} - \hat{y}_{k/k-1})^T + R, \quad (10)$$

де  $\hat{y}_{k/k-1}^{[i]}$  — перетворені сігма-точки,  $h$  — функція, яка відображає сігма-точки у просторі вимірювань,  $\hat{y}_{k/k-1}$  — середнє значення отриманого гаусівського розподілу,  $R$  — помилка вимірювання,  $S_k$  — нова коваріаційна матриця.

Взаємна кореляція між передбаченими і виміряними значеннями та коефіцієнт підсилення описується наступними рівняннями:

$$P_{k/k-1}^{xy} = \sum_{i=1}^{2n} \omega^{[i]} (\hat{x}_{k/k-1}^{[i]} - \hat{x}_{k/k-1}) (\hat{y}_{k/k-1}^{[i]} - \hat{y}_{k/k-1})^T, \quad (11)$$

$$K = P_{k/k-1}^{xy} S_k^{-1}. \quad (12)$$

Оцінка вектору стану  $\hat{x}_k$  та коваріаційна матриця  $P_k$  визначаються за формулами

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + K(\hat{y}_k - \hat{y}_{k/k-1}), \quad (13)$$

$$P_k = P_{k/k-1} - K S_k K^T, \quad (14)$$

де  $y_k$  — значення вимірювань, що надійшли з датчика.

Проведено моделювання алгоритму оцінки місцеположення об'єкту за допомогою ансцентного фільтра Калмана (1)-(14) та порівняння його з розширеним фільтром Калмана на основі RSS-вимірювань [2]. Похибка вимірювання потужності датчиками  $\sigma = 0,5$  дБм.

На рис. 2 показані залежності фактичного СКВ помилки оцінки місцеположення об'єкту, отримані методом Монте-Карло, для розширеного фільтра Калмана (крива 1) та ансцентного фільтра Калмана (крива 2).

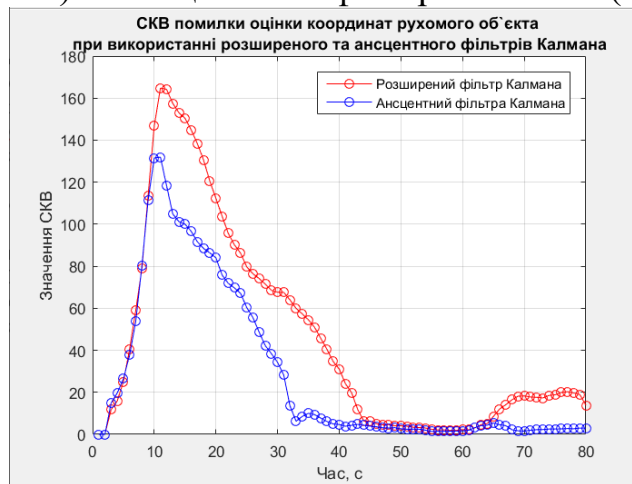


Рисунок 2 – Програмна симуляція ансцентного фільтра Калмана

Таким чином застосування ансцентного фільтра Калмана (1)-(14) дозволяє підвищити точність визначення місцеположення об'єкту в порівнянні з розширеним фільтром.

### Література

1. The Unscented Kalman Filter: Anything EKF can do I can do it better! [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: URL <https://towardsdatascience.com/the-unscented-kalman-filter-anything-ekf-can-do-i-can-do-it-better-ce7c773cf88d>.

2. I.O. Tovkach, O. S. Neuimin, S.Ya. Zhuk (2018). Filtration of parameters of the UAV movement based on the RSS-measurement at the unknown power of the transmitter, Proceedings of 14 th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, February 20 – 24, 2018.



## **COMPUTER VISION FOR DETECTION, CLASSIFICATION, AND TRACKING OF NON-TYPICAL LOW-CONTRAST TARGETS AGAINST COMPLEX BACKGROUND SURFACES**

*Yevdokimov D. O.*

*(Supervisor Zinher Y. L., Ph.D., associate professor)*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Faculty of Radio Engineering*

The ability to detect and continuously track non-typical targets against complex backgrounds was and still remains a significant challenge for an existing, and conventional image processing systems that have limitations in achieving high accuracy in heavy-duty real-world scenarios. It is impossible to solve said challenge using the conventional image and data processing methods, therefore, we need to use novel approach that leverages the power of both algorithmic Computer Vision (CV) and Machine Learning (ML) algorithms to enable a reliable detection, classification, and tracking capabilities of complex non-typical targets in low-contrast environments using both high and low fidelity target samples.

The proposed system comprises three main components: target detection; target classification; target tracking. The system receives input images from either the external optical location systems, infra-red search and track (IRST) sensors or camera modules, and each of these components processes the input image to detect, classify, and track the target.

Target detection component uses advanced computer vision techniques, such as edge detection, contour detection, and image segmentation, to extract potential target regions from the input image. These regions are then processed using feature extraction techniques to identify distinctive features that can be used for target classification.

Target classification component receives the potential target regions identified by the target detection component and utilizes machine learning algorithms, such as Convolutional Neural Networks (CNN) [1], to classify the target. The CNN model is trained using a large dataset of labeled target images to achieve high accuracy in target classification.

Target tracking component receives the output from the target detection and classification components and tracks the target's position and movement over time. This component uses various techniques, such as Kalman filters [2], Particle filters [3], and optical flow, to estimate the target's location, velocity, and acceleration and relay the processed relative position of the target to the main processing unit of the system for the further generation of the guidance commands based on the navigating system output.

The proposed system can be implemented on a variety of platforms, includ-



ing embedded systems and GPU-based servers, depending on the application requirements. For seekers of guided weapons, the system can be integrated into the seeker's signal processing unit to provide real-time target detection and tracking capabilities. Similarly, for optical sensors of UAVs, the system can be implemented onboard the UAV to provide real-time target detection and tracking capabilities. For electronic sights for infantry weapons, the system can be integrated into the sight's processor to provide a target detection and tracking interface for infantry soldiers.

To meet the demands for a high-performance system design while maintaining a high degree of modularity and interoperability. The core architecture of the proposed CV solution is going to be based on and further develop the concepts and principles described and used by OpenCV, SimpleCV and PyTorchCV open-source software modules for C++/Python programming languages. Also, occasional C/Rust intermediate layers can be used to form a modular execution layer for a variety of operational environments.

One of the most fundamental CV algorithms to be used is Satoshi Suzuki's "border following" algorithm described in the paper "Topological structural analysis of digitized binary images by border following" [4]. This algorithm works by tracing the boundary of the connected regions in the image using a set of rules based on the direction of the last boundary point.

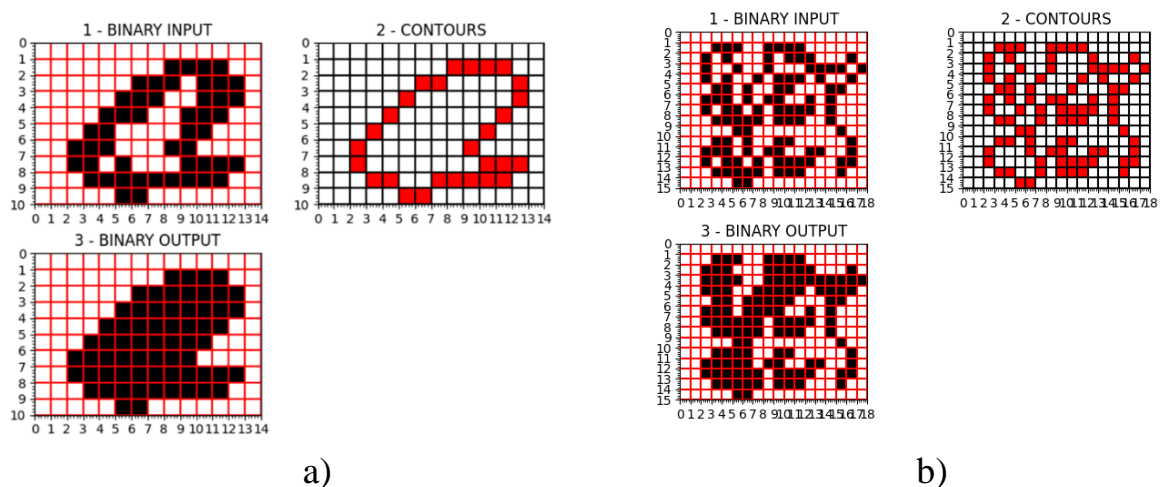


Figure 1 – Intermediate results that show closed contours search in binary images using Satoshi Suzuki's algorithm and further filling to form a processable silhouette:

a) Simple contour geometry; b) "Ragged" contour geometry

The time complexity of the algorithm in terms of Big-O notation can be described as  $O(N)$ , where  $N$  is the number of pixels in the binary image. This is because the algorithm visits each pixel in the image exactly once during the boundary tracing process. However, the actual run-time of the algorithm can be affected by the input data in several ways, for example the size of the image and the complexity of the boundary shape can affect the running time. Binary images with larger dimensions will take more time to process than a smaller binary image.

A more complex boundary shape will require more processing time to trace than a simpler shape. The algorithm also requires the input image to be of a binary format, meaning that the image is needed to be pre-processed to convert it to a binary format, which can also affect the overall execution time.

Overall, the core algorithm's time complexity is  $O(N)$ , but the actual runtime of the algorithm can be affected by various factors related to the input data, such as: the size of the image, the complexity of the boundary shape, and the type of pre-processing required.

To further improve the system's performance, additional techniques can be incorporated into each of the components. For instance, the target detection component can be enhanced with deep learning algorithms such as Faster R-CNN [5] or YOLO [6], which have shown significant improvements in target detection accuracy. The target classification component can also be enhanced by incorporating multi-modal features and feature fusion techniques, which may improve classification accuracy in complex scenarios.

Moreover, the proposed system can be extended to handle custom types of targets, such as moving targets, occluded targets, and targets in cluttered environments. The system can also be modified to adapt to different types of sensors and platforms, depending on the application requirements.

In conclusion, the proposed architecture is designed to create a robust and comprehensive computer vision system that can detect, classify, and track non-typical low-contrast targets for military applications in real-time scale. The system can be used with various military weapon systems, including guided munitions, tactical and operational-level UAVs, armored fighting vehicles, and infantry weapons to enhance the targeting capabilities of the system the CV application is integrated with.

### References

1. Deep Learning for Vision: A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks. 2017. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://arxiv.org/abs/1412.6806>
2. A Kalman Filter-Based Approach for Joint Multi-Object Tracking and Classification," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9378728>
3. Particle Filter Re-detection for Visual Tracking via Correlation Filters. 2018. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://arxiv.org/pdf/1711.10069.pdf>
4. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. 1985. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1056637>
5. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. 2015. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://arxiv.org/abs/1506.01497>
6. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 2015 [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://arxiv.org/abs/1506.02640>

## **МАШИННЕ НАВЧАННЯ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛІВ ВИХРОСТРУМОВОЮ РАДІОТЕХНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ**

**Желябовський А. Ю.**

*(Науковий керівник Піддубний В. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Задача ідентифікації матеріалу металевого об'єкту завжди була актуальною. За звичай вона вирішується шляхом хімічного аналізу досліджуваного об'єкту, методами спектроскопії то що. Однак ці методи потребують очистки поверхні від окислів, забруднень та проводяться в лабораторних умовах. Для експрес аналізу навіть прихованих металевих предметів можна використати вихрострумові (ВС) методи дослідження. За звичай вони використовуються в металошукачах для виявлення та попередньої дихотомічної класифікації матеріалу на підкласи (магнітний чи немагнітний, чорний чи кольоровий). Однак деякі доопрацювання методу описані в [1] дозволили розробити радіотехнічну систему (РС), що може ідентифікувати метали в середині цих підкласів. В основі її роботи лежить оцінка фазових зсувів сигналу відгуку, що наводиться в металевому об'єкті, відносно сигналу зондування. Форма сигналу відгуку на виході фазового детектора РС (рис.1) залежить від матеріалу досліджуваного об'єкту та дозволяє виявити ідентифікаційні ознаки, що є специфічними для кожного конкретного металу.

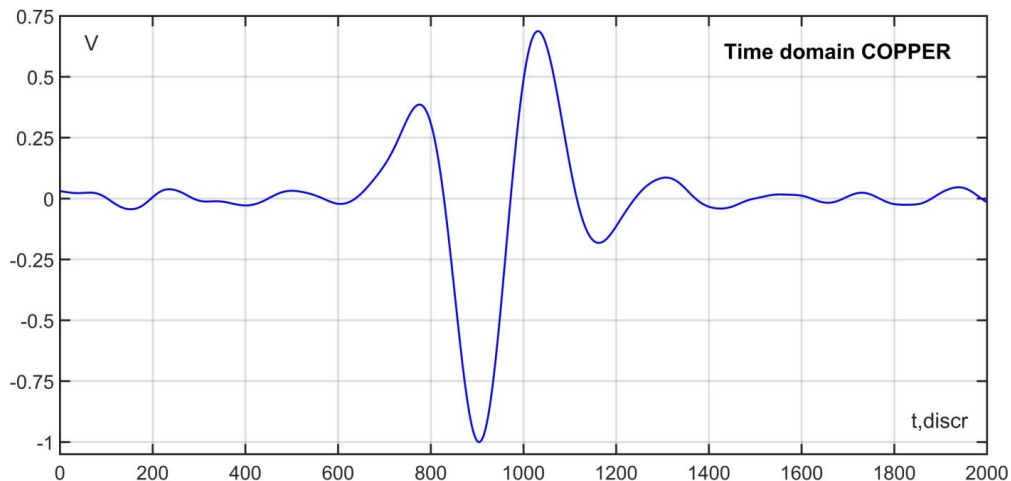


Рисунок 1 – Форма нормованого сигналу відгуку на виході фазового детектора РС

В якості ідентифікаційних ознак (інформаційних критеріїв) вибрані ознаки, які характеризують часову форму сигналу та його енергетичний спектр. Це координати точок переходу сигналу через нульову лінію, амплітуди та знак основних екстремумів для графічно-цифрового методу [2] та

площа енергетичного спектру за заданим рівнем (вибрано – 80 дБ), коефіцієнт його симетричності, нижня та верхня межі спектру – для спектрального [2]. Для розрахунку чисельних значень критеріїв використовується графічно-цифровий та спектральний методи обробки сигналу відгуку, які закладені в роботу РС. Слід сказати, що для немагнітних металів перший максимум сигналу відгуку має негативну полярність, для магнітних – позитивну.

Чисельне значення цих ознак для деяких металів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Інформаційні ознаки деяких металів

Тип металу	Коефіцієнт K%	Коефіцієнт симетричності, $E_{сим}$	Площа спектра (дБ·Гц), $S_{xs}$	Нижня межа спектра, $f_n$	Верхня межа спектра, $f_v$
Сталь 20	68.6930± 0.6547	-32.0409± 0.5760	1347.6± 15.2735	1.0458± 0.0294	33.0836± 0.6986
Нікель	40.2355± 0.4653	29.4333± 0.5808	1388.6± 21.1164	1.5965± 0.0276	31.6523± 0.6227
Мідь	46.0605± 0.5420	26.3130± 0.3408	1398.2± 20.3308	1.3047± 0.0179	34.5178± 0.2397
Срібло 9999 проби	46.0726± 0.8573	30.5019± 0.5715	1414.9± 16.6777	1.6986± 0.1887	29.7957± 0.5054
Золото 9999 проби	48.7495± 0.9686	21.2310± 0.6637	1313.0± 18.5102	1.3121± 0.0414	29.9990± 0.9821

Коефіцієнт  $K\%$  – це відсоткова різниця між двома найбільшими максимумами сигналу відгуку  $A_1$  та  $A_2$

$$K = \frac{A_1 - A_2}{A_1} 100\% ,$$

де  $A_1$  – амплітуда першого максимуму,  $A_2$  – амплітуда другого максимуму нормованого сигналу відгуку.

Задача ідентифікації полягає в кількісному розрахунку ознак для досліджуваного об'єкту та їх порівнянні з даними, які записані в попередньо сформованій базі даних металів. На основі порівнянь робиться висновок про матеріал об'єкту.

В розглянутій РС проводиться візуальне порівняння сигналів та розрахованих інформаційних ознак. Однак це заняття клопітке та займає багато часу. Крім того результат порівняння залежить від кваліфікації оператора. Цю задачу можна вирішити за допомогою штучного інтелекту (ШІ) шляхом використання чисельного обчислення інформаційних ознак металу та порівняння їх із записаними в базу даних (навчальною виборкою). Штучний інтелект оперує поняттями образ (клас) та об'єкт. В нашому випадку образ – це множина об'єктів, які мають спільні властивості (однакові значення ідентифікаційних ознак, що визначають приналежність досліджуваного металу

до даного типу). Об'єкти – це зразки, які досліджуються. Для ідентифікації необхідно створити базу даних інформаційних ознак різних металів та використати в РС алгоритми ШІ [3], що значно спростить та пришвидшить процес ідентифікації.

Зараз в системі розпізнавання образів виконується оператором шляхом порівняння значень визначених критеріїв з наявними в базі даних та досвіду роботи з приладом. Це тривалий та кропіткий процес. Однак цю задачу можна вирішити за допомогою алгоритмів машинного розпізнавання порівнюючи чисельні значення обрахованих ознак досліджуваного металу з наявними в навчальній виборці даними. Штучний інтелект оперує поняттями образ (клас) та об'єкт. В нашому випадку образ – це множина об'єктів, які мають спільні властивості (однакові значення ідентифікаційних ознак, що визначають приналежність досліджуваного металу до даного типу). Об'єкти – це зразки, які досліджуються алгоритмами машинного розпізнавання.

Ця задача є класичною задачею класифікації, яка може бути використана і в цьому випадку [4]. У нас є набір даних, у нас є базові значення критеріїв для порівняння (розмічені дані з ознаками та категоріями, які машина буде визначати за цими ознаками). Для розв'язання цієї задачі можна використати різні методи штучного інтелекту (машинний опорний вектор, нейронні мережі, евклідов мінімум тощо). Питання вибору методу відкрите. Пакети стандартного програмного забезпечення доступні в середовищі Інтернет [5].

Таким чином показана необхідність використання методів ШІ для задач ідентифікації металів вихрострумовою радіотехнічною системою.

#### Література

1. Абрамович А.О. Дистанційний вихрострумний аналіз складу металевих об'єктів / А. О. Абрамович, В. О. Піддубний, І. С. Каширський // Міжнародний науково-технічний журнал «Металлофізика и новейшие технологии». Том. 39 (№8) — 2017. — Київ — С.1035–1049. URL: <http://mfint.imp.kiev.ua/ru/abstract/v39/i08/1035.html>
2. Abramovych A. Eddy-current system for identification of metal objects / A. Abramovych, V. Bazhenov, V. Piddubnyi // Sciences of Europe. – Praha, Czech Republic – 2020. – Vol 1. – №56. – p. 44-53. Доступно за посиланням: <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2020/10/VOL-1-No-56-2020.pdf>
3. Машинне навчання простими словами. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: URL: <http://mmf.com.ua/ar/1739> — Назва з екрана.
4. Абрамович А.О., Піддубний В.О. Ідентифікація металевих об'єктів вихрострумним пристроєм // Science and innovation of modern world. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2023. Pp. 247-252. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-innovation-of-modern-world-23-25-02-2023-london-velikobritaniya-arhiv/>.
5. Алгоритми в бібліотеці SciKit Learn (Офіційна документація в пакеті SciKit Learn). [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html> — Назва з екрана.



## ПРИДУШЕННЯ ЗАВАД НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Запорожець Д. А.

(Науковий керівник Вишневий С. В., к.т.н)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет

Цифрові зображення знаходять широке застосування в сучасних різноманітних технічних системах збору та обробки даних. При цьому зображення можуть отримуватися як в оптичному спектральному діапазоні так і в інших діапазонах.

Враховуючи особливості функціонування пристроїв реєстрації зображень, отримані дані у відповідній системі технічного зору можуть бути спотворені завадою, що може призводити до зниження точності результатів в ході виконання відповідних процедур обробки та аналізу зображень.

Серед завад, які можуть бути присутніми на зображеннях можна виділити такі: адитивна завада, імпульсна завада, спекл-шум та ін. [1]. Таким чином часто виникає необхідність виконувати фільтрацію перед наступними стадіями обробки даних. Фільтрація часто виступає першим етапом обробки з метою поліпшення відношення сигнал/шум (рис. 1).



Рисунок 1 – Стадії обробки даних у формі зображень

Фільтрація може відбуватися в просторовій області, коли обробка виконується безпосередньо над значеннями пікселів зображення, наприклад, шляхом взаємодії відліків зображення та відліків обраної імпульсної характеристики фільтра, або ж фільтрація може проводитися в частотній області, при цьому необхідно виконувати пряме та зворотне перетворення Фур'є, що може бути реалізовано використанням алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (рис. 2) [2]. Кожен із підходів може характеризуватися своїми перевагами та недоліками і вибір методу або алгоритму обробки зображення може ґрунтуватися на особливостях як самого зображення так і наявності на зображенні відповідних видів завад.

Для придушення імпульсної завади застосовується медіанний фільтр, при цьому вибір розміру апертури (вікна) фільтра зазвичай обирається  $3 \times 3$ , хоча можуть обиратися і інші значення:

$$\hat{x}(n, m) = \text{med}(y(k, l)), \quad (k, l) \in D_i$$

Для придушення завади, яка описується моделлю адитивного гаусівсь-

кого шуму часто застосовується фільтр Калмана, який може бути представлений як у скалярній формі, так і у векторно-матричній формі. У якості недоліку двовимірного фільтра Калмана можна відзначити необхідність суттєвих обчислювальних витрат при оперуванні матрицями.

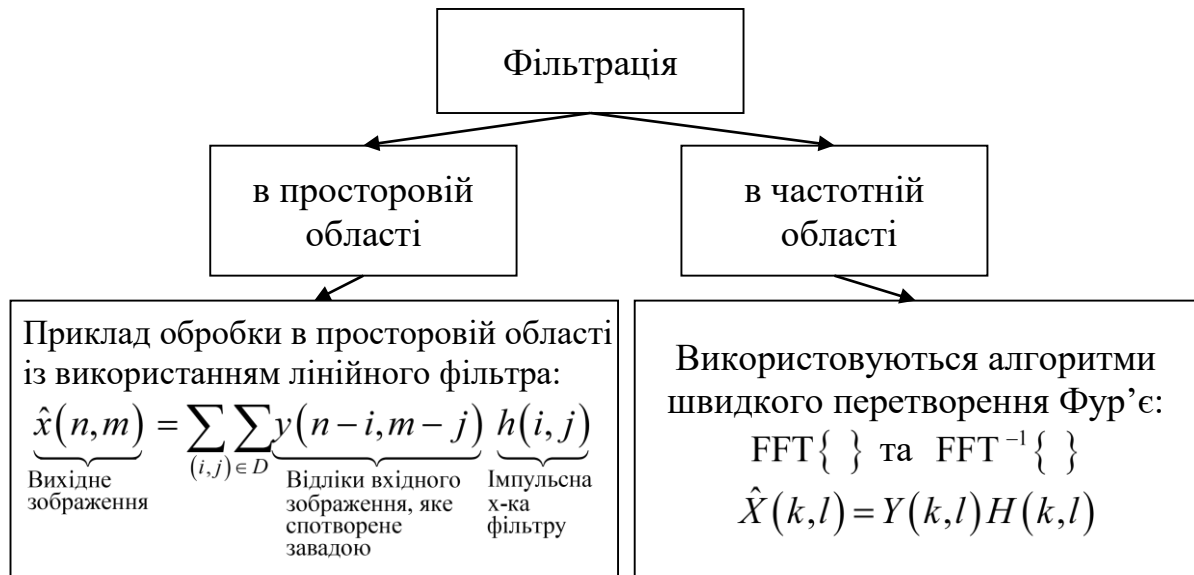


Рисунок 2 – Фільтрація зображень в просторовій та частотній області

Для придушення завади у вигляді спекл-шуму можуть застосовуватися методи, які передбачають використання гомоморфної обробки, при цьому для зменшення обчислювальних витрат і разом з тим для врахування двовимірного характеру даних, які підлягають обробці, знаходять своє застосування двоетапні методи фільтрації. В такому випадку придушення спекл-шуму відбувається із необхідністю виконання стадій обробки, які представлені на рис. 3 [3]. Крім того, широке застосування знаходять фільтр Лі, фільтр Фроста та ін., які передбачають обробку кожного відліку зображення локально, використовуючи апертуру (вікно) фільтра розміром 3×3, 5×5 та ін. [4].

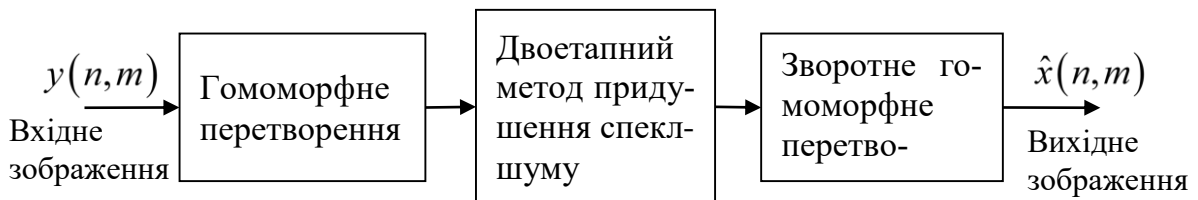


Рисунок 3 – Стадії обробки зображення для придушення спекл-шуму при застосуванні двоетапного методу фільтрації

Враховуючи, що зображення можуть бути спотворені неоднорідною завадою, яка може проявлятися в тому, що на різних частинах зображення завада може характеризуватися різною потужністю, або ж на зображенні можуть бути присутні завади різних видів, то це може суттєво ускладнювати

процес фільтрації, зокрема накладати додаткові вимоги щодо вибору видів фільтрів та вибору параметрів фільтрів, що призводить до необхідності застосування адаптивних методів фільтрації. Адаптивні методи та алгоритми фільтрації передбачають використання фільтрів, параметри яких можуть змінюватися в залежності від особливостей завади. Недоліком адаптивних методів фільтрації може вважатися складність їх реалізації, а також для виконання адаптивної фільтрації може виникати необхідність у проведенні додаткових процедур аналізу вхідного зображення, які можуть бути застосовані з метою виділення на зображенні областей із однаковим видом завади з метою подальшого застосування до них відповідних фільтрів, які б узгоджувалися із видом та параметрами завади, що спотворює область чи окремі деталі зображення.

Вибір методу фільтрації повинен ґрунтуватися на аналізі вхідних зображень, які необхідно обробляти, а також на оцінці видів завад, які спотворюють значення відліків зображення. Для цього можуть використовуватися тестові навчальні дані або ж оцінка завади може виконуватися на основі безпосереднього використання вхідних зображень, які надходять від пристрою реєстрації під час функціонування відповідного апаратно-програмного комплексу збору та аналізу даних. Вибір методів фільтрації може визначатися не тільки необхідністю забезпечити найкращий результат фільтрації, але також часто на перший план може виходити швидкодія алгоритму та можливість його реалізації в реальному часі.

Таким чином, вибір алгоритму придушення завади при обробці зображень у відповідній системі технічного зору може носити компромісний характер і ґрунтуватися на необхідності забезпечення основних технічних характеристик роботи системи по обробці зображень.

#### **Література**

1. Verna R. A Comparative Study of Various Types of Image Noise and Efficient Noise Removal Techniques / R. Verna, J. Ali // *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. — 2013, — Vo.3. — №10. — P. 613–622.
2. Gonzalez R.C. Digital Image Processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods. — Pearson Education Limited, 2018. — P. 1022.
3. Ляшук А.Н. Гомоморфная двухэтапная фильтрация последовательности изображений при наличии коррелированного спекл-шума / А.Н. Ляшук, С.В. Вишневы, С.Я. Жук // *Вісник НТУУ «КПІ», Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. — 2017. — № 71. — с. 52–59.
4. Santoso A.W. Performance of Various Speckle Reduction Filters on Synthetic Aperture Radar Image / A.W. Santoso, D. Pebrianti, L. Bayuaji, J.M. Zain // *4<sup>th</sup> International Conference on Software Engineering and Computer Systems (ICSECS)*: 19–21 Aug. 2015. — P.11–14.



## **РОЗРАХУНОК ЕНЕГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З СУПУТНИКІВ НИЗЬКИХ НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБІТ**

*Захарченко М. М.*

*(Науковий керівник Шпилька О. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

В супутникових системах передачі даних розрізняють два види передачі інформації: з супутника на землю, що носить назву даунлінк (від англ. Downlink – лінія вниз), та з землі на супутник, що носить назву аплінк (від англ. Uplink – лінія вгору). Зазвичай аплінк використовується для передачі команд та налаштувань для супутника і не потребує великої швидкості передачі даних і відповідно широкої смуги каналу. Даунлінки використовуються для передачі як телеметричної інформації обладнання супутника так і цільової інформації (зображення, результати вимірювань та ін.). Параметри даунлінків безпосередньо залежать від діапазону частот, що використовуються в системі, тому розглянемо деякі з найпоширеніших діапазонів та їх характеристик:

1. Ка-діапазон (26,5-40 ГГц) та Ку-діапазон (12-18 ГГц): Високі частоти цих діапазонів дозволяють передавати великі об'єми даних, що роблять їх популярними для супутникових систем передачі з високою швидкістю. Характеристики включають високу пропускну здатність та високу ефективність передачі даних але також є суттєві обмеження в зоні покриття. Переваги: малий розмір антен та можливість забезпечення великої швидкості передачі. Недоліки: великі затування в зв'язку з розповсюдженням радіо хвилі, малий вибір електронних компонентів в комерційних цілях.

2. Х-діапазон - це діапазон радіочастот, який знаходиться в діапазоні від 8-12 (ГГц). Цей діапазон використовується в багатьох радіотехнічних застосунках, таких як радіолокація, радіозв'язок, наукові дослідження та інші [3]. Переваги: зменшується затування в наслідок розповсюдження, залишаються досить високі швидкості передачі даних, більш розповсюджена елементна база. Недоліки: збільшуються розміри антенни.

3. С-діапазон (4-8 ГГц): С-діапазон зазвичай використовується для комерційних та військових систем зв'язку. Цей діапазон є менш ефективним для передачі високошвидкісних даних але має більшу дальність сигналу та стійкість до перешкод. Переваги: дальність передачі даних збільшується, не засмічений ефір. Недоліки: розміри антен і невеликий вибір елементної бази.

4. S-діапазон: Частотний діапазон 2-4 ГГц використовується для даунлінків у низькоорбітальних і геостаціонарних супутниках. Ширина смуги

зв'язку зазвичай складає від 50 МГц до 500 МГц. Цей діапазон є популярним для супутникових систем моніторингу і навігації. Переваги: Є готові рішення для прийому сигналу, неліцензований діапазон (2,4 ГГц, 5 ГГц). Недоліки: засмічений діапазон (Wi-fi, Bluetooth, мережі мобільних операторів), збільшуються розміри антен, складно реалізувати широку смугу, для забезпечення високошвидкісної передачі даних.

Як видно з аналізу діапазонів, найкращим варіантом для високошвидкісних каналів передачі інформації з низькоорбітальних супутників являється X діапазон. Розглянемо характеристики даунлінків X-діапазона, що представлені сьогодні на світовому ринку:

**1. X / S Transceiver EWC27+OPT27-SRX [1]**

Характеристики:

Потужність - 33 дБм

Рівень прийому – -125 дБм

Споживання – 11 Вт

Швидкість = 100 МБіт/с



Рисунок 1

**2. X Band Transmitter EWC30-NEXT**

Характеристики:

Потужність - 40 дБм

Споживання – 10 Вт

Рівень прийому – -100,45 дБм

Швидкість = 600 МБіт/с



Рисунок 2

**3. X Band Transceiver SDR for Small Satellites [2]**

Характеристики:

Потужність - 30 дБм

Споживання – 15 Вт

Рівень прийому – -110,45 дБм

Швидкість = 25 МБіт/с

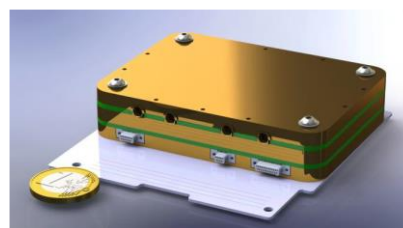


Рисунок 3

Як видно з представлених характеристик передавачів, доцільним буде розробити даунлінк X-діапазону з швидкістю передачі  $V = 300$  МБіт/с. Для роботи з низькоорбітальними супутниками, потрібно забезпечити функціонування на відстані 600 км на частоті 9500 МГц. В якості схеми модуляції вибираємо сузір'я QAM16, з теоретичною спектральною ефективністю 4 біт/Гц/с, тому для забезпечення швидкості в 300 МБіт/с необхідна полоса сигналу буде 75 МГц, з врахуванням захисних інтервалів, для розрахунку

вибираємо смугу в 80 МГц.

Приведемо методику розрахунку потужності передавача для забезпечення достовірної передачі інформації при заданих параметрах.

Розрахунок потужності шуму приймача в смузі  $F = 80$  МГц.

$$P_{noise} = 10 \log(k \times T) + 10 \log(80 \times 10^6) + N \quad (1)$$

де  $P_{noise}$  — рівень шуму,  $k$  — стала Больцмана,  $T$  — температура провідника,  $N$  — коефіцієнт шуму, вибирають порядку 2 дБ.

Температура провідника = 300 К.

Для забезпечення ймовірності бітової помилки на рівні  $10^{-4}$  необхідно створити співвідношення  $Eb/N0$  14 дБ, яке для заданих параметрів можна перерахувати в  $SNR$ :

$$SNR = \frac{Eb \cdot V}{N0 \cdot F} = 19,5 \text{ дБ}$$

Тому вихідна потужність передавача повинна забезпечувати рівень вхідного сигналу на 19,5 дБ вище ніж потужність шуму:

$$P_{tr} = \frac{(P_{noise} + SNR) \times (4\pi)^2 \times R^2}{G_{tr} \times G_r \times \lambda^2} = 34,7 \text{ дБм} \quad (2)$$

де  $P_{tr}$  — потужність передавача,  $G_{tr}$  — підсилення антени передавача вибираємо з коефіцієнтом підсилення 20 dB,  $G_r$  — підсилення антени приймача використаємо з коефіцієнтом підсилення 40dB,  $R$  — відстань,  $\lambda$  — довжина хвилі рівна 0,03 м.

Використання супутникових трансиверів є надзвичайно важливим для безпеки та ефективності деяких галузей, таких як телекомунікації, навігація, метеорологія, військова справа та багато інших. З проаналізованих даних видно, що найбільш актуальним на ринку буде даунлінк з швидкістю 300 Мбіт/с, а проведні розрахунки показують, що для забезпечення достовірності передачі даних, необхідно створювати передавачі з потужністю 36 дБм.

### Література

1. Data sheet. iq space com. iq space com. URL: <https://www.iq-spacecom.com/> (date of access: 12.04.2023).
2. Data sheet. Syrlinks, your RF communication partner for your space mission. Syrlinks, your RF communication partner for your space mission. URL: <https://www.syrlinks.com/> (date of access: 12.04.2023).
3. X Band - Microwave Frequency Band. everything RF - The leading website for the RF & Microwave Industry. URL: <https://www.everythingrf.com/community/x-band> (date of access: 12.04.2023).

## **ПІДХОДИ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ РЛС В РІЗНИХ УМОВАХ**

***Іванченко Ю. В.***

***(Науковий керівник Чмельов В. О., к.т.н., доцент)***

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Радіолокаційні системи (РЛС) забезпечують виявлення об'єктів на великих відстанях і забезпечують контроль простору, який охороняється.

Тому основною задачею для РЛС є забезпечення їх ефективної роботи в різних умовах завадо-цільової обстановки. Аналіз низки факторів, які негативно впливають на ефективність РЛС показує, що групу факторів, таких як пасивні завади від місцевих предметів і метеутворень, вплив поверхні землі можна передбачити та вжити заходи до їх нейтралізації, але інші фактори, це активні завади роботі РЛС природного або штучного походження передбачити неможливо. Тому, саме активні завади є основною проблемою для забезпечення якісної роботи РЛМ щодо виявлення радіолокаційних цілей [1].

Активні завади в радіолокаційних системах - це електромагнітні сигнали, які спеціально створюються з метою перешкоджання роботі РЛС. Завади можуть бути спрямованими або ненаправленими. Спрямовані завади генеруються і передаються у напрямку РЛС з метою спрямованого затемнення її приймальної антени. Ненаправлені завади передаються у всі напрямки, що збільшує їх ефективність в перешкоджанні РЛС.

Для забезпечення ефективної роботи РЛС в різних умовах використовуються різні методи компенсації цих факторів. Можуть застосовуватися фільтри або адаптивні алгоритми. Важливою також є оптимізація параметрів РЛС під конкретні умови. Забезпечення ефективної роботи РЛС в різних умовах вимагає комплексного підходу та застосування різноманітних технологій та методів [2]. Підходи можуть бути використані в різних комбінаціях в залежності від поставленої задачі та умов експлуатації.

В роботі пропонується застосувати один із підходів до побудови адаптивної системи, яка може змінювати параметри РЛС в реальному часі в залежності від завадо-цільових навколишніх умов.

З початку проаналізуємо традиційні підходи для підвищення ефективності роботи РЛС в умовах дії активних завад.

Одним з підходів до забезпечення ефективної роботи РЛС є збільшення потужності передавача сигналу. За допомогою збільшення потужності передавача збільшується дальності виявлення об'єктів та підвищується точності визначення їх координат.

Другим підходом є використання антени з вузькою діаграмою направленості. Така антена дозволяє зосереджувати потужність сигналу у потрібному напрямку. В такому разі зменшується вплив джерела активних завад на основну пелюстку діаграми спрямованості. Також можна використовувати фазовану антенну решітку, та автокомпенсатори активних завад з додатковими антенами компенсаційних каналів просторової обробки сигналів і просторової селекції джерел випромінювання [2].

Третій підхід полягає в оптимізації параметрів обробки радіолокаційного сигналу та використанні новітніх технологій. Використовуються алгоритми статистичної обробки сигналу, машинного навчання та штучного інтелекту. Моделювання різних сценаріїв роботи РЛС та розробка оптимальних алгоритмів обробки сигналів значно зменшує час обробки та підвищує точність результатів [3]. Використання штучного інтелекту та машинного навчання може значно підвищити ефективність роботи РЛС тим, що може забезпечити автоматизацію процесу обробки сигналів та прогнозування можливих загроз. Новий алгоритм фільтрації даних використовується для підвищення точності визначення координат цілі, що також підвищує точність РЛС у різних умовах.

Але усі перелічені заходи не спроможні подолати негативний вплив імітуючої активної завади. Це завади, які імітують радіолокаційний сигнал РЛС, і таким чином створюють хибну радіолокаційну інформацію щодо кількості цілей та їх параметрів (координат та швидкостей). Такі завади випромінюються безпосередньо з радіолокаційних об'єктів в режимі самоприкриття, і створюють хибне уявлення про цільову обстановку рис. 1.

Технічним рішенням для боротьби з такими завадами є адаптація РЛС щодо зміни параметрів складного сигналу зондування, в умовах обмеженого частотного діапазону сталих технічних параметрів апаратної частини РЛС. Для побудови алгоритму адаптації РЛС в роботі проведено порівняльний аналіз різних типів складних радіолокаційних сигналів (ЛЧМ, КФМ код Баркера, та М-последовності).

Критерієм порівняння потенційних можливостей різних сигналів для боротьби з імітуючою завадою було зміна коефіцієнта кореляції сигналів в інтервалі часу, рівного періоду повторення зондування. За результатами компаративного аналізу, та при умові, що постановник імітуючої завади може збільшувати потужність випромінювання у великих межах, оптимальним є КФМ сигнал з М-последовністю, яка періодично змінюється. Адаптація РЛС з використанням КФМ сигналу з М-последовністю може бути реалізована без необхідності внесення змін в апаратну частину РЛС, що робить її ефективною і недорогою технічною рішенням для боротьби з імітуючими завадами.



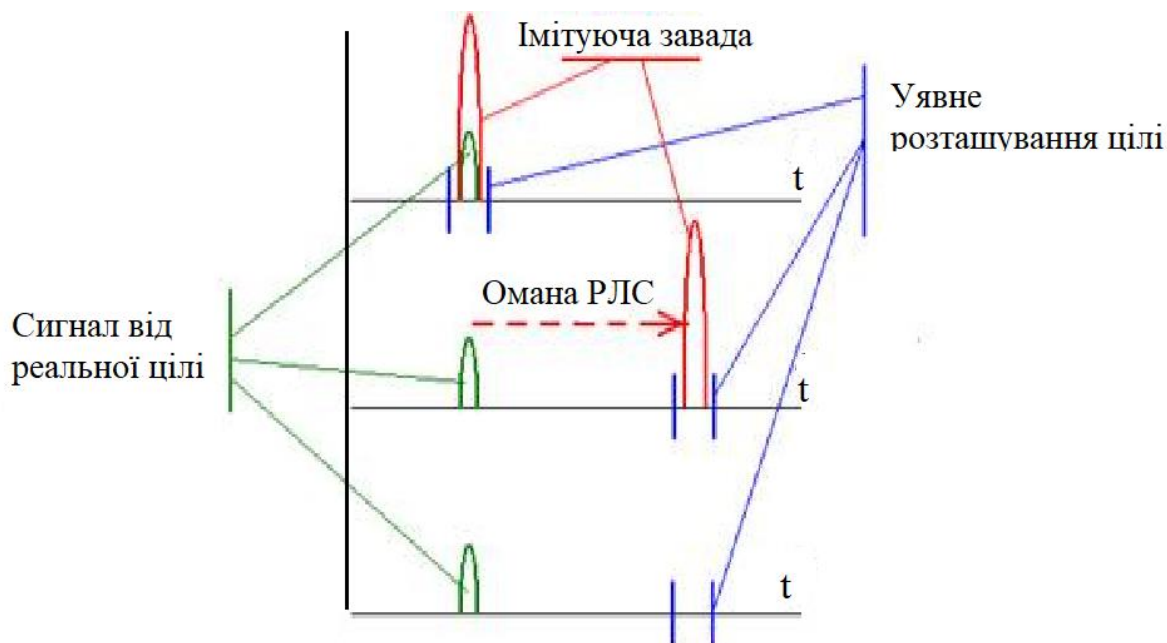


Рисунок 1 – Епюри прийнятих сигналів РЛС від цілі та імітуючої завади

Отже, розроблений алгоритм адаптації дозволяє варіювати параметрами зондуючого радіолокаційного сигналу у кожному періоді повторення, і таким чином забезпечити селекцію сигналів, що відбилися від реального радіолокаційного об'єкту, від сигналів, що імітують наявність хибної цілі.

#### Література

1. Теорія радіолокаційних систем (видання друге): підручник/ Б.Ф. Бондаренко, В.В. Вишнівський, В.П. Долгушин та іню; за заг.ред. С.В. Ленкова. – К. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011.- 261с.
2. Основи теорії радіотехнічних систем: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного Університету Львівська політехніка, 2005. -240 с.: іл. ISBN 966-553-439-4.
3. Майборода, І. В., Жук, С. М., & Ходор, В. І. (2015). Використання нечіткої логіки у задачах оцінки ефективності функціонування радіолокаційних систем. Збірник наукових праць Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Інформаційні системи та мережі, (837), 125-132.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ADS-B В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

**Картушин О. Ю.**

**(Науковий керівник Васильєв В. М., професор)**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Автоматичне залежне спостереження (Automatic Dependent Surveillance (ADS)) це метод спостереження, при якому повітряні судна (ПС) автоматично передають від бортових навігаційних систем через цифрову лінію зв'язку інформацію, яка може бути використана службами керування повітряним рухом (КПР) [1].

Наразі використовуються дві версії ADS: ADS-B і ADS-C.

Автоматичне залежне спостереження - трансляція (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)) – це технологія кооперативного спостереження, в якій ПС визначає своє місцеположення через супутникову систему навігації та поширює його бортовим відповідачем. Цю інформацію можуть отримувати будь-які наземні станції, які оснащені відповідними приймачами, та інші ПС.

Автоматичне залежне спостереження - контракт (Automatic Dependent Surveillance-Contract (ADS-C)) – схожа до ADS-B, але обмін даними відбувається шляхом встановлення безпосереднього адресного каналу зв'язку між наземною станцією та ПС за вимогою сторін. Такий режим зазвичай використовується у міжконтинентальних або трансокеанічних польотах, де рівень трафіку не високий. Інша сфера застосунку такого режиму спостереження – передача критичної інформації або команд від диспетчера. До недоліків ADS-C слід віднести необхідність участі обох сторін для ініціації передачі даних, низька швидкість передачі даних через необхідність безпосереднього каналу зв'язку між ПС та КПР.

Структурна схема організації роботи ADS-B показана на рисунку 1. Навігаційне обладнання, яке встановлено на ПС, в автоматичному режимі приймає GPS сигнал від супутників, визначає з нього свої поточні координати та передає ці дані, доповнені інформацією про бортовий номер літака, висоту польоту, відміткою часу, тощо в режимі реального часу, формуючі широкосмугове повідомлення ADS-B Out. Це повідомлення може бути отримане приймачами, які розташовані на землі або на інших ПС та які знаходяться в зоні дії сигналу (300–600 км). Отримані дані від різних приймачів можуть бути накопичені та оброблені на централізованому сервері. Консолідована таким чином інформація може використовуватись надзвичайно гнучким чином: як при управлінні польотами, доповнюючи інформацію з традиційних радарів, так і для побудови різноманітних сервісів, наприклад

flightradar – веб-ресурс, що в реальному часі відображає інформацію про положення літаків, які оснащені системою ADS-B.

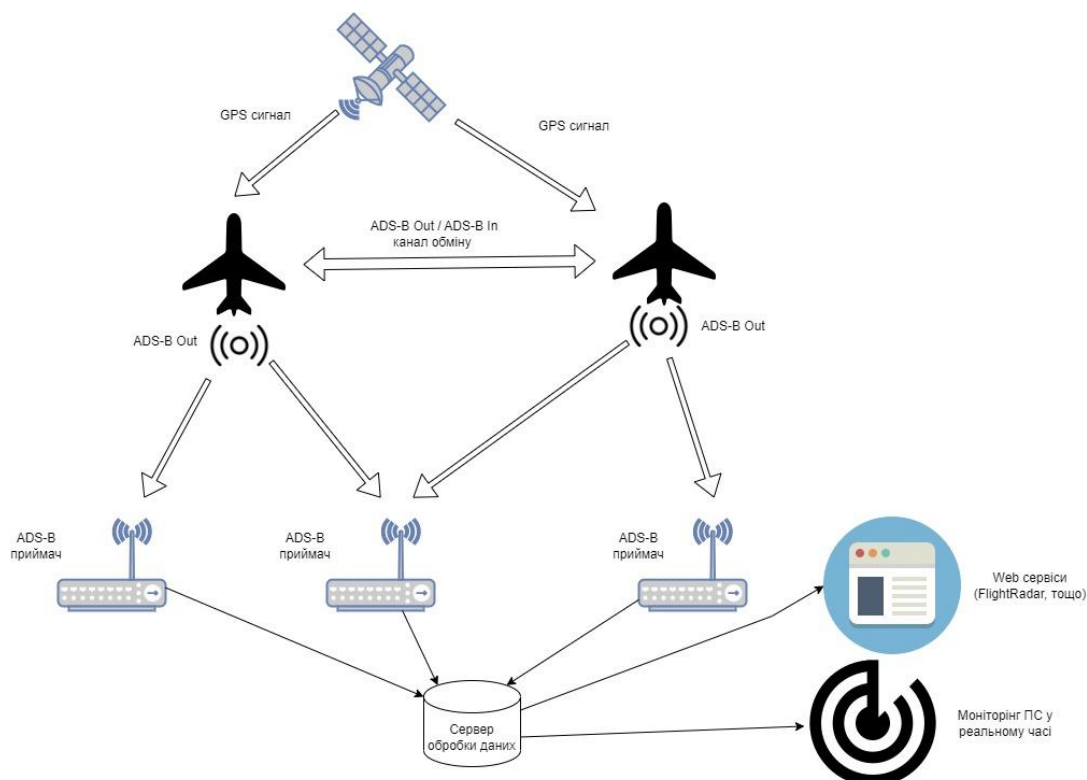


Рисунок 1 – Структурна схема організації роботи ADS-B

Іншою особливістю роботи системи є можливість прямого обміну інформацією між ПС, які оснащені відповідним обладнанням та знаходяться у зоні дії сигналу через формування ADS-B In/Out повідомлень. Ця інформація може бути використана, наприклад для автоматичного попередження екіпажу про небезпечне зближення з іншим ПС без участі диспетчера.

Для застосування ADS-B в автоматизованих системах керування повітряним рухом (АС КПП) обов'язковим є передача до АС КПП базового блоку, що містить координати поточного місцезнаходження (широта і довгота), а також значення висоти польоту, моменти часу формування повідомлення (в одиницях Всесвітньо скоординованого часу UTC), ознаки наявності на борту системи попередження зіткнень і обчислену величину показника якості роботи бортового навігаційного обладнання. Решта інформаційних блоків додається до кодограми ADS за запитом наземної системи відповідно до угоди ADS для назначеного рейсу.

Програмне забезпечення обробки даних ADS в АС КПП має підтримувати весь цикл взаємодії систем навігації, зв'язку, спостереження, літаководіння і управління потоками ПС. При цьому необхідно чітко відстежувати стан супутників, їх виміряні координати в кожен поточний момент часу, і своєчасно складати прогноз упереджених координат. Від точності предста-



влених в системі даних про супутники залежать результати всіх радіонавігаційних вимірів на ПС, оснащених апаратурою ADS.

Перш за все дані ADS використовуються для моніторингу руху, при якому здійснюється аналіз поточної траєкторії польоту і диспетчеру надається інформація про можливе або фактичне відхилення від запланованої траєкторії (рисунок 2). Система моніторингу також створює різного виду нагадування для виконання диспетчером необхідних дій при обслуговуванні повітряного руху.

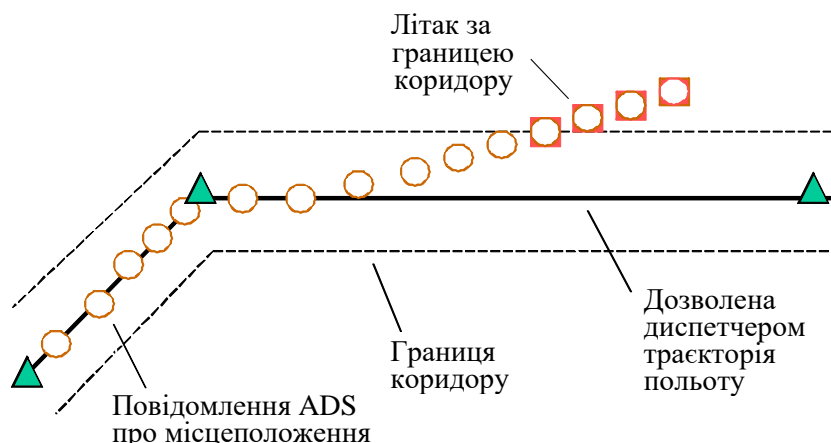


Рисунок 2 – Контроль відхилення від запланованого руху

Пропонується інтегрована обробка даних РЛС і ADS, завдяки якій підвищується достовірність моніторингу і стійкість автосупроводження. Це також дає змогу здійснювати взаємний контроль цілісності роботи цих систем спостереження.

Дослідження проводиться шляхом комп'ютерного моделювання, при якому аналізуються похибки, що можуть з'явитися під час перетворення і приведення інформації до єдиної системи координат, в якій здійснюється контроль і керування рухом. Можливо також проведення експерименту з використанням реальних даних, які можуть бути отримані від приймача ADS, який можна зібрати навидь самостійно [2], або скористатись базою таких сайтів як flightradar.

#### Література

1. Air Traffic Management. Procedures for Air Navigation Services. ICAO Doc 4444:PANS-ATM/501. Fourteenth Edition – 2001.
2. Інструкція для створення ADS-B приймача на основі RaspberryPi та ADS-B USB dongle. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://www.flightradar24.com/build-your-own>. Останній вхід 25.04.2023.

## ВИКОРИСТАННЯ РАДІОХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДСТЕЖУВАННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЛЮДЕЙ У ПРИМІЩЕННІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Кот М. Г.

(Науковий керівник Жук С. Я., д.т.н., професор)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет

У сучасному світі безпека і контроль доступу у будівлях та приміщеннях є дуже важливими аспектами. Зазвичай, системи безпеки та контролю доступу базуються на використанні відеоспостереження і механічних замків. Однак, ці методи мають свої недоліки. Наприклад, камери мають низький кут огляду і не можуть виявити місце розташування людини при низькому рівні освітленості або при поганій видимості.

У зв'язку з цим, виникає потреба в нових технологіях для розробки більш ефективних та точних систем безпеки та контролю доступу. Саме тому було вирішено розробити систему, яка використовує радіохвильові технології для відстежування людей у приміщеннях будівель. Радіохвилі можуть проходити через неметалічні матеріали, на відміну від світла або теплової енергії [1], що робить їх більш ефективними для використання в системах безпеки.

На рис. 1 зображений алгоритм роботи.

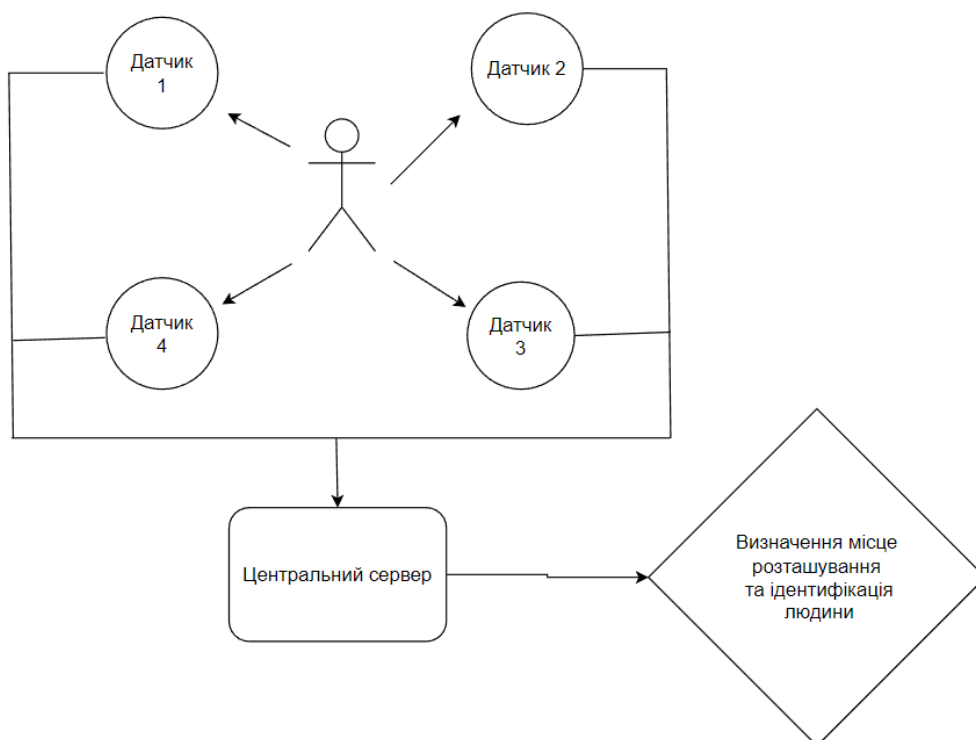


Рисунок 1 – Алгоритм роботи системи

Додатково, було вирішено додати оброблення результатів за допомогою нейронних мереж для розпізнавання людей і покращення точності та ефективності системи [2-3].

Використовуються спеціальні датчики, які встановлюються всередині приміщення. Вони відслідковують рівень радіохвиль, які надходять від пристрою певної людини, та передають отриману інформацію до центрального серверу, який, використовуючи натренеровані нейронні мережі, виконує обробку вхідні сигнали, визначає положення людини та ідентифікує її за особливими прикметами.

Для процесу навчання нейронної мережі буде використаний набір даних, який містить інформацію про переміщення особи. Було вирішено використовувати для цього залишкову нейронну мережу (residual neural network) для подолання проблеми зникнення градієнтів [4].

Отже, система дозволяє відстежувати людей та ідентифікувати їх у приміщенні за допомогою радіохвильових технологій та нейронних мереж. Ця розробка може бути використана для побудови нових систем безпеки, які будуть мати значно більшу ефективність роботи та підвищену безпеку в усіх приміщеннях. Крім того, система може бути підключена до інших систем безпеки, таких як системи пожежної безпеки та системи контролю доступу, що дозволить забезпечити повну інтеграцію та забезпечити безпеку будівлі у цілому. Застосування такої розробки може бути корисним в багатьох сферах, наприклад, в аеропортах, великих магазинах, готелях та офісних будівлях. Вона може бути особливо корисною для місць з високим рівнем охорони, таких як військові бази та науково-дослідні центри.

#### **Література**

1. Son S. A Neural Network-Based Microwave Imaging Method for Object Localization / S. Son, W. Son, W. Park. // Journal of Electromagnetic Engineering and Science. – 2022. – С. 576–579.
2. Deep neural networks for wireless localization in indoor and outdoor environments / [W. Zhang, W. Liu, K. Gu та ін.]. // Neurocomputing. – 2016. – №194.
3. Deep-Learning Based Indoor Localization with WiFi Fingerprinting [Електронний ресурс] / [X. Song, X. Fan, X. He та ін.] // 2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9060340/references#references>.
4. Kerbs L. Deep Learning For Radio Waves: Using Residual Neural Networks For Signal Classification [Електронний ресурс] / Luke Kerbs – Режим доступу до ресурсу: <https://www.gsitechnology.com/Deep-Learning-for-Radio-Waves>. — Назва з екрану.

## БЕЗДРОТОВІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ, ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ

*Лавріненко В. С.*

*(Науковий керівник Степанов М. М., д.т.н., професор)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Рівень достовірності, глибина аналізу та швидкість використання накопичених знань у тій чи іншій сфері життя залежить від засобів сприйняття світу, спостереження за перебігом та зміною явищ у ньому. Розвиваючи науку, техніку та технології суспільство постійно використовує пристрої, що доповнюють або навіть замінюють можливості органів чуттів.

Дані технічні пристрої прийнято називати сенсорами, тобто від латинського *sensus* – почуття та *sensorium* – орган чуття [1]. Тобто сенсор – це пристрій, що може сприймати певний зовнішній вплив, вимірювати його якісні та кількісні характеристики, а що найголовніше – перетворити виміряні дані в сигнал певної природи та типу [2]. Для ефективного використання сенсорів їх об'єднують зв'язками в мережі, зокрема бездротовими. Сенсорна мережа являє собою систему, що складається з сенсорних вузлів, тобто пристроїв, що містять у собі сенсори та акумулятори, тобто виконавчі пристрої, що реагують на сигнали від сенсорів, котрі взаємодіють між собою чи іншими мережами, з метою передачі, отримання та обробки інформації від реального фізичного світу, та формування певної реакції. Такі мережі можуть мати область покриття від кількох метрів до кількох кілометрів за рахунок здатності ретранслювати повідомлення елементами мережі. Етапи, при роботі сенсорних мереж, відображені на рис. 1.



Рисунок 1 – Збір даних і управління в сенсорних мережах

Бездротовий варіант зв'язку в сенсорних мережах містить у собі ряд переваг. Це і зокрема відносна легкість у розгортанні та реструктуризації, мобільність та висока швидкість доступу в мережу. У даному напрямку

йдуть постійні покращення, існує широкий вибір бездротових технологій.

Прикладом таких технологій бездротової передачі можуть слугувати Wi-Fi, WiMax, Bluetooth, EDGE, ZigBee, різні покоління мобільних мереж. Порівнювати їх можна за пропускною здатністю, частотним діапазоном, енергоефективністю, або максимально можливою кількістю під'єднаних вузлів. Вибір конкретного варіанту залежить від вимог до конкретної мережі [3].

Основні вимоги можна подати наступним переліком: енергоефективність, простота у використанні, масштабованість, висока чутливість, залежно від поставлених задач, двонапралений зв'язок, надійність, якомога менший форм-фактор використовуваного сенсорного модуля, економічна доцільність [3].

Сучасні бездротові мережі розгортаються в абсолютно різноманітних середовищах: у повітрі, на землі, під землею та під водою. Залежно від проблем та обмежень, з котрими стикаються в середовищі експлуатації, бездротова сенсорна мережа може бути наземна, підземна, підводна, мультимедійна і мобільна [4]. Застосування може бути різним, з метою постійного моніторингу та виявлення конкретних подій, від дослідження стану пристрою, інтелектуальних будівель та міст, до запобігання природним, техногенним катастрофам та стихійним явищам [3].

Тож, бездротові сенсорні мережі можна адаптувати до вирішення дуже широкого спектру задач у різних сферах, зокрема медицині, транспортних мережах, на виробництвах тощо. Тому ринок та актуальність бездротових сенсорних мереж надалі лише зростатиме.

#### **Література**

1. Дружинін В. А. Лекція №9 / Володимир Анатолійович Дружинін. – Київ: Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського» Радіотехнічний факультет, 2022. — с. 53 — («Безпроводові мережі і технології управління смарт-середовищами»), — с. 3.

2. Бездротові сенсорні мережі WSN [Електронний ресурс] // Архітектура і технології IoT – Режим доступу до ресурсу: <https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=97896>. Останній вхід 30.04.2023.

3. Wireless sensor networks: architecture, applications, advancements : Book. Dulles : Mercury Learning and Information, 2018. 404 p, — p 1, 3-4, 10-12.

4. J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal. Wireless sensor network survey, Computer Networks 52 (12) (2008) — pp. 2292–2330.

## **МЕТОДИКА ДЕТЕКТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З НЕЧІТКИМ ЛОГІЧНИМ ВИВЕДЕННЯМ**

*Лєвікін В. Г.*

*(Науковий керівник Дружинін В. А., д.т.н., професор)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Детектування інфрачервоного випромінювання є дуже важливим та актуальним фактором сьогодні, адже за допомогою таких пристроїв можна визначати місцеположення будь-яких камер з інфрачервоною підсвіткою, лазерну оптику від зброї, від будь-яких дронів та в загальному можуть використовуватись для роботи з будь-якими системами, які використовують інфрачервоний діапазон світлових хвиль в якості середовища передачі даних.

Якщо розглядати одне джерело інфрачервоного випромінювання при достатній інтенсивності випромінювання при нормальних погодних умовах та у середовищі, яке ніяк не буде впливати на процес поширення хвилі в просторі: то ніяких проблем з детектуванням виникнути при наявності гарного детектора не може. Але якщо враховувати всі ці фактори та мати кілька джерел випромінювання, то звичайним детектором який використовує звичайну математичну модель, де є тільки високий рівень 0 (напруга живлення) та 0 (рівень землі) неможливо вирішити цю проблему.

Для вирішення подібної проблеми, доречно, звернутись до такого математичного розділу, як «Нечітка логіка» за допомогою якої можна спроектувати дану з багатьма нечітко заданими умовами, інакше кажучи дозволяє працювати з проміжними значеннями в звичному логічному діапазоні [0 1].

Нечіткі контролери використовуються в багатьох пристроях та системах, в основному в сфері автоматизації та управління. Нечіткі контролери використовуються тоді коли складність процесу є високою, включаючи в себе невизначеність та нелінійний характер, і при цьому немає чітко визначеної математичної моделі для вирішення задачі. Перші реалізації нечітких контролерів у техніці були в Японії в 80-хх років. Деякі приклади використання нечітких контролерів у пристроях: кондиціонери, системи автоматичного фокусу в камерах, побутова техніка (холодильники, пральні машини, праски), двигуни, роботехніка і т.д.

Найпопулярнішим методом реалізації нечіткої логіки у інженерному програмному забезпеченні є алгоритм Мамдані, розроблений математиком Ібрагімом Мамдані у 1975 році. Проектування буду відбуватись у середовищі Matlab у розділі FUZZY LOGIC.



Нижче на картинці представлена блок схема роботи із FUZZY LOGIC в середовищі Matlab, де:

- Crisp input є чітко визначені вхідні дані, наприклад інтенсивність джерела випромінювання чи вологість середовища
- Fuzzy variables є змінні вхідні дані за допомогою процесу задання нечіткості (перший блок), вводиться так звана логістична змінна
- Fuzzy logic rules є правилами які ми використовуємо для fuzzy variables для отримання нових fuzzy variables
- Defuzzification є процесом зворотнім до задання нечіткості після якого ми вже отримуємо конкретні результати для нашого випадку це місцеположення найближчого джерела інфрачервоного випромінювання

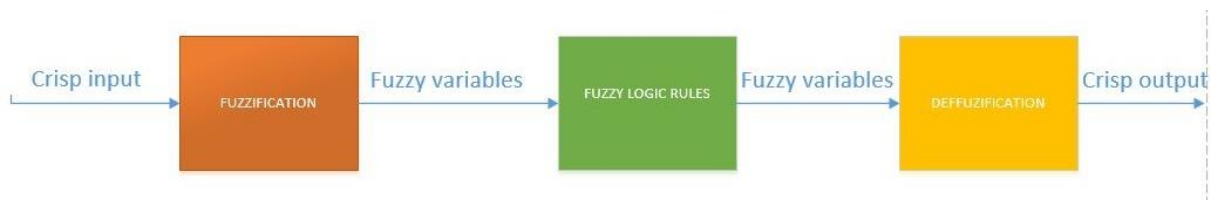


Рисунок 1 – Блок схема послідовності роботи з нечіткою логікою в середовищі Matlab

Суттю виконання даної наукової роботи є розроблення нечіткого контролера та складання інструкції (методики) для детектування джерел інфрачервоного випромінювання.

### Література

1. Субботін О.С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нечітке програмування» — Запоріжжя, ЗНТУ. — 50 с.
2. Відео уроки із Нечіткої логіки. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_\\_0nZuG4sTw&t=2s&ab\\_channel=MATLAB](https://www.youtube.com/watch?v=__0nZuG4sTw&t=2s&ab_channel=MATLAB). Останній вхід 26.04.2023.
3. Нечітка логіка – системи управління. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: [https://www.tutorialspoint.com/fuzzy\\_logic/fuzzy\\_logic\\_control\\_system.htm](https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_control_system.htm). Останній вхід 26.04.2023



## **АДАПТИВНЕ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ АКТИВНОЇ ЗАВАДИ РОБОТИ РЛС**

**Манчак К. В.**

*(Науковий керівник Чмельов В. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Адаптивне формування сигналу активної завади є важливою задачею в радіотехніці у різних галузях, таких як авіація, мореплавство та військова справа, зокрема в організації захисту повітряних або морських рухомих об'єктів від радіолокаційного виявлення і вимірювання відстаней, висоти і їх швидкості об'єктів.

Одним з основних викликів, що стоять перед розробниками радіопротидії роботі РЛС, є проблема визначення сигналу РЛС та синтезу сигналу активної завади, подібного до сигналу РЛС у реальному масштабі часу. Основна ідея полягає в тому, що за допомогою вимірювання параметрів сигналів РЛС та за допомогою адаптивних алгоритмів можна створити сигнал, який матиме ці самі параметри, що й сигнал РЛС. Але створення активної завади, яка точно копіює сигнал РЛС, є складною задачею [1].

Одним зі способів розв'язання цієї проблеми є адаптивне формування сигналу активної завади. Цей метод вимагає реалізації алгоритму, який може аналізувати вхідний сигнал і автоматично аналізувати параметри сигналу активної завади. Такі алгоритми базуються на використанні різних методів оптимізації та статистичної обробки сигналів.

Одним із підходів є адаптивний алгоритм на основі метода найменших квадратів LMS (Least Mean Square), або рекурсивний метод найменших квадратів (Recursive Least Squares), який використовується для налаштування коефіцієнтів синтезатора сигналу активної завади.

Інший підхід - адаптивне формування сигналу за допомогою нейронних мереж. Нейронні мережі здатні до навчання і підключаються до вхідних сигналів, забезпечуючи ефективну побудову моделі сигналу РЛС. Але застосування нейронних мереж обмежене необхідністю їх навчання для роботи з різними типами радіолокаційних сигналів. Такий підхід не дає достатньої гарантії ефективної роботи, тому що в РЛС може бути використаний будь-який тип сигналу, при цьому параметри сигналу можуть змінюватися в залежності від обставин [2].

Тому, в роботі розроблено алгоритм адаптивної ідентифікації радіолокаційного сигналу та синтезу активної завади, який базується на алгоритмі RLS. Крім того, для перевірки точності формування завади, яка буде приймати оптимальну систему обробки сигналів в РЛС, застосовується додатко-

вий кореляційний критерій оцінки якості формування завади. Двокритеріальний підхід суттєво підвищить ефективність організації протидії роботі РЛС [3].

На рис. 1 показано блок-схему адаптивного формування сигналу активної завади:

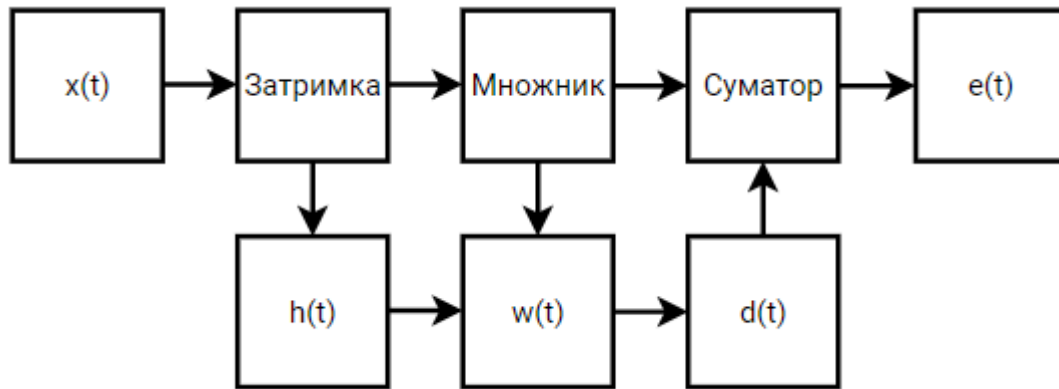


Рисунок 1 – Блок-схема адаптивного формування сигналу активної завади

де  $x(t)$  - це сигнал РЛС,  
 $h(t)$  - імпульсна характеристика каналу передачі,  
 $d(t)$  - це сигнал завади,  
 $w(t)$  - це сигнал активної завади,  
 $e(t)$  - це оцінка помилки.

Отже, блок-схема показує, як працює адаптивна система формує сигнал активної завади, що має такі параметри, як і сигнал РЛС. Це дозволяє формувати активну заваду узгоджену з системою оптимальної обробки сигналів РЛС, і таким чином завадити РЛС збирати достовірну радіолокаційну інформацію.

### Література

1. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору / К. С. Васюта, О. В. Тесленко, В. М. Купрій, О. А. Малишев. — Київ: Вид. дім «СКІФ», 2023. — 212с.
2. Чесановський І. І. Підвищення завадостійкості обробки сигналів в некогерентних радіолокаційних системах / Чесановський І. І., Іванов А. В., Гурман І. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2013. – № 54. – С. 68–74. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/7174>
3. Методи та засоби обробки сигналів. Навчальний посібник./ Г. Д. Братченко, Б. В. Перелигін, О. В. Банзак, Н. Ф. Казакова, Д. В. Григор'єв — Одеса: Типографія-видавництво «Плутон», 2014. — 452 с.

## **RELIABILITY OF COMPUTER NETWORKS: PROBLEMS AND CHALLENGES**

*Nikitchuk A. V.*

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute”, Faculty of Radio Engineering*

Assessing the reliability of computer networks is one of the key tasks in the field of information security and technical support. Protecting networks from various threats, restoring system operations after accidents and failures, optimizing network performance – these are just a few of the numerous tasks related to the reliability of computer networks.

Networks consist of a large number of elements that can interact with each other at different levels. In addition, factors such as changes in network load, changes in equipment parameters and settings, and changes in network configuration play a significant role.

Creating reliable networks is an important task that requires constant improvement. Studying the problems and challenges in reliability assessment is a very important task for technical specialists involved in the development and operation of networks.

Telecommunications networks rely heavily on physical infrastructure (such as optical fibers, amplifiers, routers, and switches). This makes them vulnerable to physical attacks, such as electromagnetic pulses (EMP) and natural disasters such as earthquakes, hurricanes or floods [1]. One of the key aspects of network reliability is ensuring that it is protected against various network threats and attacks. Such attacks attempt to bypass security mechanisms by exploiting vulnerabilities in the target network [2].

One type of attack is attacks using thermal design flaws, which involve creating high temperatures in a network device, which leads to its shutdown or damage. This attack is based on insufficient cooling of electronic components, which can be caused, for example, by poor thermal design of the device. Attacks of this type can occur in various ways, starting from simply overloading the device with specially crafted data packets and ending with the connection of malicious software to the device, which can, for example, turn off the fans or perform other malicious actions. Multi-core systems are vulnerable to covert-channel thermal attacks, as power consumption increases may go unnoticed even though they occur alongside normal CPU-intensive applications [3]. In addition, uncontrolled heat management can affect energy consumption, as well as the performance and usability of the system [4]. Side-channel attacks (SCA) [5] are also quite common, and are powerful attacks that can be used to obtain keys from electronic devices.

Also, one of the main problems is the increasing complexity of networks, which requires the development of new methods and technologies for reliability

assessment. In turn, the growth of data volumes and changes in the network structure complicate the process of monitoring and diagnostics, which can lead to deterioration of its reliability.

To avoid possible consequences, it is necessary to ensure proper thermal stability of network equipment. One way is to calculate the reliability of the systems at the early stages of design. This allows designing a network that takes into account potential problems and enables it to operate reliably and efficiently. An important part of this approach is to calculate the temperature and reliability parameters of the electronic structure elements. To achieve this, appropriate software has been developed [6].

In addition, to ensure the reliability of computer networks, it is necessary to ensure proper organization and planning of the network. Proper equipment configuration, location of network elements, provision of backup data transmission channels, and establishment of monitoring and diagnostic mechanisms allow the network to operate reliably and without interruption. The use of modern technologies and regular software updates can also help reduce the risk of network equipment vulnerabilities. Responsible and conscious approach to network security is a necessary condition for the successful functioning of any organization in today's digital world.

#### **References**

1. D. A. P. Davis and V. M. Vokkarane, "Failure-Aware Protection for Many-to-Many Routing in Content Centric Networks", in *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 603-618, 1 Jan.-March 2020, doi: 10.1109/TNSE.2019.2892976.
2. N. Hoque, Monowar H. Bhuyan, R.C. Baishya, D.K. Bhattacharyya, J.K. Kalita, "Network attacks: Taxonomy, tools and systems", *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 40, pp.307-324, 2014, doi: 10.1016/j.jnca.2013.08.001.
3. P. Rahimi, A. K. Singh and X. Wang, "Fan Speed Control Based Defence for Thermal Covert Channel Attacks in Multi-Core Systems", 2022 29th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS), Glasgow, United Kingdom, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICECS202256217.2022.9970854.
4. Z. Shao, M. A. Islam and S. Ren, "Heat Behind the Meter: A Hidden Threat of Thermal Attacks in Edge Colocation Data Centers", 2021 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA), Seoul, Korea (South), 2021, pp. 318-331, doi: 10.1109/HPCA51647.2021.00035.
5. A. Aljuffri, M. Zwalua, C. R. W. Reinbrecht, S. Hamdioui and M. Taouil, "Applying Thermal Side-Channel Attacks on Asymmetric Cryptography", in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 29, no. 11, pp. 1930-1942, Nov. 2021, doi: 10.1109/TVLSI.2021.3111407.
6. B. M. Uvarov, A. V. Nikitchuk, "Radioelectronic Apparatus Design with Optimal Reliability Indicators", *Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika*, vol. 75, pp.48-53, 2018, doi: 10.20535/RADAP.2018.75.48-53.

## **ТЕЛЕМЕТРИЧНІ СИСТЕМИ В ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ. ПЕРЕДАВАЧ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

**Прокопов Р. О.**

*(Науковий керівник Мирончук О. Ю., PhD)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

XXI століття називають «Століттям інформації». Люди навчилися вимірювати, обробляти, розподіляти та передавати потоки інформації. Стан науки і техніки зараз робить її невід'ємною частиною виробництва та побуту. Людство прагне отримувати достовірну, вимірну з максимальною точністю інформацію, її надійну та швидку передачу та обробку. Серйозність вимог призводить до створення складних систем та комплексів для роботи з інформацією по всьому шляху «вимірювання – зберігання». Таким чином, телеметричні системи знайшли застосування у багатьох областях.

Телеметрія – передача та запис даних з вимірювальних пристроїв. Телеметричні системи – це сукупність пристроїв, які забезпечують збір сигналів із засобів первинного перетворення, формування телеметричних сигналів, їх передачу по каналу зв'язку, прийом та обробку даних з боку приймача. Розробка технології телеметричної системи є досить складним та витратним процесом. Це пов'язано з великою кількістю критичних параметрів, які розвиваються при польотах на великих висотах. У зв'язку з цим на вбудовану систему покладаються важливі завдання: збирання, передача та збереження даних для активного управління польотом з високою ефективністю та безпекою.

Однією з головних частин телеметричної системи є тракт передачі інформації, в нашому випадку – передавач, блоки підсилення та антени. Було проаналізовано декілька методик розробки блоку передачі телеметричної інформації та, виходячи з параметрів, які потрібно забезпечити задля стабільної передачі інформації, обрано одну модель побудови передавача.

Інформація, яка надходить з систем та датчиків літального апарату, обробляється за допомогою мікроконтролера, а саме STM32, який має високу продуктивність, зручність у використанні та відносно низьку вартість, що робить його ідеальним вибором для вирішення цієї задачі. Після, мікроконтролер надсилає інформацію у вигляді коротких імпульсів на синтезатор НВЧ, який в свою чергу за допомогою мікросхеми ФАПЧ-синтезатора та опорного кварцового генератора утворює частоту, на яку налаштований приймач на наземній станції.

В якості ФАПЧ-синтезатора було обрано мікросхему ADF5355, яка реалізує схему синтезатора з фазовим автопідстроюванням частоти на основі подільника частоти з дробовим та цілим коефіцієнтом поділу. При цьому



використовується зовнішній фільтр петлі ФАПЧ і опорний генератор. Високочастотний ширококутовий ГУН здатний формувати частоти в діапазоні від 6,8 ГГц до 13,6 ГГц на одну радіочастотну вихід. А за рахунок кількох подільників частоти на інших виходах можна отримати частоти в діапазоні від 54 МГц до 6,8 ГГц.

Сигнал, утворений ФАПЧ-синтезатором та частотно промодульований імпульсами, які надійшли від STM32 потрапляють на подальші каскади підсилення, яке забезпечують мікросхеми HMC487 2-ватні підсилювачі з широким динамічним діапазоном забезпечують роботу в широкій частотній смузі, підсилення 20 дБ та +33 дБм потужності насичення, яке надасть стабільну передачу сигналу на далеку відстань.

Після тракту підсилення, сигнал надходить на антени, які розміщуються протилежно одна від одної, для постійного надходження інформації на приймальну станцію.

Виходячи з обраної методики побудови передавача телеметричної інформації можна зобразити його функціональну схему:

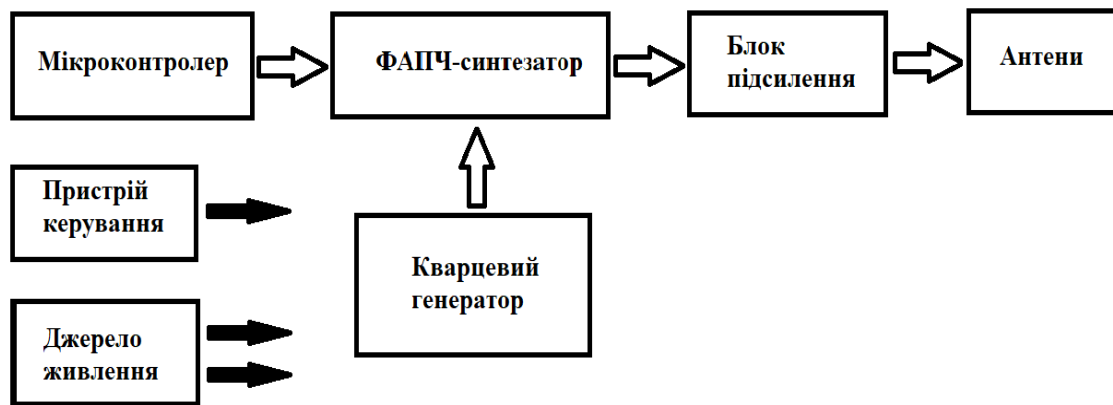


Рисунок 1 – Функціональна схема передавача телеметричної інформації

Отже в роботі було проведено аналіз телеметричних систем в літальних апаратах, існуючих варіантів їх побудови, методики розробки передавача телеметричної інформації. В результаті аналізу обрана модель побудови передавача телеметрії, розроблена її функціональна схема, підібрана елементна база, яка забезпечить виконання задач, поставлених перед цією системою.

### Література

1. Головна сторінка ST. URL: [https://www.st.com/content/st\\_com/en.html](https://www.st.com/content/st_com/en.html)
2. Офіційна документація на ADF5355 від AD: <https://www.analog.com/en/products/adf5355.html>
3. Офіційна документація на HMC487 від AD: <https://www.analog.com/en/products/hmc487.html>

## **АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКУ ІНТЕРФЕЙСУ ЦИФРОВОГО РАДАРУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ASP.NET CORE**

***Рознатовський В. Б.***

***(Науковий керівник Катін П. Ю., к.т.н., доцент)***

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

На теперішній час широке розповсюдження отримали цифрові радарні системи (ЦРС) для цивільного використання, а саме:

- радарні системи для власників яхт;
- локатори для цивільних літаків загального призначення;
- метеорологічні радарні системи, тощо.

Перелічені радарні системи цивільного призначення можуть виконувати основні задачі виявлення повітряних об'єктів, визначення їх дальності, висоти, швидкості та передачі цієї інформації споживачеві. Розвиток сучасних технологій дає можливість передавати інформацію споживачеві користуючись мережею Інтернет з використанням типових технологій.

У даній статті проведений аналіз технологій для програмного застосування ЦРС, що сплановано побудувати за архітектурою клієнт-сервер для передачі радіолокаційної інформації ЦРС цивільного призначення з використанням технології ASP.NET Core. Далі будемо називати цей програмний застосунок як графічний інтерфейс оператора (ГІО) ЦРС. Вибір такої технології обґрунтований кросплатформеністю даного фреймворку, відкритістю його коду, багатим функціоналом і великою кількістю потенційних розробників.

Розглянемо можливість створення графічного інтерфейсу оператора ЦРС загального призначення з використанням технології Winform [1]. Не дивлячись на те, що ця технологія є відносно застарілою, вона, на теперішній час, використовується для створення графічного інтерфейсу настільних застосунків і в комплексі з ASP.NET Core потенційно може бути використана для ГІО цивільного призначення. Перевагою цієї технології є відносно проста схема створення вихідного коду і загальна розповсюдженість. Недоліком технології Winform є відносна складна система динамічного відображення рухомих об'єктів і застарілість технології.

На заміну технології Winform надійшла Windows Presentation Foundation (WPF), яку можна розглянути як потенційний фреймворк для створення ГІО [2].

Графічні технології на базі WPF є одним із засобів розробки настільних додатків на платформі .NET WPF. Вона дозволяє створювати різноманітні



графічні інтерфейси з використанням векторної графіки, анімації та графічних ефектів, що робить її потенційно придатною для розробки досконалого графічного інтерфейсу користувача ЦРС. Отже, за допомогою WPF можна реалізувати зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс з використанням графіки для відображення індикатора кругового огляду ЦРС. Також ця технологія підходить для графічних елементів управління системами ЦРС до яких належать: кнопки, тексти, таблиці, списки тощо. Для розробки додатків на базі WPF використовується мова програмування C# або Visual Studio (VB.NET). Технологія WPF має широкі можливості для роботи з базами даних. Вона також забезпечує можливість використання різноманітних сторонніх бібліотек та плагінів для розширення функціональності додатка.

Недоліком технології WPF є необхідність сполучення з фреймворком ASP.NET Core, оскільки вона призначена для створення графічних інтерфейсів настільних застосунків.

Розглянемо виключно технологію ASP.NET Core для створення ГІО [3]. Особливість технології полягає у тому, що вона реалізує програму у архітектурі клієнт-сервер за допомогою платформи .NET. Елементи ГІО реалізуються з використанням файлів. Таким чином, розробка стає більш ефективною та зручною.

Одним з основних принципів ASP.NET Core є реалізація різноманітних архітектур, наприклад моделей, контролерів та видів. Файли CSHTML використовуються як представлення, які відображають дані, які були оброблені контролером. Вони підтримують вставку різноманітних елементів, таких як тексти, зображення, форми, списки та інші, а також вбудований код C#, що дозволяє робити різноманітні операції з даними перед їх відображенням на сторінці.

ASP.NET Core забезпечує можливість використання фреймворків та бібліотек для розширення функціональності додатка. Для розробки веб-додатків на базі ASP.NET Core можна використовувати Visual Studio або розробляти відкритим текстом в редакторах коду, таких як Visual Studio Code або Sublime Text. Це забезпечує кросплатформеність рішень. Крім того, ASP.NET Core дозволяє використовувати JavaScript для розширення функціональності веб-додатка.

В межах технології ASP.NET Core є можливість розробляти ГІО з використанням фреймворків фронтенду на основі JavaScript [4]. Із застосуванням технології на базі JavaScript для ASP.NET Core, розробники можуть значно збільшити функціональність веб-додатка, не використовуючи Ajax-запити до сервера.

Одним з основних переваг використання JavaScript є можливість розробки різноманітних функцій, таких як перевірка форми перед відправленням на сервер, динамічне оновлення сторінки без повного перезавантаження, валідація даних на клієнтському боці, додавання анімації та ін. Це

дозволяє розробникам створювати додатки з покращеним досвідом користувача та збільшеною функціональністю.

ASP.NET Core забезпечує підтримку використання JavaScript-фреймворків, таких як jQuery, Angular, React та Vue.js, для розробки веб-додатків. Ці фреймворки дозволяють розробникам легко взаємодіяти з елементами HTML на стороні клієнта та робити Ajax запити до сервера. Застосування цих фреймворків дозволяє розробникам зосередитися на розробці бізнес-логіки додатку, не витрачаючи час на написання складних JavaScript-кодів.

JavaScript-файли можуть бути включені в сторінку веб-додатка як зовнішні ресурси або вбудовані безпосередньо в HTML-код сторінки. Це дозволяє розробникам легко керувати і підтримувати JavaScript-код, зменшуючи витрати

Проведений аналіз дає можливість зробити висновок, що найкращою технологією для розробки графічного інтерфейсу користувача ЦРС є використання технології на базі фреймворку ASP.NET Core з використанням файлів CSHTML та технології Razor. Далі потрібно провести дослідження щодо практичного створення прототипу графічного інтерфейсу користувача цифрової радарної системи з створенням індикатору кругового огляду та інтерфейсу для управління системами радару.

#### **Література**

1. .NET Desktop Guide for Windows Forms [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/winforms/?view=netframeworkdesktop-4.8> Останній вхід 26.04.2023.
2. Windows Presentation Foundation [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/wpf/getting-started/?view=netframeworkdesktop-4.8> Останній вхід 26.04.2023.
3. ASP.NET Core [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/aspnet/core/getting-started/?view=aspnetcore-3.1&tabs=windows> Останній вхід 26.04.2023.
4. JavaScript and TypeScript [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/visualstudio/javascript/?view=vs-2019> Останній вхід 26.04.2023.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЧА РАДІОТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

*Самохатній Д. О.*

*(Науковий керівник Шпилька О. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

При використанні, складно доступних, рухомих інформаційних об'єктів, вимірювальної техніки в важких або неможливих умовах для безпосереднього управління людиною виникає критична потреба в можливості передачі, прийманні та аналізу даних на відстані. Вище описану проблему вирішує телеметрична система, за допомогою якої забезпечується збір та перетворення бажаних вимірюваних величин в інформаційні сигнали, які можна передавати по каналам зв'язку для подальшого аналізу.

Передача даних по радіоканалу, тобто радіотелеметрія є широко розповсюдженою та використовує як мережі загального призначення (GSM/GPRS, Wi-Fi, LTE і т.п.) так і синтезовані спеціальні радіотелеметричні канали зв'язку. Використання мереж загального призначення, має ряд обмежень, зокрема необхідність функціонування об'єкта виключно в зоні покриття мережі, тому для спеціалізованих систем зазвичай створюють спеціальні канали зв'язку.

Головним комплексним критерієм оцінки якості системи телеметрії є загальна похибка отриманих результатів системи, що визначає правильність синтезу, побудови та використання системи. Безумовно, загальна похибка отриманих результатів залежить від завадо-захищеності каналу, яка, в першу чергу, залежить від закладених видів модуляцій, маніпуляцій, методів кодування інформаційного сигналу та характеристик приймача. При розгляді далекодійних систем телеметрії, дистанція активного використання, при якій достовірність отриманої інформації задовольняє користувача, визначається чутливістю приймача.

Приведемо методику розрахунку чутливості на прикладі.

1. Вхідна потужність приймача визначається як:

$$P_{in} = \frac{P_{tr} \times G_{tr} \times G_r \times \lambda^2}{(4\pi)^2 \times R^2} \quad (1)$$

де  $P_{in}$  — вхідна потужність,  $P_{tr}$  — потужність передавача,  $G_{tr}$  — підсилення антени передавача,  $G_r$  — підсилення антени приймача,  $R$  — відстань,  $\lambda$  — довжина хвилі.

Використовуючи в якості вихідного каскаду підсилення НМС487LP5Е отримуємо  $P_{tr} = +33$  dBm.

На передавачі в якості антени відкритий кінець хвилеводу, тобто  $G_{tr} = 5 \text{ dB}$ . З боку приймача використовуємо антену з шириною променя  $45^\circ \times 45^\circ$  та  $16 \text{ dB}$  підсилення по центральному напрямку, отже  $G_r = 13 \text{ dB}$ .

В даному прикладі розрахунку оберемо частоти діапазону X, отже  $\lambda = 0,03 \text{ m}$ .

$$10 \log \lambda^2 = -30,5 \text{ dB} \quad (2)$$

$$10 \log (4\pi)^2 = -22 \text{ dB} \quad (3)$$

Підставляючи в рівняння (1) числові значення отримуємо:

$$P_{in} = 33 + 5 + 13 - 30,5 - 22 - 10 \log(R^2) = -1,5 - 10 \log(R^2) \quad (4)$$

2. Розрахунок потужності шуму приймача в смузі  $8 \text{ МГц}$ .

$$P_{noise} = 10 \log \left( \frac{k \times T}{0.001} \right) + 10 \log(8 \times 10^6) + N \quad (5)$$

де  $P_{noise}$  — рівень шуму,  $k$  — стала Больцмана,  $T$  — температура провідника,  $N$  — коефіцієнт шуму.

Температура провідника  $= 20^\circ$ .

Коефіцієнт шуму згідно до обраного МШУ НМС902LP3E  $= 1,7 \text{ dB}$ .

Підставляючи числові значення в рівняння (5) отримуємо:

$$P_{noise} = -174 + 69 + 1,7 = -103,3 \text{ dBm} \quad (6)$$

3. Відношення сигнал/шум:

$$SNR = \frac{P_{in}}{P_{noise}} \quad (7)$$

де  $SNR$  — відношення сигнал/шум.

Провівши аналіз на різних дальностях, запишемо отримані результати.

Таблиця 1 – Результати розрахованих параметрів

R	10000 m	20000 m	30000 m	40000 m	50000 m
$10 \log(R^2)$	80 dB	86 dB	89.5 dB	92 dB	94 dB
$P_{in}$	-81,5 dB	-87,5 dB	-91 dB	-93,5 dB	-95,5 dBm
SNR	21,8	15,8	12,3	9,8	7,8

Таким чином в даній роботі було проведено розрахунок чутливості приймача, наведено методику розрахунків та отримано результати. Згідно отриманих даних можна сказати що даний приймач можна використовувати в радіотелеметричних каналах на великій відстані.

#### Література

1. Практическое пособие по учебному конструированию РЕА – Р.Т.Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Грозин, К.Б. Круковский-Синевиц, Ю.Л.Мазор.

2. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Радиоприемные устройства» для студентов специальности «Радиотехника» /Сост.:Ю.Л. Мазор, С.А. Седов, Е.А. Мачусский.-К.; КПИ, 1987.

## **АНАЛІЗ ТОЧНОСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ВІДЕОКАМЕРИ ТА FMCW ДАЛЕКОМІРУ**

*Соколов К. А., Кравчук Я. О.  
(Науковий керівник Жук С. Я.)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Розвиток технологій побудови малорозмірних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) призвів до появи нового класу загроз, таких як: шпіонаж, тероризм, транспортування заборонених вантажів, ускладнення повітряного руху, пошкодження майна [1]. Тому вирішення задачі нейтралізації загроз від використання малорозмірних БПЛА і створення відповідних систем захисту є надзвичайно актуальним.

Важливим класом систем виявлення малорозмірних БПЛА є системи відеоспостереження [1]. Вони використовують камери високої роздільної здатності, а також спеціальне програмним забезпеченням. Такі камери автоматично фокусуються на цілях, якими є малорозмірні БПЛА, і у випадку їх розпізнавання за допомогою бази даних візуальних сигнатур, записують відео приближення БПЛА до об'єкту, та активують відповідну сигналізацію. Але ж відеокамера вимірює лише кутові координати цілі і не дозволяє визначити її положення в просторі.

Значення дальності до цілі може бути виміряно з використанням далекоміру. Широке використання для вимірювання дальності до цілі на малих і середніх відстанях знаходить далекомір неперервного випромінювання з частотною модуляцією (FMCW далекомір) [2]. В ньому застосовується зміна робочої частоти під час вимірювання. Перевагами FMCW далекоміру є: можливість вимірювання дуже малих відстаней до цілі, висока точність вимірювання дальності, низка середня потужність сигналу, що випромінюється. Далекімір встановлюється в місці знаходження камери і орієнтується вздовж її оптичної осі, що дає змогу проводити вимірювання в єдиній системі координат (СК).

Комбінована система спостереження, що включає відеокамеру і FMCW далекомір, вимірює азимут  $\beta_{\text{И}}(k)$ , кут місця  $\varepsilon_{\text{И}}(k)$  і радіальну дальність  $r_{\text{И}}(k)$  до БПЛА в сферичній СК. Для вирішення задачі траєкторної фільтрації цілі, а також враховуючи потреби споживачів інформації [3], доцільно визначення параметрів руху БПЛА здійснювати в прямокутній СК. Тому доцільно визначити точносні характеристики вимірювання координат БПЛА комбінованою системою в прямокутній СК.

Виконуючи лінеаризацію нелінійних рівнянь вимірювання в сферичній СК, можна отримати лінійні рівняння вимірювання координат БПЛА в прямокутній СК у вигляді [3]:

$$x_m(k) = x(k) + v_x(k); \quad (1)$$

$$y_m(k) = y(k) + v_y(k); \quad (2)$$

$$z_m(k) = z(k) + v_z(k), \quad (3)$$

де  $x_m(k), y_m(k), z_m(k)$  — виміряні координати об'єкта в прямокутній СК;  $x(k), y(k), z(k)$  — істинні координати об'єкта в прямокутній СК;  $v_x(k), v_y(k), v_z(k)$  — помилки вимірювання координат об'єкта у прямокутній СК з нульовим математичним очікуванням та кореляційною матрицею.

$$R(k) = \begin{bmatrix} \sigma_x^2(k) & \sigma_{xy}^2(k) & \sigma_{xz}^2(k) \\ \sigma_{xy}^2(k) & \sigma_y^2(k) & \sigma_{yz}^2(k) \\ \sigma_{xz}^2(k) & \sigma_{yz}^2(k) & \sigma_z^2(k) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Елементи кореляційної матриці  $R(k)$  визначають за формулами:

$$\sigma_x^2(k) = \sigma_r^2 \cos^2 \varepsilon(k) \cos^2 \beta(k) + r^2(k) \sigma_\varepsilon^2 \cos^2 \beta(k) \sin^2 \varepsilon(k) + r^2(k) \sigma_\beta^2 \sin^2 \beta(k) \cos^2 \varepsilon(k); \quad (5)$$

$$\sigma_y^2(k) = \sigma_r^2 \cos^2 \varepsilon(k) \sin^2 \beta(k) + r^2(k) \sigma_\varepsilon^2 \sin^2 \beta(k) \sin^2 \varepsilon(k) + r^2(k) \sigma_\beta^2 \cos^2 \beta(k) \cos^2 \varepsilon(k); \quad (6)$$

$$\sigma_z^2(k) = \sigma_r^2 \sin^2 \varepsilon(k) + \sigma_\varepsilon^2 r^2(k) \cos^2 \varepsilon(k); \quad (7)$$

$$\sigma_{xy}^2(k) = 0.5 \sin 2\beta(k) (\cos^2 \varepsilon(k) \sigma_r^2 - r^2(k) \sigma_\beta^2 + \sin^2 \varepsilon(k) r^2(k) \sigma_\varepsilon^2); \quad (8)$$

$$\sigma_{xz}^2(k) = 0.5 \sin 2\varepsilon(k) \sin \beta(k) (\sigma_r^2 - r^2(k) \sigma_\varepsilon^2); \quad (9)$$

$$\sigma_{yz}^2(k) = 0.5 \sin 2\varepsilon(k) \cos \beta(k) (\sigma_r^2 - r^2(k) \sigma_\varepsilon^2), \quad (10)$$

де  $\sigma_r^2(k), \sigma_\beta^2(k), \sigma_\varepsilon^2(k)$  — дисперсії помилок виміру координат БПЛА в сферичній СК;  $\sigma_{xy}^2(k), \sigma_{xz}^2(k), \sigma_{yz}^2(k)$  — взаємно кореляційні моменти помилок виміру за відповідними осями прямокутної СК.

Як впливає з виразів (5)...(10), компоненти кореляційної матриці  $R(k)$  залежать від поточного положення об'єкта  $r(k), \beta(k), \varepsilon(k)$ . Тому помилки вимірювання в прямокутній СК є нестационарними.

На рис.1 (а, б) в полярній СК  $(R, \beta)$  показані залежності середньоквадратичного відхилення (СКВ) помилок вимірювання  $\sigma_x, \sigma_y$  координат об'єкта по осям прямокутної СК  $X, Y$  від кута  $\beta$ , При цьому кут місця  $\varepsilon = 0$ . Об'єкт рухається по колам з радіусами 1000 м, 550 м, 100 м, в центрі яких



знаходиться вимірювальний пристрій. СКВ помилок вимірювання  $\sigma_r = 15$  м,  $\sigma_\varepsilon = 0,3$  град.,  $\sigma_\beta = 0,3$  град.

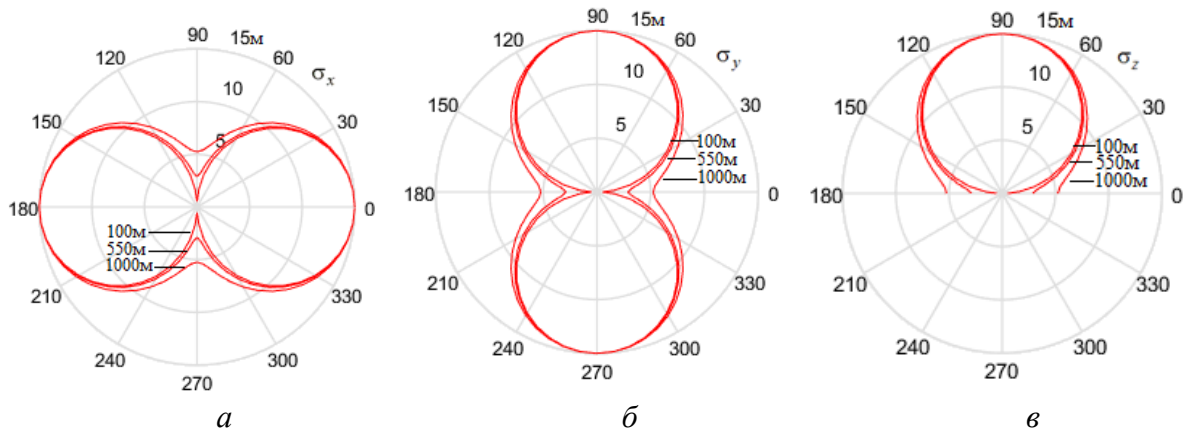


Рисунок 1 – Залежності СКВ  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

На рис. 1, в в полярній СК ( $R, \varepsilon$ ) показана залежність СКВ  $\sigma_z$  помилок вимірювань координат об'єкта по осі Z від кута  $\varepsilon$ . Об'єкт рухається по дугах кіл у верхній півплощині з радіусами 1000 м, 550 м, 100 м. Азимут об'єкта береться рівним  $\beta = \pi / 3$ .

Як впливає з отриманих результатів, основний внесок у СКВ помилок вимірювання координат об'єкта у прямокутній СК  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  вносить помилка вимірювання дальності. Це обумовлено високою точністю вимірювання азимуту і кута місця БПЛА відеокамерою. Отримані залежності дозволяють оцінити точність визначення координат БПЛА в прямокутній СК в залежності від його розташування. Вони можуть бути використані для обґрунтування вимог до СКВ помилок вимірювання комбінованої системи спостереження у сферичній СК, а також при синтезі та аналізі алгоритмів траєкторної фільтрації.

### Література

1. Жук С.Я., Товкач І.О. Методи адаптивного оцінювання параметрів руху безпілотного літального апарату на основі вимірювань сенсорної мережі. -К.: «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 172 с.
2. D. Santos, P. Sebastião and N. Souto, "Low-cost SDR based FMCW radar for UAV localization," 2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/WPMC48795.2019.9096117.
3. You, H.; Jianjuan, X.; Xin, G. Radar Data Processing with Applications. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2016. DOI: 10.1002/9781118956878.

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ RASPBERRY PI

*Ходаницький О. О., Голодяєва П. В., Гайдай А. В., Чмир Р. В.,  
(Науковий керівник Товкач І. О., к.т.н., ст. викладач)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

У теперішній час, концепція інтернет речей відіграє все більшу роль для людей. Сенсорні системи забезпечують точну інформацію про середовище та область застосування. Але у більшості випадків постає задача провести аналіз сенсорної мережі або системи на основі отриманих даних за якийсь конкретний проміжок часу. Існують різні програмні забезпечення для збору та упорядкування даних, серед яких оптимальним та відносно не складним варіантом буде система побудована на основі raspberry pi [1].

За допомогою потужного інструменту ROS (Robot Operating System) [2], Raspberry Pi трансформується у сучасне рішення для апаратного забезпечення складних сенсорних мереж, оскільки дане об'єднання дозволяє працювати швидше в інших умовах, коли встановлена велика кількість модулів одночасно (наприклад, сенсор тиску повітря, сенсор температури, сенсор дотику з дощем, і т.д.) та оперативно відправляти їх на основне сховище або сервер в Інтернеті. Інструмент ROS є налаштуванням операційної системи, яка додає пакети та функції для реалізації алгоритмів роботи мереж із зв'язаними між собою елементами. Вона надає інструменти для зв'язування, керування, та комунікації сенсорних вузлів.

Для реалізації сенсорної мережі на основі інструменту ROS з використанням Raspberry Pi, яка зображена на рис. 1, необхідно написати скрипт для ідентифікації сенсора, збору та передачі інформації головному серверу.

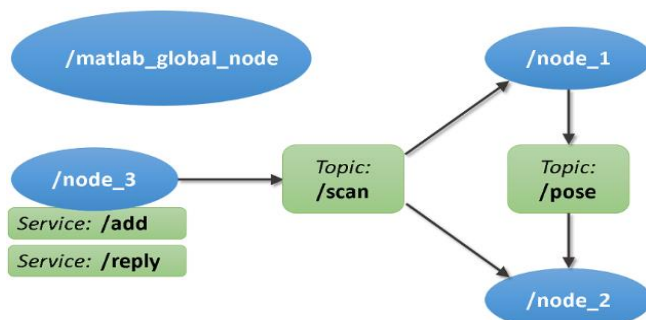


Рисунок 1 – Структура сенсорної мережі

Головний скрипт рис.2, написаний на мові програмування Python, розміщується у середовищі catkin, що представляє собою папку, в якій створюються нові ROS файли і оновлюються створені.

```
GNU nano 4.8 publisher.py Modified
#!/usr/bin/env python

import rospy
import os
from std_msgs.msg import String

def scanner():
    pub = rospy.Publisher('WiFiScan', String, queue_size=10)
    rospy.init_node('publisher', anonymous=True)
    rate = rospy.Rate(1)
    while not rospy.is_shutdown():
        wifi_scan = os.system("sudo iwlist wlan0 scanning | egrep 'Cell|ESSID|Quality'")
        wifi_message = "Wi-Fi scan results from RPiOne:\n %s" % wifi_scan
        rospy.loginfo(wifi_message)
        pub.publish(wifi_message)
        rate.sleep()

if __name__ == '__main__':
    try:
        scanner()
    except rospy.ROSInterruptException:
        pass
```

Рисунок 2 – Скрипт

В основі полягає розробка методу, що буде задавати власне алгоритм та умови відправки повідомлення, в цьому випадку метод називається scanner.

В методі, необхідно визначити назву топіку, в якому буде публікуватися повідомлення, а також тип даних. Виконати потрібно це за допомогою функції `rospy.Publisher()`, та присвоюємо функції змінну `pub`. Ім'я сенсорного вузла задається за допомогою `rospy.init_node('publisher', anonymous=True)`. Також створюється цикл `while not rospy.is_shutdown():`, який перевіряє наявність бібліотеки `rospy`.

Для збору інформації використовується вимірювання потужності Wi-Fi мережі, яке обробляється за допомогою функції `os.system("sudo iwlist wlan0 scanning | egrep 'Cell|ESSID|Quality'")`. Функція `iwlist scanning` дозволяє сканувати LAN мережу. Команда `egrep` задає інформацію, яку ми хочемо знати про Wi-Fi точку доступу.

Формат публікації повідомлень `wifi_message = "Wi-Fi scan results from RPiOne:\n %s" % wifi_scan`. Одночасно з відправкою повідомлення відбувається дублювання його в лог-файл сенсорного вузла.

Для отримання та аналізу інформації в програмному середовищі MATLAB [3] необхідно ініціалізувати код. У MATLAB використовується інструмент ROS master для задач цього роду. Після запуску ROS master, запуститься сервер ROS на головному пристрої.

```
>> rosinet
Initializing ROS master on http://DESKTOP-NOLECB5:11311/.
Initializing global node /matlab_global_node_24300 with NodeURI http://DESKTOP-NOLECB5:49974/
```

Рисунок 3 – Запуск серверу ROS master на головному пристрої

Наступним кроком потрібно зробити головний вузол підписником топіка з необхідною інформацією, за допомогою команди `rossubscriber('/WiFiScan', 'std_msgs/String')`. Також можна перевірити інформацію публікаторів та підписників топіка `/WiFiScan` в MATLAB командою:

rostopic info WiFiScan. Для виводу повідомлення в консоль MATLAB, потрібно ввести команду, яка змусить головний вузол відсканувати топик та вивести повідомлення: rostopic echo /WiFiScan

```
[INFO] [1655686825.659754]: Wi-Fi scan results from RP1ONE:
0
Cell 01 - Address: 38:43:7D:87:6D:B6
Quality=57/70 Signal level=-53 dBm
ESSID:"UPC3973490"
Cell 02 - Address: AC:22:05:F1:C3:9B
Quality=34/70 Signal level=-76 dBm
ESSID:"UPC8D6CE62"
Cell 03 - Address: 38:43:7D:47:DF:25
Quality=55/70 Signal level=-55 dBm
ESSID:"UPC7587310"
Cell 04 - Address: AE:22:15:F1:C3:9B
Quality=35/70 Signal level=-75 dBm
ESSID:"Wi-Free #InternetUPCNajszybszy"
Cell 05 - Address: 3A:43:1D:47:DF:25
Quality=57/70 Signal level=-53 dBm
ESSID:"Wi-Free #InternetUPCNajszybszy"
```

Рисунок 4 – Відображення надісланих повідомлень

```
>> rostopic echo WiFiScan

Data : Wi-Fi scan results from RP1ONE:
Cell 01 - Address: 38:43:7D:87:6D:B6
Quality=57/70 Signal level=-53 dBm
ESSID:"UPC3973490"
Cell 02 - Address: AC:22:05:F1:C3:9B
Quality=34/70 Signal level=-76 dBm
ESSID:"UPC8D6CE62"
Cell 03 - Address: 38:43:7D:47:DF:25
Quality=55/70 Signal level=-55 dBm
ESSID:"UPC7587310"
Cell 04 - Address: AE:22:15:F1:C3:9B
Quality=35/70 Signal level=-75 dBm
ESSID:"Wi-Free #InternetUPCNajszybszy"
Cell 05 - Address: 3A:43:1D:47:DF:25
Quality=57/70 Signal level=-53 dBm
ESSID:"Wi-Free #InternetUPCNajszybszy"
```

Рисунок 5 – Відображення отриманих повідомлень

На рис. 4 показані надіслані повідомлення в командному рядку Raspberry Pi та прийнятих повідомлень з Raspberry Pi в середовищі MATLAB рис. 5. Отримані значення показують успішне передавання та отримання інформації між сенсором та головним вузлом.

### Література

1. Raspberry Pi Based Intelligent Wireless Sensor Node for Localized Torrential Rain Monitoring [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://hindawi.com/journals/js/2016/4178079/>.
2. Getting Started with Robot Operating System (ROS) on Raspberry Pi.[Електронний ресурс]. Доступно за посилання <https://de.mathworks.com/help/supportpkg/raspberrypi/ref/getting-started-with-robot-operating-system-ros-on-raspberry-pi-r.html>.
3. Run Python script file from MATLAB. [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням <https://mathworks.com/help/matlab/ref/pyrunfile.html#d123e1163865>.

## АНАЛІЗ ТОЧНОСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗА РІЗНИЦЕВО-ДАЛЕКОМІРНИМ МЕТОДОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧИСЕЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ З ОБМЕЖЕННЯМИ

Царенко О. О., Мартинов Д. П.

(Науковий керівник Жук С. Я., д.т.н., професор)

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Радіотехнічний факультет

У пасивній радіолокації широко застосовуються різницево-дальномірні системи (РДС) виявлення сигналів та визначення координат джерел радіовипромінювання (ДРВ). У цих системах координати визначаються за різницею моментів приходу сигналів в рознесені приймальні пункти. При виборі кількості пунктів обмежуючим фактором є конструктивне ускладнення РДС. У зв'язку з цим можливе число пунктів знаходиться в межах 3-5.

Рівняння вимірювання РДС є нелінійними, що ускладнює їх вирішення для визначення координат місцеположення ДРВ. Тому широке застосування на практиці знайшов метод позиціонування, який дозволяє замінити систему нелінійних рівнянь лінійною, якщо кількість рівнянь вимірювання по незалежним базам на одиницю перевищує число координат ДРВ. З використанням цього методу при визначенні координат ДРВ на площині, РДС повинна складатися з чотирьох датчиків за допомогою яких отримуємо три різниці відстаней за незалежними базами. На рис. 1. показана конфігурація РДМ на площині, що складаються з чотирьох приймальних пунктів  $D_s, s = \overline{0,3}$ , які мають координати  $(x_s, y_s), s = \overline{0,3}$ .

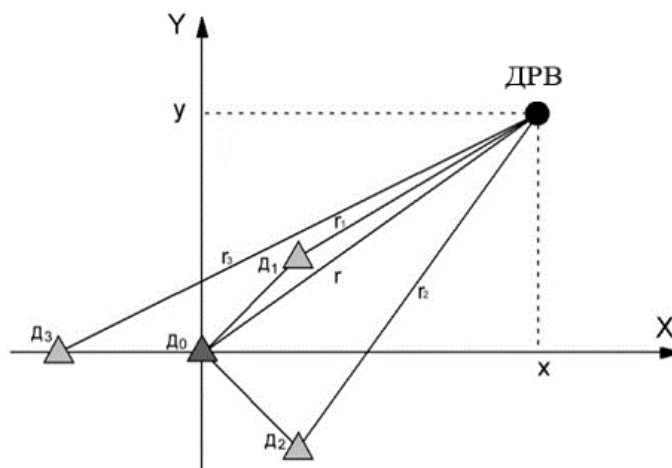


Рисунок 1 – Конфігурація РДМ

Різниця відстаней за  $s$ -ю базою визначається за формулою

$$\Delta^s = r^s - r = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2} - \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (1)$$



У виразі (1), координати опорного пункту вважалися нульовими.

Визначення координат ДРВ на основі лінійного методу зводиться до вирішення матричного лінійного рівняння

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\omega} = \mathbf{b}, \quad (2)$$

де  $\boldsymbol{\omega} = (x, y, r)$  – вектор, що включає оцінки координат джерела радіовипромінювання;

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & \Delta^{10} \\ x_2 & y_2 & \Delta^{20} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_s & y_s & \Delta^{s0} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 - (\Delta^1)^2 \\ x_2^2 + y_2^2 - (\Delta^2)^2 \\ \dots \\ x_s^2 + y_s^2 - (\Delta^s)^2 \end{pmatrix}$$

При наявності помилок вимірювання, визначення місцеположення джерела радіовипромінювання  $\boldsymbol{\omega}$  може бути оцінено з використанням методу найменших квадратів за формулою

$$\boldsymbol{\omega} = 0,5(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}, \quad (3)$$

Але ж отримане рішення (3) не є коректним, оскільки змінна  $r$  функціонально залежить від змінних  $x$  і  $y$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4)$$

Для врахування залежності (3) необхідно вирішувати задачу найменших квадратів

$$\min_{\boldsymbol{\omega}} (\mathbf{A}\boldsymbol{\omega} - \mathbf{b})^T (\mathbf{A}\boldsymbol{\omega} - \mathbf{b}) \quad (5)$$

при наявності лінійного обмеження (4). Для вирішення задачі оптимізації (4), (5) було використано стандартну функцію `fmincon` пакета оптимізації «Optimization Toolbox» середовища системи MATLAB. Функція `fmincon` знаходить мінімум для скалярної функції кількох змінних з обмеженнями, починаючи з початкового наближення. В якості початкового наближення використовувалось рішення, яке отримувалось на основі лінійного методу (3).

Шляхом статистичного моделювання проведено аналіз ефективності алгоритмів визначення координат ДРВ різницево-далекомірним методом на основі вирішення задачі оптимізації (4), (5) з використанням функції `fmincon`, а також на основі лінійного методу (3). Моделювання кожного алгоритму проводилось для конфігурації сенсорної мережі з чотирьох приймальних пунктів (рис.1), де  $D_0(0; 0)$ ,  $D_1(3,5 \text{ км}, 3,5 \text{ км})$ ,  $D_2(0; -3,5 \text{ км})$ ,  $D_4(-3,5 \text{ км}; 3,5 \text{ км})$ ; і ДРВ знаходиться на колі з радіусом 120 км відносно опорного приймача  $D_0$ . СКВ похибки вимірювання датчиків  $\sigma_{\Delta} = 10 \text{ нс}$ .

На рис. 2 показані фактичні математичне очікування  $\hat{m}_{НЛ}$  (крива 1) і



СКВ  $\hat{\sigma}_{HL}$  (крива 2) кругової помилки оцінки місцеположення отримані нелінійним алгоритмом, а також аналогічні характеристики  $\hat{m}_L$  (крива 3) і СКВ  $\hat{\sigma}_L$  (крива 4) для лінійного алгоритму (3). Також на рис. 2 показано СКВ  $\hat{\sigma}_{PK}$  (крива 5) кругової помилки оцінки місцеположення отримане на основі нижньої границі Рао-Крамера.

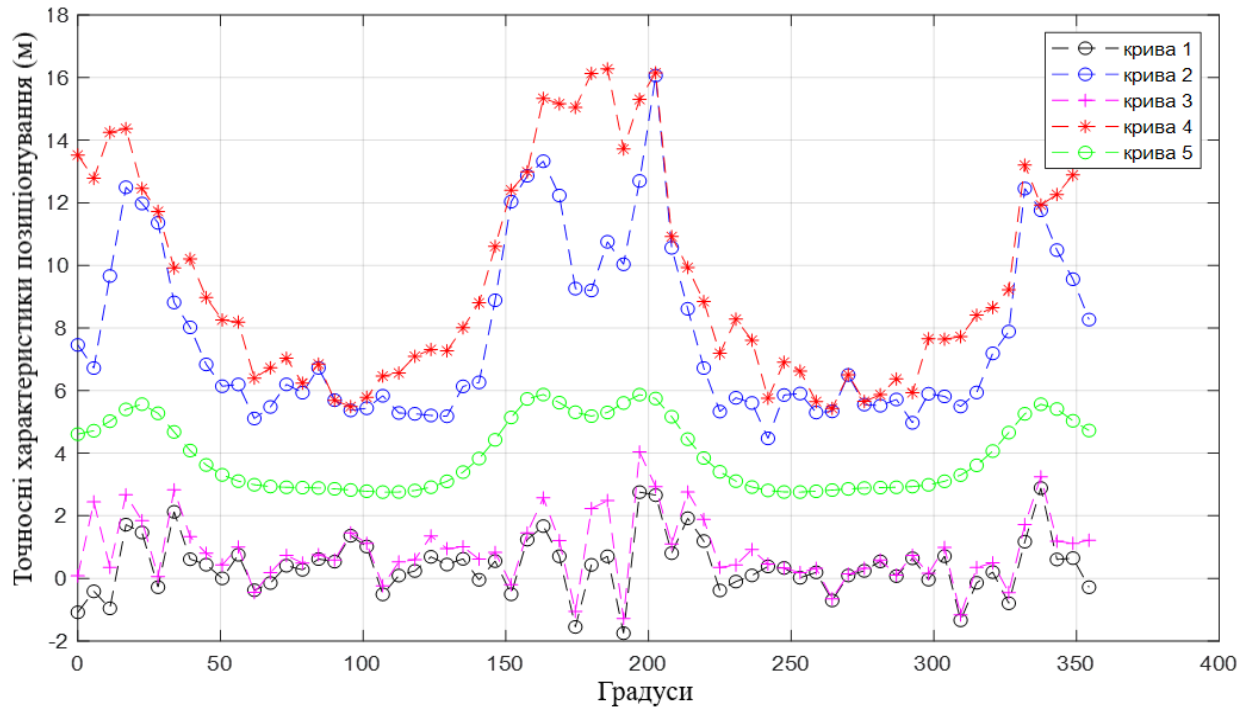


Рисунок 2 – Результати моделювання

Використання нелінійного алгоритму позиціонування дозволило зменшити СКВ кругової помилки позиціонування для окремих пеленгів ДРВ на 10%- 47% відсотків.

### Література

1. Svyd, I., Semenets, V., Maltsev, O., Tkach, M., Starokozhev, S., Datsenko, O., & Shevtsov, I. (2022). Comparative analysis of methods for determining the air objects' coordinates using wide-area multilateration systems. Radiotekhnika, 2(209), 162–177. <https://doi.org/10.30837/rt.2022.2.209.16>
2. Жук С.Я., Товкач І.О. Методи адаптивного оцінювання параметрів руху безпілотного літального апарату на основі вимірювань сенсорної мережі. -К.: «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 172 с.
3. MATLAB and Simulink for Signal Processing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/solutions/signal-processing.html>

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ SDR ПРИЙМАЧІВ**

*Чмир Р. В., Гайдай А. В., Голодяєва П. В., Ходаніцький О. О.  
(Науковий керівник Товкач І. О.)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Нова хвиля ескалації російсько-Української війни на багатьох прикладах довела ефективність заміщення дефіцитних військових технологічних розробок цивільними аналогами. З постійним збільшенням ролі радіоелектроніки в сфері розвідки та командування і контролю військами – збільшується потреба в засобах радіоелектронної розвідки, які на даний момент є часто недоступними для тих, хто їх потребує. Тому актуальною задачею є розробка алгоритму, що дозволить проводити радіоелектронну розвідку та виявляти місцезнаходження джерела радіовипромінювання за допомогою доступних на цивільному ринку SDR приймачів.

Для визначення місцезнаходження радіопередавача на основі мережі SDR приймачів застосовуються наступні методи TDOA, AoA та порівняння різниці фаз. Мультилатерація, або TDOA (time-difference-of-arrival) – визначення позиції передавача на основі вимірів часової різниці надходження фаз сигналу на рознесені у просторі приймачі. Потребує точної синхронізації приймачів за часом, для визначення різниці фаз отриманого сигналу, що зазвичай забезпечується за допомогою GPS.

Визначення місцезнаходження радіопередавача за кутом надходження сигналу, або AoA (Angle – of – Arrival) – на основі порівняння рівня сигналів, що надійшли на направлену антену, яка змінює свій напрямок. Даний метод не ефективний для визначення короткотривалих сигналів, а також сигналів значно віддалених радіопередавачів.

Визначення місцезнаходження радіопередавача за допомогою ефекту Доплера – на основі порівняння різниці фаз в рухомій (або уявно рухомій) системі антен. Даний метод потребує швидкого руху системи антен у просторі, або швидкої зміни антени, з якої зчитується сигнал в системі антен.

Із запропонованих методів найбільшого поширення для визначення місцезнаходження радіопередавача на основі системи SDR-приймачів знайшов метод мультилатерації, TDOA [1]. Для його реалізації використовуються SDR-приймачі, які підключені до мікрокомп'ютерів Raspberry-Pi, що рознесені у просторі та з'єднані в єдину мережу. Сигнал радіопередавача надходить на антени SDR-приймачів з певною різницею у часі, обумовленою швидкістю поширення радіо-хвилі у просторі, таким чином маючи систему мінімум з двох (висока похибка) SDR-приймачів можливо встановити

місцезнаходження радіопередавача. На рис.1. проілюстровано приклад системи з трьох SDR-приймачів.

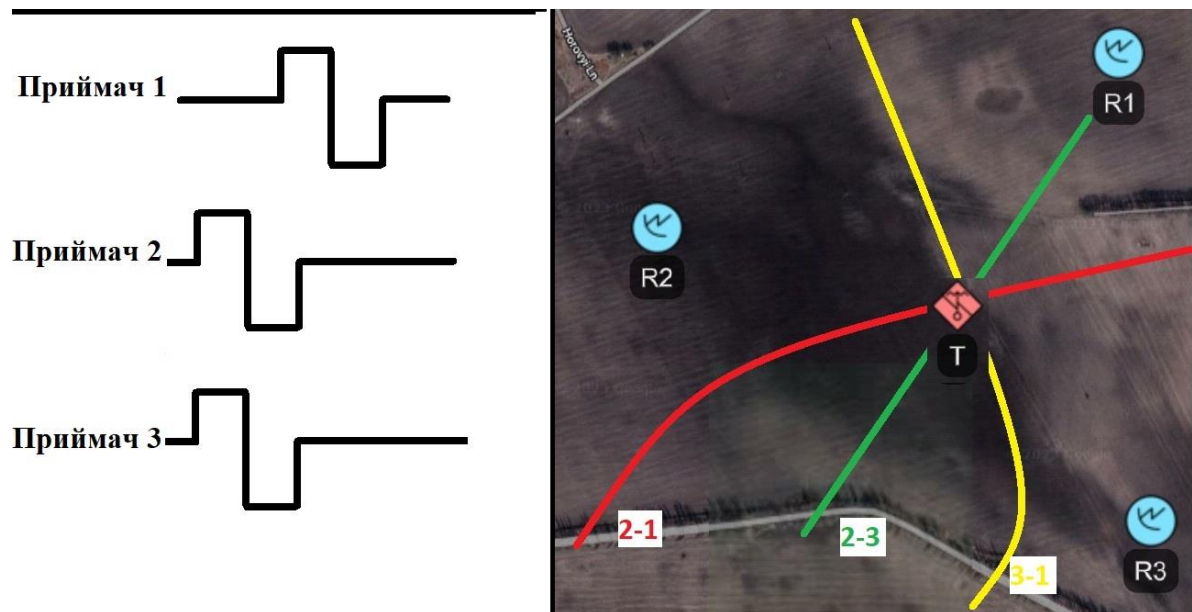


Рисунок 1 – Приклад системи SDR-приймачів

Найважливішим параметром при застосуванні даного методу буде порівняння часу надходження сигналів ( $S_1$  та  $S_2$ ) на приймачі з урахуванням затримки ( $\tau$ ), тому доцільно буде застосувати функцію кореляції, її загальний вигляд:

$$Corr(\tau) = \sum_{t=0}^{N-1} S_1(t)S_2(t + \tau) \quad (1)$$

На рис.2 показаний графік функції кореляції в масштабі її головного максимуму, з якого стає очевидним, що зміщення мінімумів відносно пікового значення функції, буде відображати різницю у часі надходження сигналу на перший приймач у порівнянні з другим.

Для роботи системи SDR-приймачів обов'язковою є синхронізація приймачів, досягнути якої можливо використавши відомий, еталонний сигнал. Загалом алгоритм обробки сигналу матиме наступний вигляд (рис. 3)



Рисунок 2 – Кореляційна функція сигналів  $S_1$  та  $S_2$

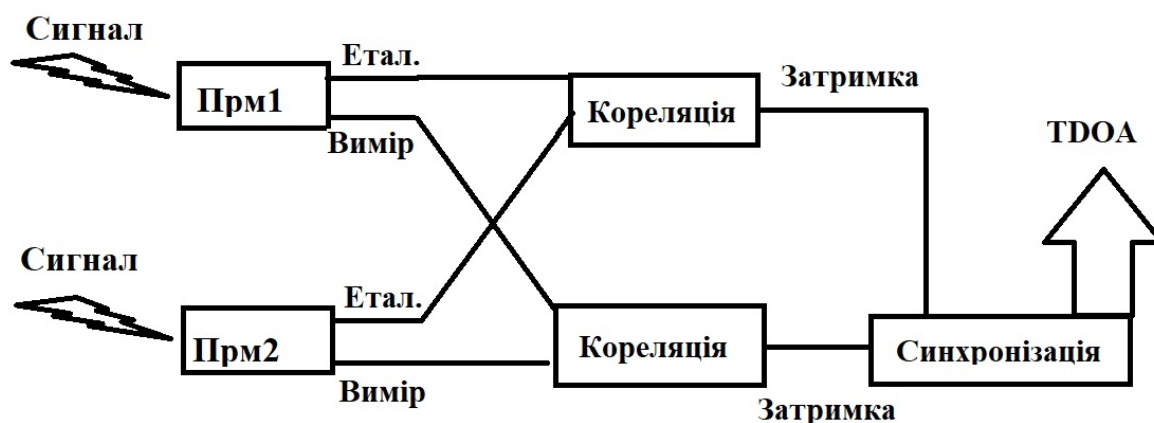


Рисунок 3 – Алгоритм обробки сигналів

Розробка алгоритму на основі TDOA методу з використанням SDR-приймачів, що дозволяють забезпечити точну синхронізацію приймачів, дає можливість реалізувати автоматизовану систему для виявлення джерел радіовипромінювання з високою точністю. Система може бути корисною для застосування у багатьох областях, включаючи радіо- та телекомунікації, військову та цивільну безпеку, моніторинг довкілля та інші.

#### Література

1. TDOA Transmitter Localization with RTL-SDRs [Електронний ресурс]. Доступно за посиланням: <https://panoradio-sdr.de/tdoa-transmitter-localization-with-rtl-sdrs/>

## БЛОК ЖИВЛЕННЯ ВИХРОСТРУМОВОЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ З БЕЗКОНТАКТНИМ ВИМІРЮВАННЯМ СТРУМУ СПОЖИВАННЯ В СИЛОВОМУ КОЛІ

Чорний В. В.

(Науковий керівник Піддубний В. О., к.т.н., доцент)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет

Радіотехнічна вихрострумova система (РВС) використовується для ідентифікації матеріалу об'єктів виготовлених з різних металів [1]. Блок живлення системи складається з двох джерел – сигнальне та силове джерело. Сигнальне джерело використовується для живлення приймальної частини РВС та схеми цифрової обробки сигналу. Воно малопотужне напруга живлення. Первинним джерелом живлення для неї є акумулятор не дуже високої ємності. Така вихрострумova система в своєму складі також має достатньо потужний генератор сигналу опромінення металевого об'єкту, матеріал якого визначається. Це силове джерело. Воно повинно мати окреме первинне джерело живлення достатньо великої потужності, параметри якого можуть впливати на процес ідентифікації. Блок живлення (рис.1) виконаний за схемами імпульсних джерел живлення на інтегральних мікросхемах (ІС) LM2577 (підвищує джерело) та LM2576 (знижуюче джерело). В схему пропонується ввести пристрій для контролю струму споживання генератором опромінення (на схемі це блок вимірювання). Виникає питання вибору датчику струму.

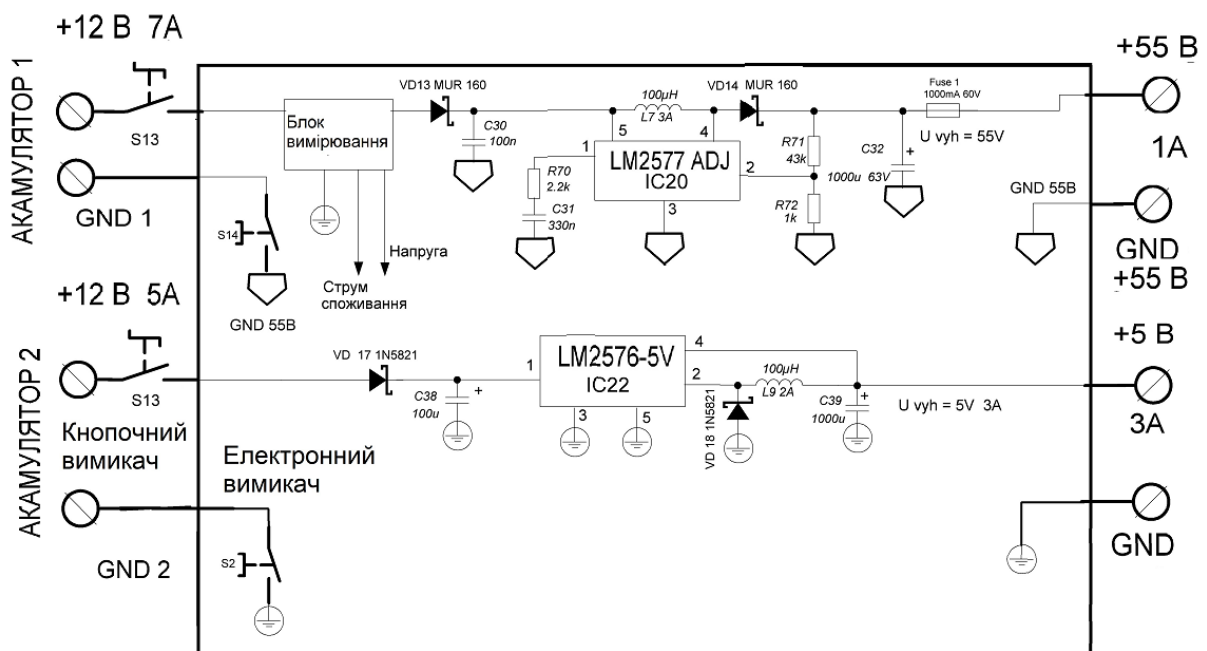


Рисунок 1 – Фрагмент електричної схеми вихрострумovoї радіотехнічної системи (джерело живлення)

Існують три типи датчиків струму (див. табл. 1): резистивні датчики, трансформатори струму та датчики Холла.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики датчиків струму

Тип датчика	Додаткові втрати потужності	Гальванічна розв'язка кіл	Додаткове живлення датчика	Відносна вартість
Резистивні	Наявні	Відсутня	Не потрібне	Мала
Трансформатори струму	Наявні	Відсутня	Не потрібне	Висока
Датчики Холла	Відсутні	Наявна	Потрібне	Середня

Резистивні датчики вносять додаткові втрати в кола живлення, що при достатньо великих потужностях споживання не бажано. Трансформаторні працюють лише на змінному струмові. Датчик Холла на відміну від трансформаторів струму працює і на постійному струмові, величину якого і потрібно оцінити. Тому нами вибраний безконтактний метод вимірювання струму (БВС), де в якості датчика струму застосовується датчик Холла, який працює на ефекті виникнення напруги на кінцях провідника чи напівпровідника з струмом, що розміщений в магнітному полі вимірюваного струму. Різниця потенціалів виникає в провідникові внаслідок взаємодії носіїв заряду з магнітним полем перпендикулярним лініям напруженості цього зовнішнього поля. Вона пропорційна прикладеному магнітному полю, що дозволяє надалі проводити її подальшу обробку [2] електронними засобами. Датчики Холла не вносять додаткових втрат в коло вимірювання та забезпечать надійну експлуатацію електронних пристроїв (в даному випадку джерела живлення).

Існують два типи датчиків Холла. Це датчики з логічним виходом (компараторного типу) та з лінійним [2]. Для вимірювання струму необхідні датчики з лінійним виходом. Такі датчики магнітного поля складаються з напівпровідникового елемента Холла, стабілізатора живлення, диференціального підсилювача і вихідного каскаду. Інтегральні датчики Холла виробляють Honeywell, Melexis, AllegroMicrosystems, AnalogDevices та інші.

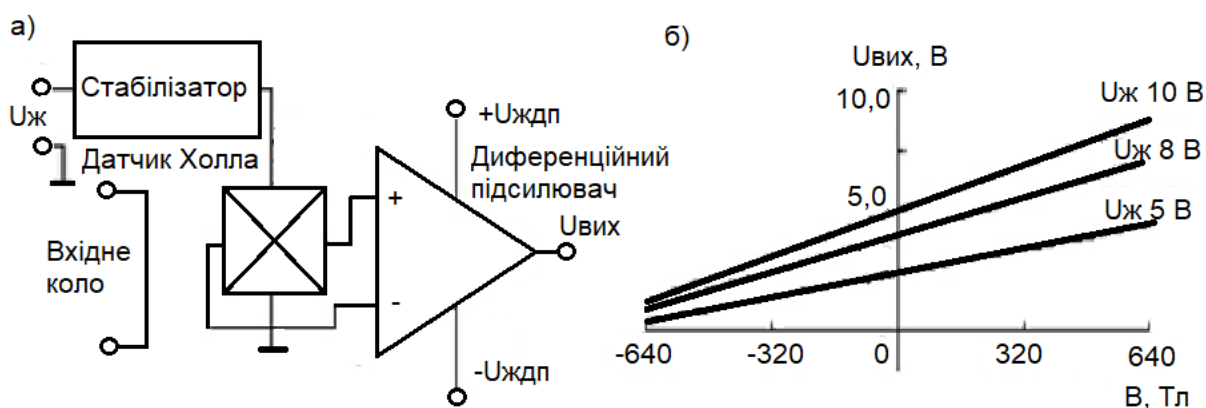


Рисунок 2 – Структура датчика Холла (а) і його вихідний сигнал (б)



В схему лінійного датчика Холла (рис. 2) входять сам датчик з інтегрованим струмовим провідником та диференційний підсилювач. В склад ІС може входити стабілізатор живлення та складні цифрові системи обробки інформації (аналогово-цифровий перетворювач, енергонезалежна пам'ять то що), які можуть працювати з мікроконтролерами, наприклад Arduino [3].

Розглянемо інтегровані датчики струму фірми AllegroMicrosystems типу ACS712/713 [4,5], які призначені для електронних схем вимірювання постійного та змінного струму з гальванічною розв'язкою силових та вимірювальних кіл в промислових та комерційних системах. Технічні характеристики датчиків наступні: діапазон вимірювання струму складає  $+8\text{A} \dots -8\text{A}$ ; діапазон вихідної напруги  $+2,5/-2\text{ В}$ ; не лінійність 2%; напруга живлення  $+4,5 \dots 5,5\text{ В}$ ; струм споживання 10 мА; напруга розв'язки до 2100 В; діапазон робочих температур від  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+50\text{ }^\circ\text{C}$ . Датчики виготовляються в корпусі типу SOIC8. Особливістю є струмовий елемент, виготовлений з мідного дроту з низьким питомим опором, який вмикається в коло вимірюваного струму.

Традиційно струм вимірюється за падінням напруги на шунті, який вмикається в коло земляної шини. В цьому випадку вона перестає виконувати функцію опорного потенціалу, що може призвести до збоїв роботи приладу. Тому датчик Холла встановлюється в провід живлення і він буде відв'язаний від земляної шини. Крім того в цих ІС струмовий елемент має дуже малий опір, що мінімізує його вплив на вимірювання.

Таким чином для контролю струму споживання вихрострумовою радіотехнічною системою пропонується використовувати безконтактний метод вимірювання струму побудований на основі датчиків Холла типу ACS712/713.

### Література

1. Abramovych A. Eddy-current system for identification of metal objects / A. Abramovych, V. Bazhenov, V. Piddubnyi // Sciences of Europe. – Praha, Czech Republic – 2020. – Vol 1. – №56. – p. 44-53. URL: <https://www.europe-science.com/wp-content/uploads/2020/10/VOL-1-No-56-2020.pdf>
2. Матвієнко М.П. Основи електроніки: підручник. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 504 с. Доступно за посиланням: <https://lira-k.com.ua/preview/12108.pdf>
3. Шликов В.В. Мікропроцесорна техніка: Практикум / В.В. Шликов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,1 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 144 с. Доступно за посиланням: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24694?mode=full>
4. IMRAD Електронні компоненти ACS712-8A-Module Двуполлярний датчик постійного и переменного тока с гальванической развязкой. Доступно за посиланням: <https://imrad.com.ua/ua/acs712-8a-module-2> — Назва з екрана.
5. Електронні компоненти: Datasheet. Технічний опис ACS712 (HTML) - Allegro Microsystems. Доступно за посиланням: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/174116/ALLEGRO/ACS712.html> — Назва з екрана

**Секція 2. Обчислювальні методи в радіоелектроніці.  
Радіоелектроніка біомедичних технологій.  
Ультразвукова техніка.**

*Синтез та аналіз алгоритмів обробки сигналів в радіотехнічних системах різноманітного призначення. Технічні рішення щодо методів та засобів медико-біологічної діагностики та лікування. Проектування та застосування технологічної ультразвукової апаратури.*

## **ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИРОЗУ ПЕЧІНКИ**

*Жирова А. І.*

*(Науковий керівник Лащевська Н. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

В наш час активного технічного прогресу для покращення ефективності виконання завдань та економії ресурсів у багатьох галузях все частіше використовуються нейронні мережі.

Так застосування їх в медицині дозволяє покращити ефективність розпізнавання захворювань, здійснювати автоматичне прогнозування результатів лікування та оптимізувати його до індивідуальних потреб пацієнтів, знизити витрати завдяки автоматизації робочих процесів тощо.

Діагностування захворювань є однією з основних задач для яких в медичній сфері застосовуються нейронні мережі тому, що від правильності та вчасності встановлення діагнозу залежить успішність лікування та ймовірність повного одужання.

Так цироз печінки важко виявити на ранніх стадіях через те, що хвороба зазвичай може протікати безболісно і без виражених симптомів. При цьому це захворювання може привести до значних ускладнень у роботі організму та до летального результату за відсутності своєчасного лікування.

Якщо звертатися до цифр, то, наприклад, у Великобританії щороку понад 4000 людей помирають від цирозу печінки. Близько 700 людей мають пересаджувати печінку, щоб вижити [1]. А от в США цироз печінки щороку спричиняє близько 26 000 смертей і є сьомою основною причиною смерті в США серед дорослих віком від 25 до 64 років [2]. При цьому кількість хворих із цим захворюванням у світі продовжує збільшуватися.

Цироз печінки зазвичай діагностується за допомогою ультразвукових досліджень або комп'ютерної томографії. Для цих методів кінцеве діагностування проводиться за отриманими медичними зображеннями. При цьому успішність діагностування залежить від досвідченості, обізнаності та уважності лікаря. Отже, людський фактор впливає на отримання достовірного результату.

В нинішніх реаліях життя люди часто живуть у постійному стресі, небезпеці для здоров'я і життя, що позначається на загальному стані організму та ризику утворенню або прогресуванню захворювань. Тим часом деякі досвідчені спеціалісти можуть бути недоступними через виїзд закордон або наслідки небезпек, що збільшує навантаження на працівників медичної сфери, сповільняє процес діагностування, призводить до залучення менш досвідче-

них спеціалістів. У місцях, що наближені до місць бойових дій або у воєнних шпиталях безпосередня консультація з необхідним спеціалістами може виявитися взагалі тимчасово неможливою.

Проте точність нейронних мереж не залежить від стажу роботи спеціалістів, які їх використовують. Отже, діагностування цирозу печінки за допомогою нейронних мереж може дозволити підвищити ймовірність виявлення захворювання і знизити ризик встановлення помилкових діагнозів.

Точна діагностика також може вимагати біопсію печінки, коли для дослідження видаляється маленький шматок печінки. Цей метод інвазійний, болісний та супроводжується ризиком ускладнень, але він дає більш високоточні ніж при ультразвукових дослідженнях або комп'ютерній томографії результати.

З усього вищезазначеного слідує, що нейронні мережі можна навчити розпізнавати захворювання, що дозволяє підвищити ефективність та швидкість діагностування, знизити ризик встановлення помилкового діагнозу. Це призводить до збільшення ймовірності уникнення пацієнтом небезпечних ускладнень і ризику смертельного результату протікання захворювання. В певних умовах нейронні мережі можуть бути доступнішими за консультації досвідчених у потрібних медичних областях спеціалістів, а інколи і ефективнішими.

Дослідження нових підходів до виявлення цирозу печінки дуже важливе, адже чим швидше буде виявлене захворювання – тим швидше почнеться лікування, а у випадку цирозу печінки це час має значний вплив на шанси пацієнта.

Підвищення точності неінвазійних методів виявлення цирозу печінки дозволяє менше спиратися на інвазійні, що робить процес діагностики безпечнішим.

Отже, діагностування за допомогою нейронних мереж має певні переваги над іншими методами.

Звичайно, не варто повністю покладатися на результати діагностування нейронними мережами наявності у пацієнта цирозу печінки, бо затвердити діагноз має лікар. Проте навчена нейронна мережа може бути зручним допоміжним інструментом, що значно прискорить обробку даних та підвищить ефективність діагностування.

### **Література**

1. Cirrhosis of the liver [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <https://britishlivertrust.org.uk/information-and-support/living-with-a-liver-condition/liver-conditions/cirrhosis/>. — Назва з екрана.
2. Cirrhosis of the Liver [Електронний ресурс]. — Режим доступу : URL : <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/15572-cirrhosis-of-the-liver>. — Назва з екрана.

## **РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОТРИМАНИХ ІЗ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

*Левченко І. С.*

*(Науковий керівник Лащевська Н. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

### **Вступ**

На сьогоднішній день нейронні мережі (НМ) користуються досить великою популярністю та є дуже потужними технологіями у багатьох сферах, де необхідно здійснювати аналіз та обробку великих обсягів даних, наприклад розпізнавати мову чи керувати процесами, аналізувати дані чи їх класифікувати, відображати певні дані чи розпізнавати образи. Тому не є дивним, що нейронні мережі стали важливим інструментом для розпізнавання в багатьох сферах включаючи розпізнавання різноманітних об'єктів на зображеннях, які були отримані з супутникових систем.

Дослідження у галузі застосування НМ для розпізнавання зображень отриманих із супутникових систем почалося ще на початку 90-х років ХХ століття. Одним із ранніх прикладів є публікації досліджень у журналі «IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing» в тому числі деякі статті були присвячені використанню нейронних мереж для класифікації зображень, отриманих з різних супутникових сенсорів [1]. З того часу дослідження у галузі застосування нейронних мереж для розпізнавання зображень отриманих із супутникових систем стали все більш поширеними та розвинутими, і сьогодні в даній ведуться напрацювання, що використовуються для багатьох різних застосувань, таких як картографія, аналіз лісових масивів, моніторинг зміни клімату, дослідження природних ресурсів та багато інших. Популярність НМ, особливо в останній час, пов'язана з успішними дослідженнями в сфері розпізнавання образів, як статичних так і у відеопотоці.

### **Основна частина**

Відповідно до задачі розпізнавання зображень, можуть використовуватись різні архітектури нейронних мереж, наприклад, згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks - CNN), рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks - RNN), та комбіновані архітектури. Одним із ключових недоліків нейронних мереж є те, що це функції з неймовірною кількістю параметрів (інколи сотні мільйонів), що потребує досить великих обчислювальних потужностей та досить високого рівня паралелізму. Напри-



клад, системі необхідно розпізнати образи на картинці розміром  $256 \times 256$  пікселів, яка є кольоровою (RGB). Оскільки маємо три кольори – три канали, то фактично на вхід до НМ ми подається 3 картинки, кожна розміром  $256$  на  $256$  пікселів. Кількість вхідних ознак, які можна підсумувати, вийде вражаючою – кожен піксель кожного каналу буде ознакою. Тобто кількість ознак дорівнюватиме  $256 \times 256 \times 3$ . Візьмемо до уваги, що знімки, отримані з супутника можуть містити більше ніж  $256 \times 256$  пікселів, то кількість ознак дійсно може бути занадто великою для звичайних нейронних мереж.

Одним з підходів до розпізнавання зображень з використанням нейронних мереж є згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN). Вони є одним з найбільш ефективних методів розпізнавання зображень і використовуються в багатьох сучасних застосунках. Згорткові нейронні мережі використовуються для розпізнавання різних об'єктів на зображеннях в тому числі, отриманих із супутникових систем [2]. Нейронні мережі зі згорткою вирішують відразу дві задачі:

1. Вивчення нелокальних закономірностей – тобто здатність знаходити певні закономірності, певні патерни не тільки з прив'язкою до їхнього локального значення, а, якщо це випадок із картинкою, по всій площі картинки.

2. Значне зменшення кількості параметрів, які вивчаються системою.

В таких мережах також застосовується один із методів обробки фільтрів НМ зі згорткою — це так званий *max*-пулінг. Архітектура у вигляді чергування конволютивних і *max*-пулінг шарів, (які обирають максимальні значення), в комбінації з прихованими шарами і рівнем активації називається VDG-архітектурою НМ, яка свого часу показала найкращі результати на конкурсі ImageNet, який проводиться з 2012 року.

Рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks – RNN) також можуть бути використані для задач розпізнавання зображень. Одним з основних застосувань RNN у зображеннях є задачі обробки послідовних зображень, таких як відео. Одна з найбільш відомих архітектур RNN для обробки послідовних зображень – це довга короткострокова пам'ять (Long Short-Term Memory – LSTM) [3]. LSTM має здатність запам'ятовувати попередні стани та враховувати їх при обробці нових вхідних даних. Це дозволяє LSTM підтримувати контекст та залежності між кадрами відео при їх обробці.

Для розпізнавання зображень, RNN можуть використовуватись для розуміння контексту та взаємозв'язків між об'єктами на зображенні. Наприклад, можна застосувати RNN до відстеження об'єктів на відео. У контексті даної теми, така нейронна мережа може бути інтегрована, наприклад, в систему безпілота.

Однак, в порівнянні з згортковими нейронними мережами, RNN зазвичай мають меншу ефективність в обробці зображень через те, що вони не



можуть ефективно використовувати просторову інформацію про зображення. Тому використання *RNN* для розпізнавання зображень зазвичай обмежується задачами, що вимагають обробки послідовних зображень.

Наприклад, у своїй роботі «ImageNet classification with deep convolutional neural networks» команда вчених з Університету Торонто використовувала глибокі згорткові нейронні мережі (deep convolutional neural networks, CNN) для розв'язання задачі розпізнавання зображень з набору даних ImageNet [4]. Вони досягли досить високого результату в точності класифікації зображень, що значно перевищувало результати, які можна було отримати з використанням традиційних методів машинного навчання.

Додатково можуть бути впроваджені різні методи попередньої обробки зображень, які покращують якість зображень перед їх розпізнаванням за допомогою нейронних мереж. Наприклад, зменшення шумів та покращення контрастності.

#### **Висновок**

З вище описаного видно, що для класифікації зображень та визначення на зображеннях об'єктів часто використовуються CNN моделі, у яких застосовані згорткові шари та пулінгові шари. Для випадку ж розпізнавання зображень, які мають послідовну структуру, наприклад, зображення зміни погоди в часі або відеопотоку застосовуються RNN моделі, оскільки вони зберігають попередню інформацію про зображення в пам'яті. Також для задач супутникової зйомки, наприклад, визначення розміру будівель та дослідження динаміки лісів можуть використовуватися архітектури Encoder-Decoder. Також можливі варіанти використання архітектури Fully Convolutional Networks (FCN), що здебільшого використовуються в задачах визначення ділянок землі з різним типом ґрунту, водного та лісового покриття.

#### **Література**

1. Benediktsson J. A. Neural Network Approaches Versus Statistical Methods In Classification Of Multisource Remote Sensing Data / J. A. Benediktsson, P. H. Swain, O. K. Ersoy. // IEEE. – 1990. – №4. – С. 540 – 552.
2. Venkatesan R. Convolutional Neural Networks in Visual Computing: A Concise Guide / R. Venkatesan, B. Li. – Arizona State University, Phoenix, USA: Taylor & Francis Group, 2018. – 187 с. – (CRC Press).
3. Navin M. K. Deep Learning with Applications Using Python / Manaswi Kumar Navin. – Bangalore, Karnataka, India: Apress, 2018. – 234 с.
4. Krizhevsky A. ImageNet classification with deep convolutional neural networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton. // Communications of the ACM. – №6. – С. 84–90.

## **ФЕТ БІОСЕНСОРИ НА БАЗІ ОКСИДУ ГРАФЕНУ БЕЗ МІТОК**

*Чаленко М. А., Токарчук Є. В.*

*(Науковий керівник Богомолів М. Ф., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Факультет біомедичної інженерії*

Відомо, що рак є другою за частотою причиною смерті в світі, а найбільш поширеними є рак простати та рак молочної залози. Наслідки раку можуть бути дуже серйозними, включаючи смерть та значні витрати на лікування. Розвиток біосенсорних технологій може допомогти виявляти рак на перших стадіях та значно покращувати ефективність лікування.

Підхід до детекції біомолекул без міток має безліч переваг у порівнянні з традиційними методами, які вимагають позначення (мітки) біомолекул для їх виявлення. Такі мітки можуть вплинути на властивості біомолекул і призвести до неточностей в дослідженні. Крім того, мітки можуть зменшити ефективність досліджень, оскільки вони можуть перешкоджати взаємодії біомолекул, що досліджуються.

Біосенсори, які використовують наночастинки, продовжують залишатися дуже важливими в науці та технології та є предметом інноваційних дослідницьких проєктів. Серед наночастинок карбонові наночастинки вважаються однією з найцінніших, особливо в галузі електрохімічних біосенсорів.

Графен — це матеріал, що складається з одного шару атомів вуглецю, що знаходяться в  $sp^2$ -гібридації і з'єднані через  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язки в гексагональну двовимірну кристалічну решітку, яка має багато чудових властивостей, таких як провідність, біосумісність, а також одночасну твердість і легкість. Період кристалічної решітки графену дорівнює 250 нм, а зв'язування біомаркерів з графеновою поверхнею може змінювати електричний струм, що протікає через графен, який можна виміряти та використати для виявлення захворювань.

Графен оксид містить кисневмісні функціональні групи, які надають йому певні властивості, такі як здатність зв'язуватися з різноманітними структурами, включаючи полімери та наноматеріали. Оксид графену має кращу розчинність, ніж графен.

На сьогодні, оксид графену був застосований в багатьох різних областях для створення біосенсорів для виявлення, наприклад, ДНК, білків, лікарських засобів, глюкози, бактерій, вірусів, іонів металів та різних типів біомаркерів, включаючи білки, допамін, мікроРНК тощо.

У випадку оксиду графену (GO) як ковалентні, так і нековалентні взаємодії можна використовувати для іммобілізації біомолекул на його поверхні. Одноланцюгові ДНК-зонди можна адсорбувати на поверхні GO за допомогою  $\pi$ - $\pi$  стекингу, а антитіла можна приєднати за допомогою

хімії EDC/NHS. Молекули ферментів зазвичай зв'язуються шляхом фізичної сорбції. Інші функціональні можливості, такі як квантові точки, різні металеві наноматеріали та процеси допування металами, також можна використовувати для підготовки сенсорної поверхні в конструкціях біосенсорів, що містять GO.

Методи імпедансної спектроскопії (EIS) і вольтамперометрії, такі як циклічна вольтамперометрія (CV) і диференційно-імпульсна вольтамперометрія (DPV), зазвичай використовуються в біосенсорних платформах для моніторингу окисно-відновних подій і механізмів, які відбуваються на поверхні електрода. EIS особливо корисний для аналізу резистивних і ємнісних властивостей фізичних і/або біомолекулярних модифікацій поверхонь електродів, включаючи наноматеріали, нуклеїнові кислоти та білкові структури. CV є найбільш широко використовуваним вольтамперометричним методом і використовується для пояснення основних електрохімічних подій, таких як термодинаміка окислювально-відновних реакцій і кінетика переносу електронів, що відбуваються на межі електрод-розчин, а також перенесення маси до поверхні електрода.

Під час синтезу графеноксида (GO) за методом Гаммерса, на поверхні матеріалу виникає пошкодження  $sp^2$ -площин графену через наявність функціональних груп з киснем. Це призводить до зниження провідності GO, що може створювати проблеми у біосенсорних конструкціях, особливо в електрохімічних біосенсорах. Для вирішення цієї проблеми застосовують зменшення GO до отримання редукованого графеноксида (rGO), який можна модифікувати безпосередньо на поверхні трансдуктора або піддати зменшенню хімічним, термічним чи електрохімічним методами. Отриманий в результаті rGO має частково відновлену структуру  $sp^2$ , хоча і містить функціональні групи з киснем у певній мірі.

У випадку FET біосенсора, rGO використовується як матеріал на поверхні FET для поліпшення чутливості та взаємодії з молекулярними аналітами, такими як біотини. Редукований оксид графену може забезпечити високу поверхневу активність та стабільну фіксацію біологічних молекул, що дозволяє досягти ефективного детектування біомаркерів, таких як біотинілювані мікроезерикули, у розробленому FET біосенсорі.

Біосенсори на основі FET без міток використовують електричне поле для контролю потоку струму в пристрої. Зокрема, оксид графену може бути використаний у дизайні такого пристрою, змінюючи провідність каналу та модифікуючи на його поверхні різноманітні біомолекули для захоплення.

Наприклад, у дослідженні Aspermaier та ін. було розроблено редукований графеновий оксидний FET (rGO-FETs) біосенсор для виявлення біомаркера раку шийки матки - вірусу папіломи людини (HPV) [1]. Для цього на поверхні FET було іммобілізовано РНК аптамер специфічний до відповідного типу раку, який дозволяє виявляти білок HPV-16 E7, що є метою

аналізу. Розроблений пристрій демонструє реальний час взаємодії аптамеру та білка, а також може визначати присутність мети без використання маркерів. Лінійний діапазон детектування HPV-16 E7 білка для цього FET сенсора становить від 30 до 1000 нМ з межею виявлення приблизно 100 пг/мл (1,75 нМ).

Останні розробки в технології призвели до нових підходів до аналізу всіх клітинних процесів разом, з особливим акцентом на мікровезикулах (MVs). Ці структури відіграють важливу роль у міжклітинному спілкуванні, і майже всі клітини вивільняють MVs для зв'язку з конкретними клітинами-реципієнтами. Аналіз різниці в кількості MVs до і після їх секреції має значні діагностичні наслідки в галузі медицини. Однак точне виявлення MVs було складним, тому було розроблено новий біосенсор FET, який долає дану перешкоду [2]. Біосенсор використовує відновлений оксид графену та стрептавідин у своєму дизайні поверхні (SA-функціоналізований біосенсор FET) і може спеціально розпізнавати біотинільовані MVs (B-MV) завдяки високій спорідненості між SA та біотином. З межею виявлення 20 частинок на мкл пристрій може відокремлювати B-MV від інших небіотинільованих структур і виявляти біотинільовані B-MV з різних клітин, включаючи ракові клітини та нормальні клітини.

Отже, безміткові біосенсори на основі FET, такі як ті, що використовують rGO-FETs або SA-функціоналізовані FETs, є перспективними для розробки чутливих та ефективних методів діагностики різних захворювань, зокрема раку. Крім того, такі технології можуть бути використані в інших галузях, таких як визначення складу водних розчинів, контроль якості харчових продуктів та розробка нових лікарських препаратів.

#### **Література**

1. Reduced graphene oxide-based field effect transistors for the detection of E7 protein of human papillomavirus in saliva / P. Aspermaier та ін. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. — 2021. — Т. 413. — № 3. — С. 779–787. URL: <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02879-z>
2. Microvesicle detection by a reduced graphene oxide field-effect transistor biosensor based on a membrane biotinylation strategy / D. Wu та ін. *The Analyst*. — 2019. — Т. 144. — № 20. — С. 6055–6063. URL: <https://doi.org/10.1039/c9an01332f>

### **Секція 3. Проектування, технологія та експлуатація радіоелектронної техніки. Радіовимірювання. Мікро- та наноелектронна техніка.**

*Методи та засоби проектування радіоелектронної апаратури. Методи та засоби, технічні рішення вимірювання фізичних величин. Особливості побудови радіовимірювальних засобів різного призначення. Фізико-технічні та конструктивно-технологічні засади та рішення мікро-, функціональної та наноелектроніки.*

## **АВТОМАТИЧНА ДОМАШНЯ ПИВОВАРНЯ**

*Асонов Д. Д.*

*(Науковий керівник Головня В. М. старший викладач кафедри ПРЕ)  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Домашнє пивоваріння є популярним хобі для багатьох людей, оскільки дозволяє не тільки насолоджуватися улюбленим напоєм, а й варити його самостійно зі своїми унікальними смаковими примхами [1]. Крім того, домашнє пивоваріння може бути і економічно вигідним, оскільки ціна на домашнє пиво часто нижча, ніж за комерційно виготовлене. Однак, варіння пива вимагає від пивовара великої уваги до багатьох деталей, таких як вибір правильних інгредієнтів, контроль температури і часу варіння, а також дотримання гігієнічних правил. Відмінне якість пива залежить від багатьох факторів, тому контроль цих деталей є критично важливим. Автоматична домашня пивоварня може стати чудовим рішенням для тих, хто хоче варити пиво вдома, але не має достатньо досвіду в цій справі або не має достатньо часу на контроль всіх процесів [2]. Вона може забезпечити стабільну температуру, правильне інгредієнтів та автоматичний контроль часу варіння, що забезпечить високу якість пива без додаткових зусиль та знань в цій галузі. Проте, перед тим як придбати автоматичну домашню пивоварню, важливо вивчити характеристики та функції різних моделей, а також врахувати фінансові витрати та місце, необхідне для зберігання пристрою та інгредієнтів.

Ринок домашніх пивоварень зростає з кожним роком, і на сьогоднішній день існує багато різноманітних пристроїв для виробництва домашнього пива. Для аналізу ринку розглянемо три популярні моделі: GUTEN, GRAINFATHER G30 та GRAINFATHER G70 [3-4].

GUTEN є однією з найдоступніших моделей на ринку домашніх пивоварень. Вона має великий 35-літровий бойлер, що дозволяє варити пиво великими партіями, та може керуватися за допомогою мобільного додатку. Однак, як зазначалося раніше, вона має свої недоліки, такі як нестабільний процес нагріву та складнощі з очищенням та доглядом.

GRAINFATHER G30 та GRAINFATHER G70 відомі своєю високою якістю та надійністю. Вони мають сучасний дизайн та великий вибір налаштувань, що дозволяє користувачам налаштувати їх під свої потреби. GRAINFATHER G70 має ємність у 70 літрів, що дозволяє варити значно більші партії пива, ніж G30 з ємністю 30 літрів (рис. 1).





Рисунок 1 – Різні типи пивоварень: а) – домашня GUTEN; б) – GRAINFATHER G30; в) – GRAINFATHER G70

Обидві моделі мають вбудований контроль температури та фазове керування потужністю ТЕНа, що дозволяє досить точно контролювати процес варіння пива.

Загалом, ринок домашніх пивоварень розвивається досить швидко, і на сьогоднішній день існує великий вибір різноманітних пристроїв, які можуть задовольнити потреби різних користувачів з різними бюджетами та вимогами. При виборі пивоварні варто звернути увагу на її ємність, можливості керування та ціну.

Актуальність створення більш доступного варіанту домашньої пивоварні з кращим контролем температури полягає в тому, що домашнє пивоваріння стає все популярнішим серед пивоварів-аматорів та домашніх гурманів. Однак, багато з наявних на ринку домашніх пивоварень, таких як GUTEN, GRAINFATHER G30 та GRAINFATHER G70, можуть бути досить дорогими для багатьох пивоварів-любителів. Створення більш доступної версії домашньої пивоварні з кращим контролем температури може допомогти пивоварям-любителям зекономити кошти на обладнанні, щоб вони могли зосередитись на експериментах зі своїми рецептами та підвищенні якості своїх пивних напоїв. Забезпечення кращого контролю температури під час процесу пивоваріння також може позитивно вплинути на якість та смак готового продукту, що дозволить домашнім пивоварям досягти більшої точності та стабільності під час варіння пива. Отже, створення більш доступної версії домашньої пивоварні з кращим контролем температури є важливою задачею, що може забезпечити більш широку доступність та покращення якості домашнього пивоваріння.

Фазовий контроль потужності ТЕНа - це одна з головних особливостей пивоварні що буде виготовлятися, що дозволяє досягти більш точного кон-

тролю температури. Зазвичай у дешевих пристроях використовуються прості терморегулятори, які включають та вимикають ТЕН, регулюючи тим самим температуру.



Рисунок 2 – Прототип пульта керування до домашньої пивоварні

Однак, фазовий контроль потужності ТЕНа дозволяє більш точно регулювати температуру, забезпечуючи стабільність та точність під час процесу варіння. Крім того, домашня пивоварня має кращі можливості налаштування рецепту, що дозволяє задати більшу кількість температурних пауз та їх тривалість. Це дуже важливо, оскільки кожна рецептура пива має свої вимоги до температури та тривалості варіння. І чим точніше ви зможете налаштувати процес, тим більш якісне та смачне пиво вийде у

результаті. Таким чином, домашня пивоварня має кілька важливих особливостей, які роблять її кращою за більш дорогі комерційні аналоги. Зокрема, фазовий контроль потужності ТЕНа та кращі можливості налаштування рецепту дозволяють забезпечити більш точний контроль температури та якості пива (рис. 2).

Розглянуто актуальність домашнього пивоваріння та аналіз ринку домашніх пивоварень. Зазначено, що можливо створити свій власний недорогий аналог з кращим контролем температури за допомогою фазового контролю потужності ТЕНа та кращої можливості налаштування рецепту. Цей підхід дозволить покращити якість домашнього пива та зробити його виготовлення більш ефективним та задовільним.

### Література

1. DOU Hobby: домашнє пивоваріння — смачні експерименти та результат, яким можна поділитися з друзями. URL: <https://dou.ua/lenta/interviews/dou-hobby-brewing/> (дата звернення: 03.04.2023).
2. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива: Підручник. – Київ: «Фірма «ІНКОС», 2004. – 426 с. ISBN 966-8347-05-6
3. istarik. [STM32 - диммер]. URL: <https://istarik.ru/blog/arduino/137.html> (дата звернення: 01.04.2023).
4. eurotherm.com. [Principles of PID Control and Tuning]. URL: <https://www.eurotherm.com/us/temperature-control-us/principles-of-pid-control-and-tuning/> (date of access: 01.04.2023).
5. Домашня пивоварня, 2012. solodok.beer. URL: <https://www.solodok.beer/> (дата звернення: 01.04.2023).

## **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ НА АЕРОДИНАМІКУ КОНВЕРТОВАНОГО БОЄПРИПАСУ, ЗОКРЕМА РІЗНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ДАВАЧІВ, СЕНСОРІВ, АНТЕН**

*Бичков О. Д.*

*(Науковий керівник Зінгер Я. Л., к.т.н., доцент кафедри ПРЕ)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Дослідження впливу різних електронних давачів на аеродинаміку боєприпасу є важливим напрямком у конструюванні комплектів конвертації для боєприпасів. Адже, на сьогоднішній день, електронні давачі широко використовуються в комплектах конвертації для збільшення їхньої точності та стабільності під час польоту. Однак, вивід давачів та інших електронних компонентів на зовнішню поверхню пристрою на пряму впливає на аеродинаміку такого комплексу [1].

Для вивчення цього впливу у даній роботі використано модель комплекту конвертації снаряду калібру 81 мм стандарту НАТО [2], яку створено в програмному середовищі «SOLIDWORKS».

Запропонований комплект призначений для керування боєприпасами при його вертикальному скиді з безпілотного літального апарату. Для симуляції потоків повітря використано програму «FloEFD». На рис. 1 представлено снаряд установлений в комплект конвертації.

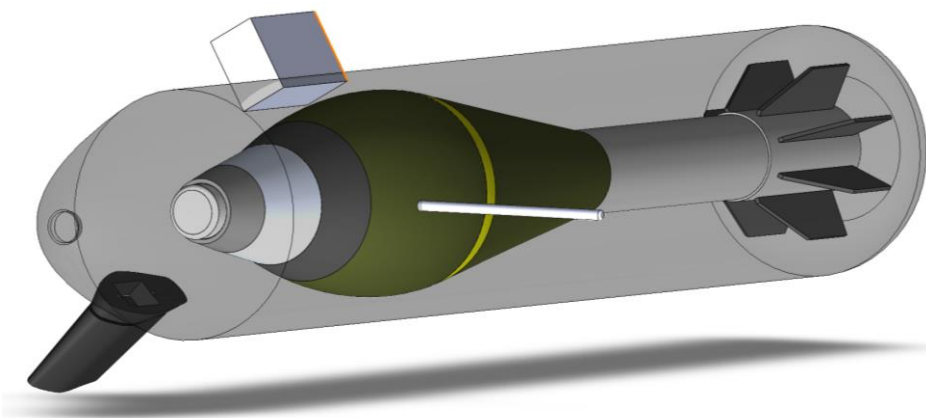


Рисунок 1 – Вигляд моделі дослідження

В представленій моделі розміщено антену довжиною 80 мм, керуючу поверхню з обтічником для сервоприводу та умовний давач грубої форми розмірами 50x20x30 мм. Також в носовій частині можна побачити заглиблення, яке призначене для розташування об'єктиву камери. Між керуючою поверхнею та обтікачем спеціально забезпечено відстань 1 мм для дослідження її впливу на аеродинаміку [3].

При дослідженні носова швидкість дорівнювала 50 м/с. Визначення

цього параметру відбувалось з розрахунку того, що конвертований боєприпас має вагу 5 кг (4,2 кг — висхідний боєприпас, 0,8 кг — комплект конвертації) та падає з висоти 100 м, що приблизно дорівнює 44,7 м/с відповідно до формули:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Значення в 50 м/с взято щоб врахувати можливі нерівномірності повітря або вітер.

Після проведення розрахунків, отримано результати, які наведено на рис. 2.

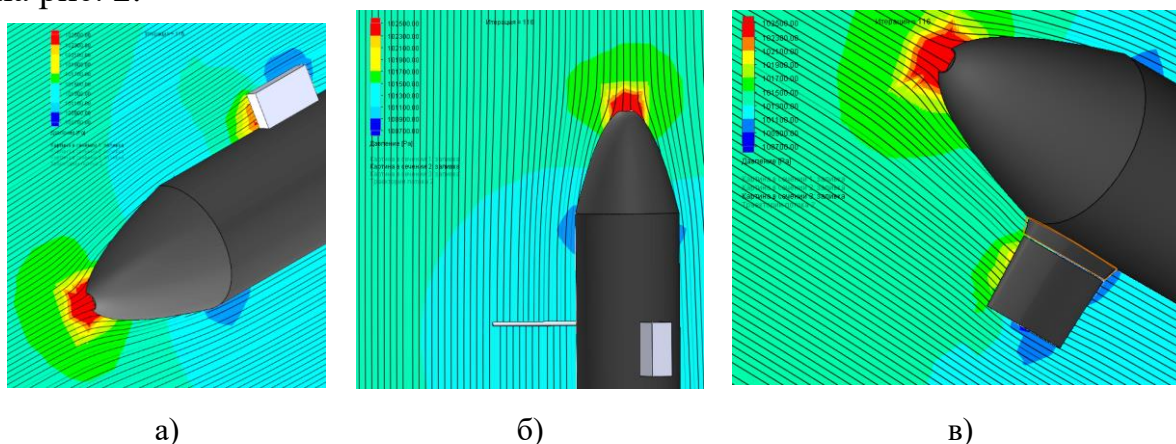


Рисунок 2 – Результати дослідження

Найбільший вплив на аеродинаміку має виріз під камеру у носовій частині пристрою. Це одне з найважливіших місць, неправильні зміни якого, можуть призвести до значних проблем з аеродинамікою. Що і спостерігається у цьому дослідженні.

Можна дійти висновку, що оптимальним методом зниження впливу цього вирізу може бути встановлення прозорої кришки, яка буде продовжувати форму всієї носової частини. Ще одним варіантом розміщення камери з меншим впливом на аеродинаміку можна назвати вивід камери на одну зі сторін боєприпасу з розробкою конструкції відповідного обтікача. Але це матиме вплив на процес керування, адже не буде можливості бачити що саме знаходиться під носовою частиною боєприпасу.

Великий вплив на аеродинаміку має умовний давач, який має грубу форму (рис. 2, а). Це дозволяє зробити висновок про те, що якщо необхідно вивести давач назовні пристрою, то треба робити для нього спеціальний обтікач. При цьому треба враховувати зміщення центру тяжіння через момент, який виникає між давачем та наявним центром тяжіння.

Видно, що отвір між обтікачем для сервоприводу та керуючою поверхнею має досить великий вплив на аеродинаміку (рис. 2, в), адже саме за ним наявне зменшення тиску, в той час, як за самим крилом такого не спостерігається.



Наведені раніше результати, дають можливість дійти висновку, що цей отвір необхідно робити мінімального розміру, щоб аеродинамічна керуюча поверхня максимально плавно переходила в обтікач.

З результатів також видно, що антена має найменший вплив на аеродинаміку (рис. 2, б), адже вона має обтічну форму та малі розміри. Але на графіку швидкості (рис. 3) видно, що зі сторони антени маємо більшу швидкість, ніж з іншої сторони. Тобто, боєприпас зносить в сторону антени. Це можна пояснити моментом, який виникає між кінцем антени та поверхнею комплексу конвертації.

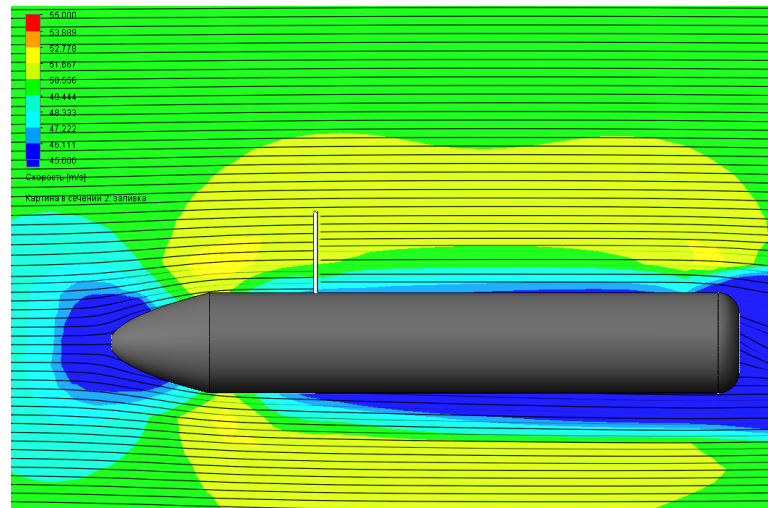


Рисунок 3 – Зміни швидкості через антену

За результатами даного дослідження, було виявлено, що електронні давачі та антени погіршують аеродинамічні властивості боєприпасу, змінюючи його форму та центр тяжіння.

Для досягнення максимальної ефективності боєприпасу важливо враховувати вплив зовнішньої електроніки на його аеродинаміку та при встановленні електронних компонентів дотримуватись вимог до аеродинамічної стійкості.

#### Література

1. Boord W. J. Air and Missile Defense Systems Engineering / W. J. Boord, J. B. Hoffman. – New York: CRC Press, 2016. – 268 с. – (Taylor & Francis Group).
2. 81 MM SYSTEM. // Quality Austria. – 2017. – №11. – С. 1–2.
3. A novel aerodynamic modeling method for an axisymmetric missile with tiny units / G.Chen, T. Zhigong, W. Wenzheng, X. Mingxin. // Advances in Mechanical Engineering. – 2019. – №11. – С. 9.

## **ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО НАНЕСЕННЯ ФАРБ НА ВЕРТИКАЛЬНУ ПОВЕРХНЮ**

*Гончарук К. Г.*

*(Науковий керівник Неуймін О. С., к. т. н)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

В Україні пристрій, яким можна пофарбувати стіни з мінімальною участю людини, може стати актуальним з декількох причин. По-перше, Україна постраждала у війні з Росією, яка призвела до значних пошкоджень будівель та інфраструктури. Ремонт та реконструкція пошкоджених будівель вимагатиме значної кількості ресурсів, у тому числі кваліфікованих робітників. Пристрій, який може автоматизувати процес фарбування, допоможе прискорити процес ремонту та може зменшити загальну вартість реконструкції. По-друге, даний фарбувальний пристрій може стати актуальним через його потенціал до зменшення відходів. Традиційні методи фарбування можуть бути неохайними та марнотратними, що призводить до утилізації невикористаної фарби та інших матеріалів. Пристрій, який може наносити фарбу точно та з мінімальним розбризкуванням, може допомогти зменшити відходи та зробити фарбування більш екологічним. Завдяки цьому, даний фарбувальний пристрій може допомогти покращити стандарти якості в Україні, що допоможе нашій державі досягти стандартів якості країн ЄС.

Перевагами, що надають актуальності розробці пристрою автоматичного нанесення фарб на вертикальну поверхню, є: ефективність (прискорення процесів фарбування за допомогою автоматизації цього процесу); економічна ефективність (зменшення витрат на робочу силу); безпека (безпека людини при проведенні фарбувальних робіт); зручність у використанні.

В табл. 1 представлений порівняльний аналіз існуючих рішень:

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця існуючих рішень

Назва пристрою	Опис	Розміри робочої поверхні / Вага	Ціна
BotsyART86 [1]	BotsyART базується на мікроконтролері Arduino та вертикальному 2-осьовому верстаті з ЧПК або настінному плотері. Можна керувати через Bluetooth або USB-кабель з ноутбука.	2,16 м x 1,65 м / 1,8кг	92 356 грн



Продовження таблиці 1

Назва пристрою	Опис	Розміри робочої поверхні / Вага	Ціна
MYRO [2]	MYRO управляється з командної програми на iPad. Необхідно завантажити плани поверхів і додаємо інші необхідні елементи, які створюють карту простору для малювання для MYRO. Потім оператор планує робочий процес і контролює хід.	до 3,1 м від підлоги до стелі по всій поверхні стіни / 150 кг	-
Spray Printer [3]	Даний пристрій є напівавтоматичним, адже переміщення по робочій поверхні здійснюється користувачем. Пристрій призначено саме для перенесення зображень на поверхню, аніж нанесення однотонного шару фарби.	-/ 0,6 кг	9995 грн
6 axis painting robot [4]	6-осьовий малюючий робот дозволяє фарбування будь-яких поверхонь, а не тільки вертикальних.	Коло радіусом 1,5 м / 125 кг	339 870 грн
Mural Inkjet Printer [5]	Пристрій працює за принципом струйного принтера, що дозволяє фарбування малюнку будь-якої складності, на відміну від деяких інших пристроїв.	9 м x 6 м / 200 кг	129 299 грн

Отже, при розробці прототипу власного пристрою за найближчий орієнтир було обрано BotsyART86, адже саме він краще за інші підходить для фарбування вертикальних поверхонь однотонною фарбою. При виборі було враховано такі аспекти як ціна, відсутність потреби додаткових датчиків для переміщення/руху пристрою, а також мобільність пристрою, що досягається його малою вагою та легкістю монтажу. Дво-осьовий верстат з ЧПУ на базі мікроконтролера, що є основою електронних модулів пристрою повністю задовольняє передумови для фарбування вертикальних поверхонь.

#### Література

1. Сайт виробника Botsy [Електронний ресурс] : сторінка пристрою BotsyART86 — Режим доступу до сайту: <https://www.botsy.com/products/botsy> — Назва з екрана.
2. Сайт виробника MYRO [Електронний ресурс] : головна сторінка сайту Режим доступу до сайту: <https://myro.bot/index.php> — Назва з екрана.
3. Сайт виробника SprayPrinter [Електронний ресурс] : головна сторінка сайту — Режим доступу до сайту: <https://sprayprinter.com/> — Назва з екрана.
4. Інтернет магазин Alibaba [Електронний ресурс] : сторінка пристрою 6 axis painting robot — Режим доступу до сайту: [https://www.alibaba.com/product-detail/robot-arm-6-axis-vertical-multi\\_1600426925866.html](https://www.alibaba.com/product-detail/robot-arm-6-axis-vertical-multi_1600426925866.html) — Назва з екрана.
5. Інтернет магазин Alibaba [Електронний ресурс] : сторінка пристрою Mural Inkjet Printer — Режим доступу до сайту: [https://www.alibaba.com/product-detail/3d-Effect-Vertical-Wall-Glass-Wood\\_11000005243719.html?s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/3d-Effect-Vertical-Wall-Glass-Wood_11000005243719.html?s=p) — Назва з екрана.

## **IMPACT OF COMPONENTS PARAMETERS DEVIATIONS ON ELECTRONIC EQUIPMENT RELIABILITY**

*Nikitchuk A. V.*

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic  
Institute”, Faculty of Radio Engineering*

During the operation of electronic devices, components may be affected by various factors, which can lead to changes in their parameters and, consequently, to a decrease in the reliability and quality of the equipment as a whole. For example, temperature, humidity, vibration, and other factors can cause changes in the electrical, mechanical, and thermal properties of components. Maintenance and repair is also an important factor affecting the parameters of the components. When replacing components, it is necessary to take into account possible parameter deviations and select a component with appropriate characteristics.

In many critical systems, operating conditions are often harsh, with power levels that can change rapidly and arbitrarily, leading to significant temperature fluctuations in electronics [1].

The relationship between the deviations of the parameters of radio-electronic components and their temperature mode of operation is an important problem in the design of electronic devices, as temperature is one of the primary factors that affect the electrical parameters of components.

Electronic equipment developing in the direction of miniaturization and high integration faces the danger of high heat flow and uneven temperature distribution, which leads to a reduction in the service life and reliability of electronic devices [2].

Manufacturers must consider the impact of operating conditions on component parameters and develop methods and technologies that allow to reduce this impact.

Deviation of component parameters can affect the electrical parameters of electronic equipment. For example, changes in resistance, capacitance, inductance, voltage, and other parameters can lead to changes in electrical circuits, which can affect their operation and reliability. Changes in capacitor capacitance can lead to changes in the frequency response of filters, which can affect signal quality. Also, changes in the resistance of resistors can lead to changes in the signal level in electrical circuits, which can affect data transmission quality.

Changes in electrical parameters can also lead to increased energy consumption and decreased device efficiency. A simple example is that an increase in resistance in wires can lead to an increase in energy consumption for current transportation, which can affect the battery life or increase energy costs in electrical networks.

Therefore, to ensure reliable and stable operation of electronic equipment, it is important to monitor component parameters and use components with appropriate characteristics.

Determining the impact of deviations on the reliability of electronic devices at the design stage is an important step in the development of electronic devices. This stage allows to ensure high quality and reliability of devices at all stages of their life cycle.

The first step in this process is to determine the reliability requirements for the device. These requirements may include parameters such as uptime, failure probability, failure rate, repair and maintenance costs, etc.

Next, it is necessary to analyze the impact of deviations on component parameters. At the design stage, it is important to determine the relationship between deviations of component parameters and their temperature mode, as this allows to identify the optimal operating mode for the device to ensure its reliability and resistance to external factors.

To determine the impact of deviations on the reliability of electronic equipment at the design stage, methods such as sensitivity analysis, Monte Carlo method, Taguchi method, etc. can be used.

It is also necessary to perform reliability analysis of the device using a mathematical model. The model can include component parameters, their permissible deviations and the interaction of the components in circles. Based on such a model, the probability of device failures can be determined under different operating conditions and different parameter values. Special software has been developed to determine the reliability indicators of the device and individual electronic components [3].

In addition, it is necessary to carefully study manufacturers' catalogs of components and their technical characteristics in order to select components with minimal deviations and ensure maximum overall device reliability. These steps will help to develop equipment with optimal reliability indicators.

#### **References**

1. Y. Yang, H. Wang, A. Sangwongwanich, F. Blaabjerg, "Design for Reliability of Power Electronic Systems", in Power Electronics Handbook. Butterworth-Heinemann, vol. 4, pp. 1423-1440, 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-811407-0.00051-9.
2. Z. He, Y. Yan, Z. Zhang, "Thermal management and temperature uniformity enhancement of electronic devices by micro heat sinks: A review", in Energy, vol. 216, Article 119223, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.119223.
3. B. M. Uvarov, A. V. Nikitchuk, "Radioelectronic Apparatus Design with Optimal Reliability Indicators", Visnyk NTUU KPI Serii A – Radiotekhnika, vol. 75, pp.48-53, 2018, doi: 10.20535/RADAP.2018.75.48-53.

## **ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНИХ СМАРТ-КАМЕР В СИСТЕМАХ ОХОРОНИ**

*Родько М. А.*

*(Науковий керівник Головня В. М., старший викладач кафедри ПРЕ)  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Сонячний трекер - це пристрій або система, що слідкує за рухом Сонця на небосхилі протягом дня. Він зазвичай використовується для автоматичного налаштування сонячних панелей або сонячних колекторів на оптимальний кут для збору сонячної енергії [1].

В такі часи, як зараз, коли деякі люди хочуть постійно відчувати себе захищеними, з такими технологіями, які вже починають з'являтися на ринку, це стає все простіше. Завдяки камерам відеоспостереження можливо подивитись, наприклад, що коїться біля домівки чи на приватній території, і перевірити її безпеку лише за декілька натискань в телефоні, або ж комп'ютері. Проте камери, для відеоспостереження за приватними територіями, що не мають власного живлення це не ефективний варіант, через те що доведеться провести туди дріт, лише для цієї камери. З іншого боку є камери, що працюють з Wi-Fi та мають автономне живлення, проте постійно постає питання їх енергоефективності, тому тематика проекту з дослідження та покращення цього параметру завдяки використанню сонячного трекера та поліпшень у роботі ШІ камери актуальне.

Основним напрямком розвитку енергетики останніх десятиліть є альтернативна енергетика у зв'язку з розвитком якої з'явилася можливість доповнити існуючу інфраструктуру децентралізованими системами генерації електрики, які допоможуть суттєво зменшити втрати внаслідок передачі та перетворення електрики. Подібні системи, як наш проект, можуть бути також використані для того, щоб дуже швидко встановлювати їх без необхідності складного підключення.

Камери з сонячними панелями мають безліч переваг, проте також мають і недоліки, тому що, від кількості сонячного світла, що потрапляє на сонячні панелі, залежить її ефективність. При аналізі ринку було помічено, що смарт-камер, що використовують сонячний трекер майже немає, тому постає питання чи доцільно використовувати таку модифікацію й наскільки вона може поліпшити тривалість роботи на основі розробленої смарт-камери.

Під час проекту планується провести порівняння ефективності камери з сонячним трекером та без нього, сонячний трекер буде розроблено самостійно з урахуванням потреби у низькому електроживленні та ергономічному дизайні. Пропонується навчити також нейронну мережу використо-

увати більші та кращі бібліотеки для найкращого визначення людей в периметрі, можливе навчання ШІ визначати саме працівників в певній формі на підприємстві й повідомляти якщо на кадрі зайві особи.

На початку роботи над проектом, доречно сконструювати власний сонячний трекер, адже існуючі на ринку не відповідають умовам енергоефективності потрібним при експлуатації з сонячною смарт-камерою, звичайні використовують забагато енергії. За попередніми результатами це може привести до підвищення тривалості роботи смарт-камери на 8-10%. Цей процент обумовлений тим, що в основному компанії рекомендують влаштувати сонячні панелі лише в певному нахилі без залежності пори року та особливо залежності регіону. Розглянемо модель (рис.1) стандартного рекомендованого налаштування панелі, яка найчастіше використовується:

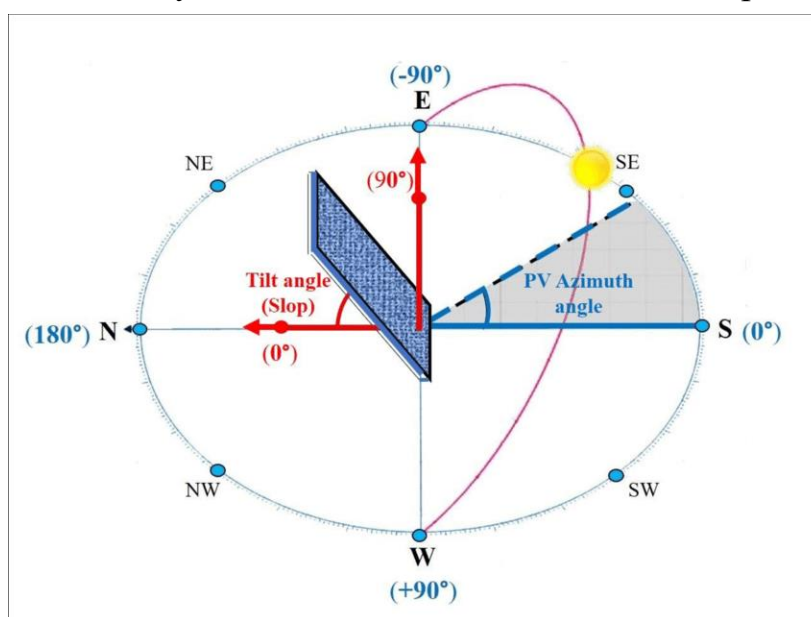


Рисунок 1 – Ескіз стандартного влаштування панелі [2]

В залежності від країни сонячні панелі повинні бути нахилені під різним кутом. Для фотоелектричних панелей, де електроенергія знову вводиться в мережу для перепродажу, оптимальна орієнтація на південь під кутом  $37^\circ$  [3], що дозволяє максимізувати середнє загальне виробництво електроенергії загалом за рік, проте результат цього проекту має перевершити ці показники. Пристрій буде самостійно визначати та виставляти оптимальний кут нахилу для отримання максимальної кількості енергії без надобності самостійного переналаштування під час різних пор року. Практика використання цієї технології для смарт-камер може збільшити попит на продукт, адже це не на стільки сильно впливає на ціну, проте може забезпечити один з найвищих рівнів тривалості роботи смарт-камери на ринку.

Також можна застосувати машинне навчання для сонячного трекеру задля ще більшого зменшення використання енергії. Це дозволить пристрою



визначати найкращі параметри руху впродовж дня, перевірка буде проводитись раз на тиждень. Під час тестування буде досліджено результати покращення ефективності енергозбереження. Завдяки розрахункам буде доведено скільки годин пристрій може працювати в умовах різних режимів роботи з трекером та без нього.

Таким чином, пропоную використати результати, що будуть отримані під час виконання цього проекту для подальшого модернізування існуючих систем охорони завдяки використанню сонячних смарт-камер виконаних за результатами дослідження, що доводять надобність у проведенні додаткових модифікацій у вигляді сонячних трекерів, правильного використання матеріалів з урахуванням потреб у довготривалій роботі пристрою навіть за поганих умов погоди. За результати попередньої бакалаврської роботи та проведеного дослідження в ньому ми отримали покращення у енергоефективності на 12% без використання модифікацій, котрі ми плануємо додати у наступних варіаціях приладу. Тому, попередньо можна вважати, що дані кроки допоможуть що можуть додати теоретичні 8% завдяки використанню сонячного трекеру низького живлення.

#### **Література**

1. Сонячний трекер [Електронний ресурс] : [Термінологія про сонячний трекер] ]./ [https://frwiki.wiki/wiki/Tracker\\_solaire](https://frwiki.wiki/wiki/Tracker_solaire)— Назва з екрану.
2. Ескіз правильно нахилу [Електронний ресурс] : [Інформація про правильний кут нахилу для сонячних панелей]./ [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net) // Режим доступу – [https://www.researchgate.net/figure/Иllustration-of-the-solar-panel-orientation\\_fig1\\_349608444](https://www.researchgate.net/figure/Иllustration-of-the-solar-panel-orientation_fig1_349608444) — Назва з екрану.
3. Оптимальний кут нахилу [Електронний ресурс] : [Інформація про оптимальний кут нахилу для сонячних панелей в Україні]./ [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net) // Режим доступу – <https://solarsystem.com.ua/zvit-pro-robotu-sonyachnyh-elektrostantsij-pid-zelenyj-taryf-zatraven-2018-roku> — Назва з екрану.



**Секція 4. Радіотехнічні кола та сигнали.  
Електродинаміка. Пристрої НВЧ діапазону та антенна  
техніка.**

*Методи та алгоритми аналізу та синтезу кіл. Розрахункові методи та алгоритми обробки сигналів. Електродинаміка середовищ. Спрямовуючі структури та резонатори. Чисельні методи в електродинаміці. Проектування антен та мікрохвильових пристроїв.*

## МОДИФІКОВАНИЙ ПОДІЛЬНИК ПОТУЖНОСТІ УІЛКІНСОНА МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Гавриш К. О.

(Науковий керівник Турєєва О. В., старший викладач)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет

Подільник потужності Уїлкінсона (рис.1) - класичний елемент інтегральної технології, що часто використовується при проектуванні НВЧ систем. В гібридно-інтегральних пристроях діапазон їх застосування зазвичай обмежується частотами короткохвильової частини сантиметрового діапазону, що пов'язано з крайовими ефектами у мікросмужкових лініях (МСЛ) в точках підключення баластного резистора  $R_b$ .

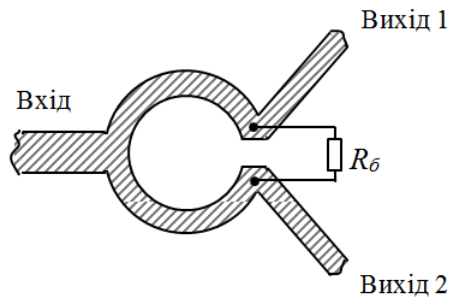


Рисунок 1 – Подільник потужності Уїлкінсона на МСЛ

Дійсно, еквівалентна схема розриву провідника МСЛ (рис. 2) містить реактивності, що показують накопичення зарядів на торцях лінії.

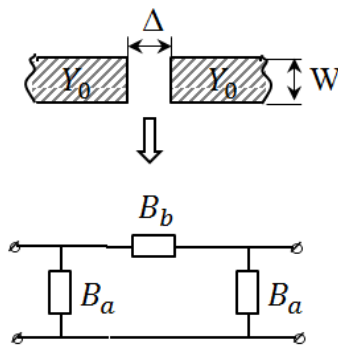


Рисунок 2 – Еквівалентна схема розриву провідника МСЛ

Величини цих реактивностей можуть бути оцінені з наступних співвідношень [1]:

$$B_a/Y_0 \approx \frac{2d}{\lambda} \ln \left[ \operatorname{ch} \left( \frac{\pi \Delta}{d} \right) \right],$$
$$B_b/Y_0 \approx \frac{d}{\lambda} \ln \left[ \operatorname{cth} \left( \frac{\pi \Delta}{d} \right) \right].$$

Зокрема, на частоті 25 ГГц при типових параметрах підкладинки МСЛ  $\epsilon=2,2$ ,  $d=127$  мкм і зазорі  $\Delta=300$  мкм маємо

$$B_a/Y_0 \approx 0,201$$
$$B_b/Y_0 \approx 1,8 \cdot 10^{-5},$$

Так, що шунтуючі резистор провідності достатньо великі, щоб позначитися на поведінці подільника, у якому нормована величина провідності резистора повинна складати

$$1/(R_6 Y_0) \approx 0,5$$

Це призводить до значного погіршення розв'язки між виходами подільника і збільшенню КСХ зі входу навіть при використанні резисторів з малими паразитними параметрами.

В роботі пропонується змінити вихідну топологію подільника Уілкінсона так, щоб уникнути дії зазначених явищ, виключити неминучий вплив паразитних параметрів резистора, і, таким чином, зробити можливим використання подільника на частотах міліметрового діапазону довжин хвиль. Топологія нового запропонованого подільника потужності показана на рис. 3.

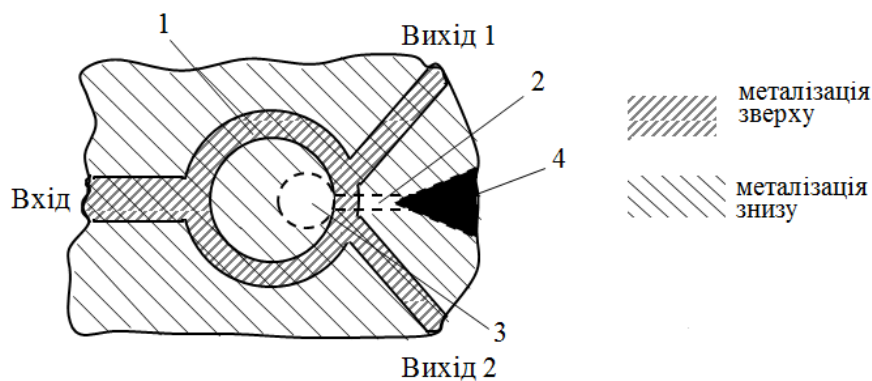


Рисунок 3 – Модифікована топологія подільника потужності на МСЛ

Видно, що подільник містить напівхвильове суцільне по всій довжині кільце сигнального провідника МСЛ з хвильовим опором  $Z_0/\sqrt{2}$  і щілинну лінію 2, розташовану на зворотній стороні підкладинки МСЛ. Щілина лінії 2 перетинає проекцію сигнального провідника посередині довжини кільця. Щілинна лінія з боку області МСЛ закінчується круглим отвором 3 в металізації, а поза цієї області - поглиначем 4. Відомо [2], що круглий отвір в металізації щілинної лінії ефективно імітує режим холостого ходу цієї лінії, що і необхідно для її оптимального збудження зі сторони МСЛ. З іншого боку очевидно, що збудження щілинної лінії відбувається лише зі сторони виходів подільника, що і забезпечує їх розв'язку, оскільки хвильовий опір щілинної лінії обирається рівним  $2 Z_0$ , а її вихід навантажений на узгоджене навантаження (поглинач).

Ефективність запропонованої конструкції подільника підтверджується її розрахунком в пакеті програм електродинамічного аналізу CST Microwave Studio, рис. 4. Розрахунки проведені для МСЛ з хвильовим опором  $Z_0 = 50$  Ом, підкладки товщиною 127 мкм і діелектричною сталюю, рівною 2,2. Видно, що подільник забезпечує коефіцієнт передачі мінус  $3 \pm 0,2$  дБ і розв'язку не гірше 12 дБ в усьому робочому діапазоні прямокутного хвилевода перерізом 11x5,5 мм.

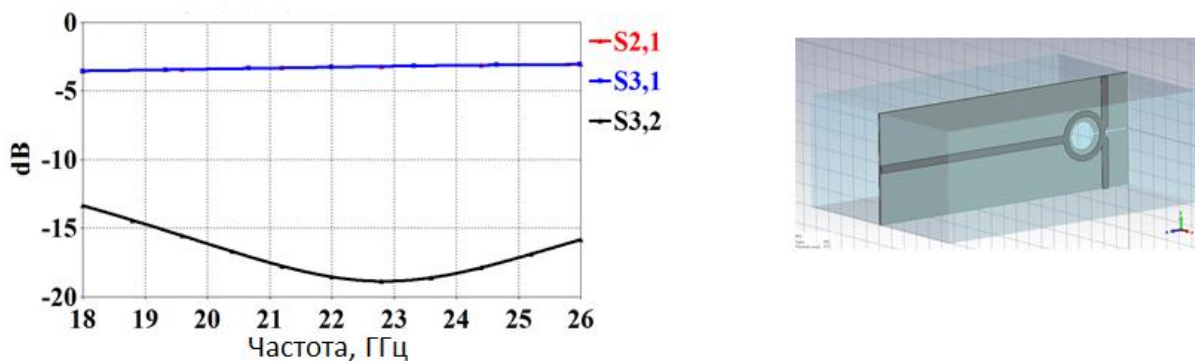


Рисунок 4 – Характеристики розробленого подільника потужності

Таким чином, запропонована реалізація мікросмушкового подільника потужності дозволяє розширити діапазон використання класичного подільника потужності Уілкінсона в область міліметрових довжин хвиль при зберіганні високого значення розв'язки між вихідними портами.

#### Література

1. Gupta, K. C., Garg, R., & Chadha, R. (1981). Computer-aided design of microwave circuits. Artech.
2. Bhat, V. , Koul, S.K. Analysis, Design, and Applications of Fin Lines. Artech House microwave library (1987). <https://books.google.com.ua/books?id=8x1TAAAAMAAJ>

## ГІБРИДНО-ІНТЕГРАЛЬНИЙ ІМІТАТОР ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЗСУВУ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

*Жердєв М. В.*

*(Науковий керівник Омеляненко М. Ю., старший викладач)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Розробка сучасних радарів і датчиків руху міліметрового діапазону повинна вимагати створення спеціальних стендів, обладнання яких орієнтовано на специфіку побудови радіолокаційної системи. Дана робота присвячена розробці імітатора доплерівського зсуву для дослідницького стенду доплерівського локатора/датчика руху неперервного випромінювання. Блок-схема імітатора (рис.1) містить 3-х децибельний спрямований відгалужувач тракту гетеродина (СВ), два двохдіодних балансних змішувачі (ЗМ1, ЗМ2), квадратурний подільник потужності сигналу зсуву (КПП) і синфазний суматор вихідного сигналу (СС). Як видно, розроблений імітатор являє собою перетворювач частоти з фазовим придушенням дзеркального каналу [1].

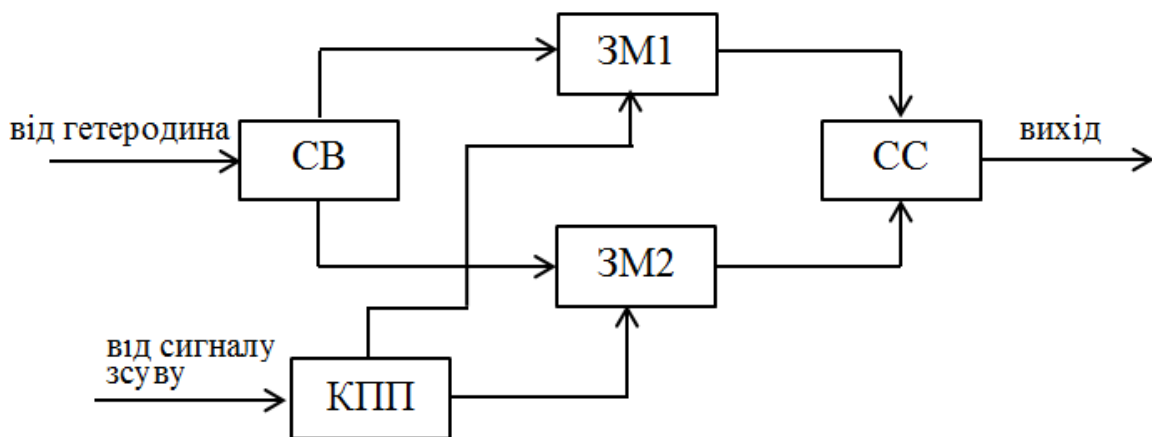


Рисунок 1 – Блок-схема імітатора доплерівського зсуву

Всі елементи зазначеної схеми за виключенням КПП зібрані на єдиній підкладинці у вигляді гібридно-інтегральної хвилеводно-планарної схеми (ГІС). Попередньо розрахунок топології і характеристик кожного з вузлів був проведений за методиками, розробленими в лабораторії кафедри РТС. Розраховані параметри деяких з них представлені в таблиці 1 (дані для частоти  $f_0=22$  ГГц). На рис. 2 представлені експериментальні характеристики імітатора: а) - частотні залежності величини КСХ, виміряні зі сторони гетеродинного входу і виходу імітатора; б) - частотна залежність розв'язки між гетеродинним входом і виходом імітатора.

Таблиця 1 – Параметри вузлів розрахованої топології імітатора

Назва вузла	Параметр	Значення
Спрямований відгалужувач	Перехідне ослаблення	3 дБ
	Розв'язка	>25 дБ
Змішувачі 1, 2	Втрати перетворення	< 6 дБ
Синфазний суматор вихідного сигналу	КСХ	< 1,4

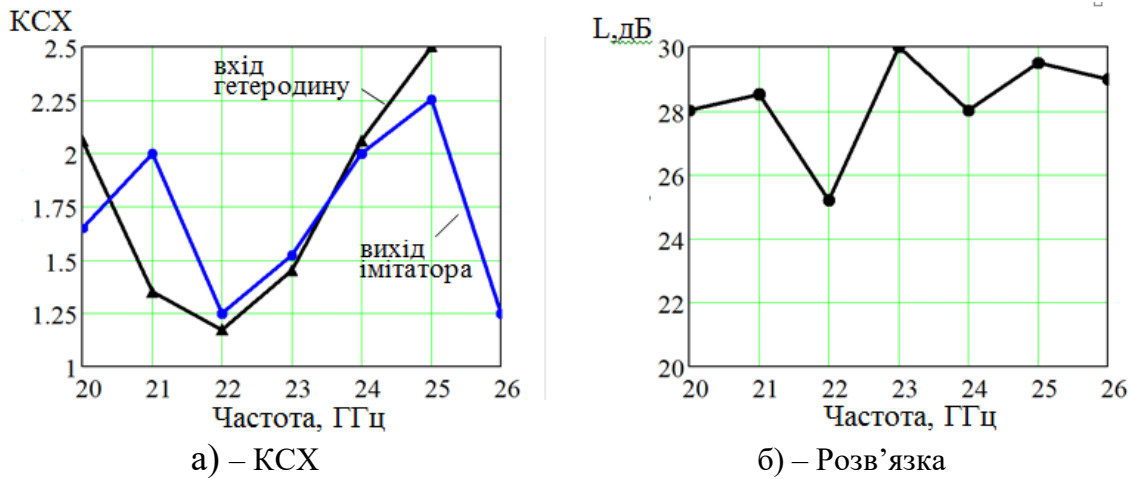


Рисунок 2 – Експериментальні характеристики імітатора

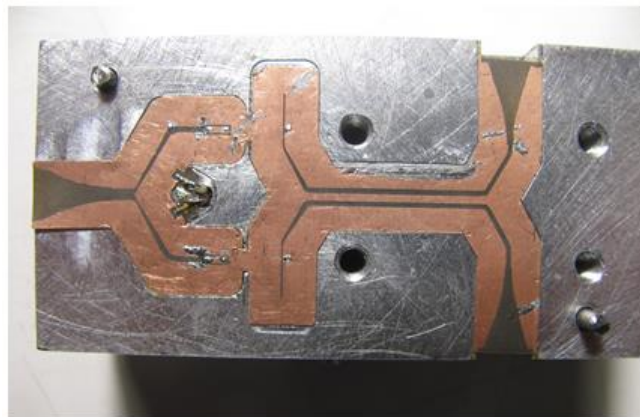


Рисунок 3 – Розроблена ГІС імітатора доплерівського зсуву

В результаті вимірювань було знайдено, що придушення дзеркальної частоти по відношенню до обраної частоти доплерівського зсуву складає не менше 30 дБ в діапазоні частот зсуву від 30 до 40 кГц. На рис. 3 представлено фото розробленої ГІС в корпусі.

#### Література

1. A. Carrera and G. Rohmer, "Novel Design Methodology for Low-power Image-reject Mixers," 2007 Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, Long Beach, CA, USA, 2007, pp. 261-264, doi: 10.1109/SMIC.2007.322808.



## **МОДЕЛЮВАННЯ РОЗУМНОЇ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ ПОВЕРХНІ МІЛІМЕТРОВОГО X-BAND ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ**

*Задорожний Г. С.*

*(Науковий керівник Василенко Д. О., к.т.н., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Завдяки метаматеріалам з'явилася можливість створювати матеріали які у природі не зустрічаються зовсім. За діелектричною та магнітною проникностями розрізняють матеріали із: 1) додатними проникностями ( $\epsilon, \mu$ ), 2) від'ємна тільки діелектрична проникність ( $-\epsilon, \mu$ ), 3) від'ємна тільки магнітна проникність ( $\epsilon, -\mu$ ), 4) від'ємні обидві проникності ( $-\epsilon, -\mu$ ). Реалізувати такі матеріали можна за допомогою метаатомів, тобто елементарних ячеек. Знаючи параметри однієї ячейки, ми можемо синтезувати цілий метаматеріал [1].

Метаповерхня є частковим випадком метаматеріалу. Метаповерхня дає можливість створювати радіолінзи, радіопоглиначі [2], хвилеводні та мікросмушкові фільтри [3], штучний магнітний провідник [4].

Концепція розумної реконфігурованої поверхні – це штучний магнітний провідник із доданим елементом для перестроювання його резонансної частоти. Елементами перестроювання можуть бути пін-діоди [5], варактори [6], транзисторні ключі [7].

Таким чином, у певному діапазоні частот можна отримати різні фази відбитої хвилі від певних елементарних ячеек, які можуть бути використані для формування діаграми направленості відбитої хвилі усією поверхнею.

Елементарна ячейка представляє собою квадратний патч, розміри якого оптимізовані (рис. 1) на резонансну частоту 10,08 ГГц. Ячейка має 2 шари металізації (рис. 2), виконана на матеріалі Rogers RO4350B із діелектричною проникністю 3,66 та висотою 0,25 мм. Варактором був вибраний доступний на ринку SMV2202-040LF, ємність переходу якого змінюється у діапазоні (3,14...0,31) пФ зі зміною напруги зміщення 0...20 В. На верхньому шарі розміщений квадратний патч, який з'єднаний із землею у центрі; та варактор із перехідним отвором для подачі живлення. Лінія живлення варактора розміщена у нижньому шарі плати таким чином, щоб не вносити зміни у розподіл НВЧ струмів елементарної ячейки.

На рис. 3,4 зображені результати моделювання у симуляторі CST. Резонансна частота при внесенні варактора із лінією живлення зміщується на 10,044 ГГц. Із максимальною напругою на варакторі 20 В ми отримуємо зміщення резонансної частоти на 268 МГц до частоти 10 312 ГГц.

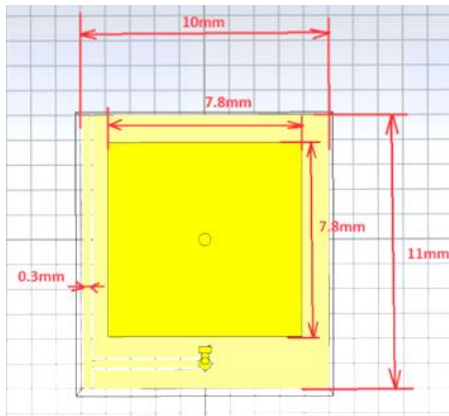


Рисунок 1 – Розміри елементарної ячейки

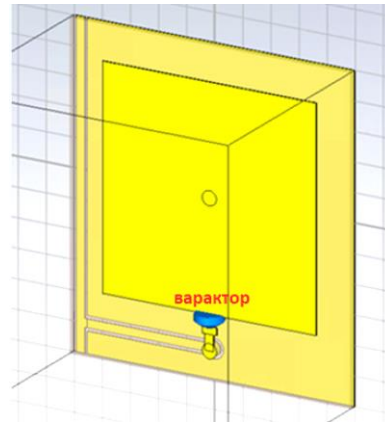


Рисунок 2 – Елементарна ячейка, вид збоку

На частоті 10,18 ГГц ми отримуємо зсув фази  $-99...+104$  градуси. Ширина робочої смуги частот елементарної ячейки визначається по зміні фази від  $-90$  до  $+90$ , і у нашому випадку становить 245 МГц, яка не змінюється з перестроюванням.

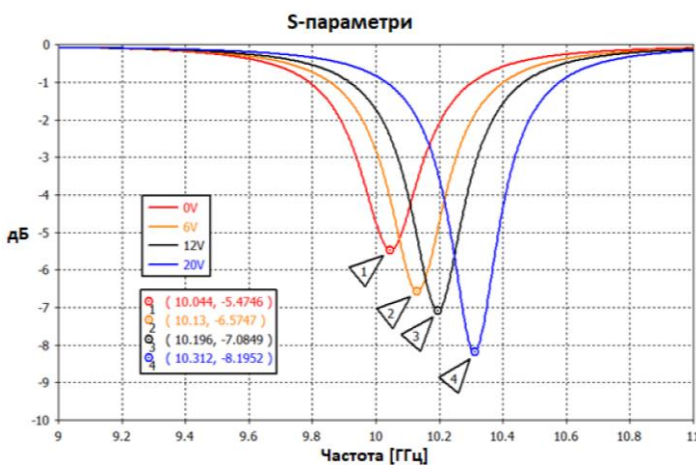


Рисунок 3 – Модуль коефіцієнта відбиття

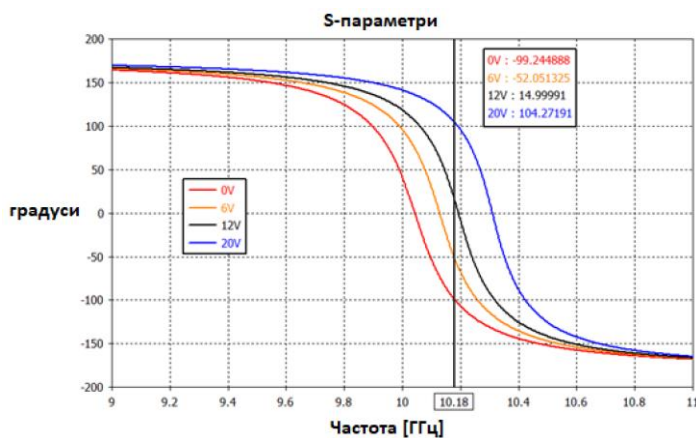


Рисунок 4 – Фаза коефіцієнта відбиття

тоти 9,66 ГГц. Смуга пропускання не змінилася.

Для перевірки отриманих результатів створена модель поверхні розміром 22x45 ячеек для покриття по  $-3$  дБ головної пелюстки рупорної антени у відповідних Е та Н площинах. Для спрощення обчислювального процесу, елементарна ячейка була взята без варактора із резонансною частотою 10,08 ГГц. Проведена симуляція із двома рупорними антенами (рис. 5), щоб змінити фазу побачини на параметрі  $S_{1,2}$ . Використана формула обчислення [8] дає змогу обчислити фазу відбитої хвилі від метаповерхні у порівнянні із металевою пластиною того ж розміру. На рис. 6 зображено порівняння результатів. Резонанс структури змістився на нижче на 420 МГц до частоти 9,66 ГГц. Смуга пропускання не змінилася.

Таблиця 1 – Обраховані значення ефективної площі розсіювання

Частота	Металева пластина	Метаповерхня	Різниця
8 ГГц	2	2	0
	0	0	EMBED
9 ГГц	2	2	0
	1	1	9
10 ГГц	2	2	EMBED
	2	1	1
11 ГГц	4	0	4
	2	2	0
12 ГГц	3	3	0
	6	6	05 дБм <sup>2</sup> , 3 м <sup>2</sup>

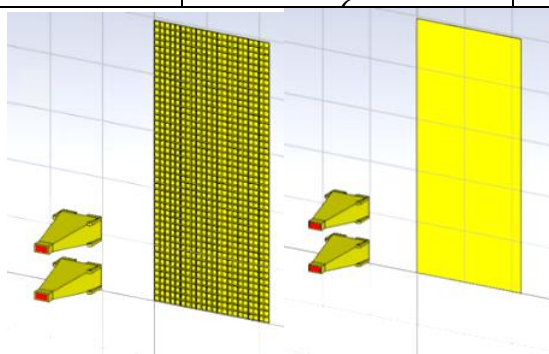


Рисунок 5 – Рупори розміщені навпроти метаповерхні та металевої пластини

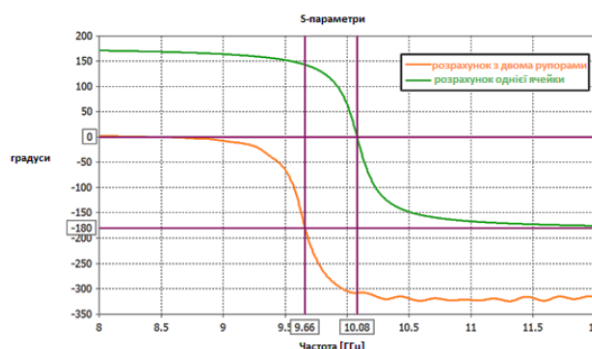


Рисунок 6 – Порівняння результатів

Другий спосіб перевірити де знаходиться резонансна частота – це порівняти ефективну площу розсіювання метаповерхні та металевої пластини того ж розміру. ЕПР метаповерхні має зменшитися на резонансній частоті через власні втрати у елементарних ячеях. Результати у таблиці 1 показують, що на крайніх частотах 8 ГГц та 12 ГГц метаповерхня та металева пластина мають однакове значення ЕПР. Найбільша різниця досягнута на частоті 10,08 ГГц, що свідчить про резонанс метаповерхні.

### Література

1. Macromodeling of Parabolic Double Negative Metamaterial Antennas [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <http://dx.doi.org/10.1515/FREQ.2008.62.3-4.67>.
2. Design of a Conductive FSS based Ultrathin Absorber Using Impedance Analysis Method of Equivalent Circuit Model [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1109/INCAP.2018.8770792>.
3. Engineering of metamaterials based cut-band to bandpass filters [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1109/MetaMaterials.2018.8534137>.
4. Small antenna over AMC surface with/out vias [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1109/EuCAP.2012.6206113>.
5. Design of Real-Time Tunable-Focus Active Metasurfaces [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1109/NEMO49486.2020.9343489>.
6. Reconfigurable meta-mirror for wavefronts control: applications to microwave antennas <https://doi.org/10.1364/OE.26.002613>.
7. A high-speed programmable and scalable terahertz holographic metasurface based on

tiled CMOS chips [Електронний ресурс] Доступно за посиланням: <https://doi.org/10.1038/s41928-020-00497-2>.

8. Design and characterization of a compact Artificial Magnetic Conductor in the UHF band [Електронний ресурс] URL: <https://doi.org/10.1109/IWAT.2017.7915319>.

## **ХВИЛЕВОДНО-ПЛАНАРНИЙ ФІЛЬТР З ПРИДУШЕННЯМ СМУГИ ПРОПУСКАННЯ ВИЩОГО ПОРЯДКУ**

*Кулаєв В. В.*

*(Науковий керівник Турєєва О. В., старший викладач)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Хвилеводно-планарні фільтри Е-площині прямокутного хвилевода, побудовані на повздовжніх індуктивних діафрагмах, є стандартними елементами трансіверів міліметрового діапазону. Вони мають невисокий рівень втрат, прості за конструкцією і характеризуються високою повторюваністю характеристик при масовому виробництві. З часом більш жорсткі вимоги до параметрів трансіверів, зокрема до рівня позасмугових випромінювань, виявили суттєві недоліки зазначених фільтрів. Вони полягають у вузькому діапазоні частот загородження між основною і першою вищою смугами пропускання фільтра та незначним загасанням в ньому. Вказані недоліки в основній конструкції зазначених фільтрів є неподоланими і зумовленими самою конструкцією фільтра: коефіцієнт відбиття від тонких діафрагм швидко падає на частотах, де ділянки хвилевода в області діафрагм перестають бути позамежевими (рис.1).

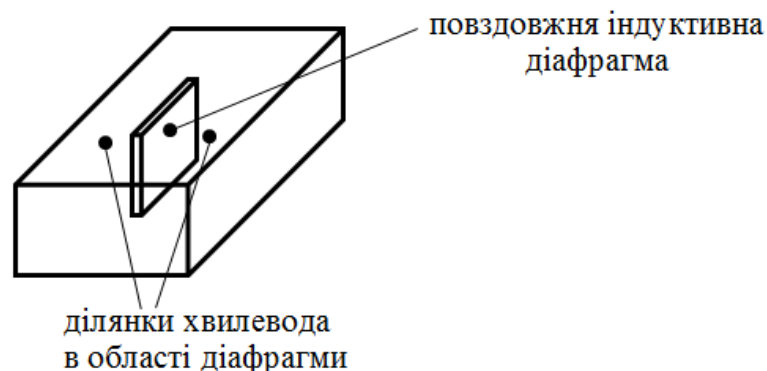


Рисунок 1 – Фільтр на повздовжніх індуктивних діафрагмах

Це, з одного боку, викликає різку втрату селективних властивостей фільтра на частотах більше граничної частоти робочого діапазону хвилеводу, а, з іншого, зумовлює погіршення вибіркової властивості фільтра в цілому.

В даній роботі запропоновано змінити конструкцію хвилеводно-планарного фільтра на повздовжніх індуктивних діафрагмах, в якій створено передумови для придушення другої смуги пропускання фільтра і, як наслідок, для покращення селективних властивостей фільтра в широкому діапазоні частот. Запропонована конструкція фільтра схематично зображена на рис. 2.



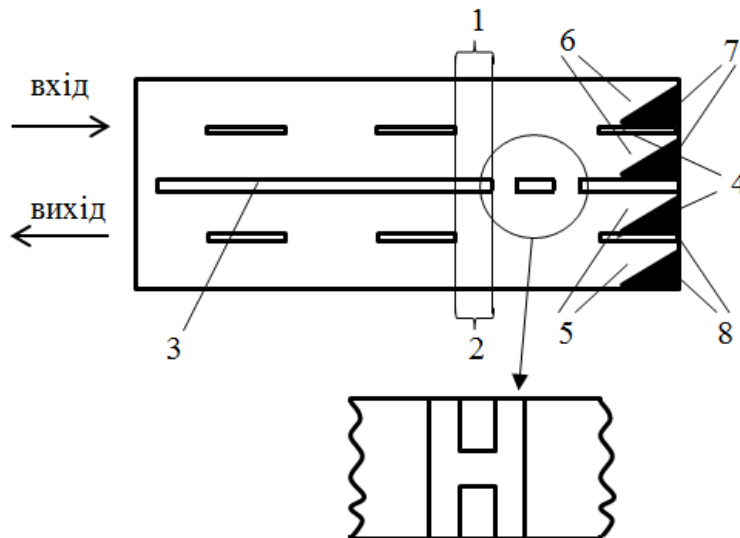


Рисунок 2 – Запропонована конструкція фільтра

Як видно, вся планарна структура фільтра розбита на дві однакові частини, так що фільтр постає у вигляді згорнутої структури [1]. Центральні резонатори фільтра 1, 2 зв'язуються отвором у спільній стінці хвильоводів Н-подібної форми, причому з дальнього по відношенню до структур фільтра кінця отвору в прямокутні хвильоводи фільтра поміщені тонкі металеві пластини 4. На деякій відстані від торця цих пластин в утворені ними хвильоводи 5, 6 поміщені поглиначі 7, 8.

Робота фільтру в області частот основної смуги пропускання не відрізняється від роботи звичайного фільтра на індуктивних діафрагмах, оскільки зазначені пластини 4 формують позамежові в цій області частот хвильоводи 5, 6. Разом з тим, на частотах, де зазначені хвильоводи «відкриваються», коефіцієнт відбиття від елемента зв'язку центральних резонаторів 1, 2 різко падає, хвилі проходять у хвильоводи 5, 6 і поглинаються в узгоджених навантаженнях 7, 8. При цьому численні розрахунки показали, що найбільш ефективно зазначений ефект проявляється при обранні елемента зв'язку центральних резонаторів у вигляді отвору Н-подібної форми; резонансна частота отвору має бути нижчою за частоту основної смуги пропускання фільтра.

На рис. 3 наведені частотні характеристики елементів зв'язку центральних резонаторів прямокутної і Н-подібної форми, коефіцієнти відбиття яких за модулем однакові на центральній частоті розробленого чотирьохрезонаторного фільтра, рівній  $f_0=21,5$  ГГц. Графіки показують переваги від використання отвору Н-подібної форми - коефіцієнт відбиття на частотах вище максимальної частоти робочого діапазону частот хвильоводу перерізом  $11 \times 5,5$  мм (26 ГГц) демонструє малу нерівномірність.



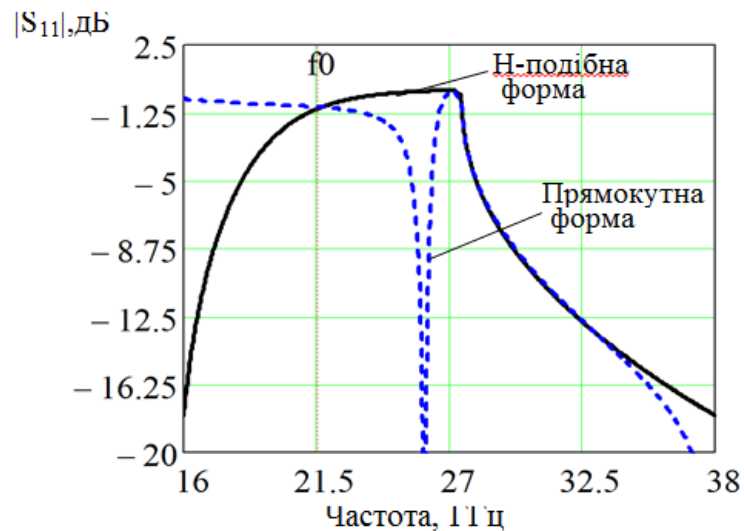


Рисунок 3 – Частотні характеристики елементів зв'язку центральних резонаторів

Частотна характеристика самого розробленого фільтра (фільтр Чебишева, пульсації 0,2 дБ, діапазон частот пропускання 21 – 23,5 ГГц) наведена на рис. 4. Як видно, розроблений фільтр має високі селективні властивості у діапазоні частот, що навіть охоплює робочий діапазон наступного за перерізом хвилевода (7,2x3,4 мм).

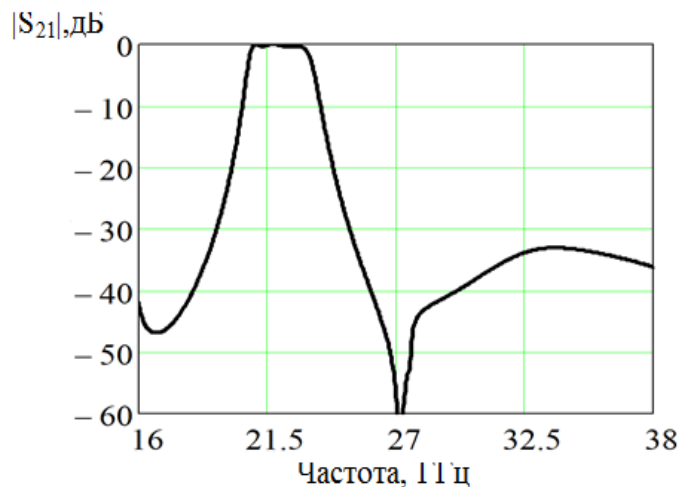


Рисунок 4 – Частотна характеристика розробленого фільтру

Таким чином, запропонована побудова фільтру забезпечує придушення вищої смуги пропускання фільтра на повздовжніх індуктивних діафрагмах, зберігаючи його простоту і технологічність.

#### Література

1. Omelianenko, M.Y., Romanenko, T.V. & Turieieva, O.V. Waveguide Planar E-plane Filter with Ultra-Wide Stopband. *Radioelectron.Commun.Syst.* 63, 650–655 (2020). <https://doi.org/10.3103/S0735272720120031>

## **ШИРОКОСМУГОВА АНТИПОДАЛЬНА АНТЕНА ВІВАЛЬДІ ДЛЯ МІКРОХВИЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ**

*Парфіло І. О.*

*(Науковий керівник Богомолов М. Ф., доцент)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», факультет біомедичної інженерії*

Розроблена мікрохвильова система візуалізації дозволяє точно виявити наявність пухлини шляхом створення зображень від зворотно-розсіяних сигналів. Оскільки інтенсивність випромінювання мікрохвильової системи візуалізації подібна до радіочастотних пристроїв (радіо, мобільний телефон, WIFI), то його використання є більш безпечним у порівнянні з рентгівською мамографією [1]. Виявлення та скринінг пухлини значно залежить від методів обробки сигналів та від типу антени, що використовується. Тому антена повинна мати: компактні розміри, постійну групову затримку, широку смугу пропускання [2].

Для виготовлення запропонованої моделі було використано матеріал FR4, що, у свою чергу, має діелектричну проникність 4,4 і тангенс кута діелектричних втрат 0,002.

До переваг матеріалу належать низька вартість та доступність. Недоліками є низький коефіцієнт підсилення та неширока смуга пропускання. Тому, щоб зменшити нижню робочу частоту і збільшити коефіцієнт підсилення було випробувано чотири типи антен з різною кількістю щілин. У ході досліджень було визначено, що найкращим варіантом є антена з трьома симетричними парами щілин (рис.1):

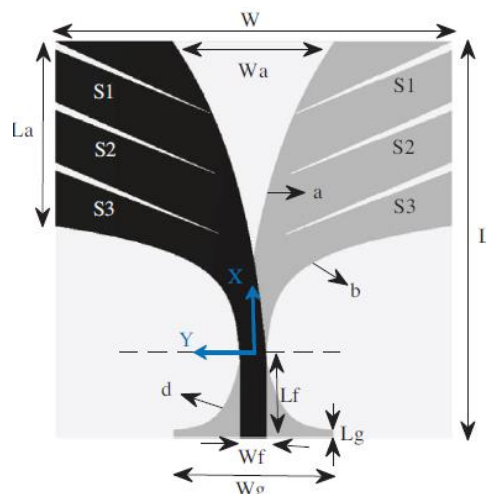


Рисунок 1 - Конструкція запропонованої антени Вівальді.

Дана антена має найвищий коефіцієнт підсилення, а її робоча смуга частот знаходиться в діапазоні від 3,05 до 12,2 Гц. Приведемо розміри антени (див.табл.1) [4]:

Таблиця 1 - Геометричні параметри запропонованої антени Вівальді.

$L$ [мм]	$W$ [мм]	$W_a$ [мм]	$W_g$ [мм]	$W_f$ [мм]	$L_a$ [мм]	$L_g$ [мм]	$L_f$ [мм]	$a$	$b$	$d$
36	36	14,8	14,6	2,4	16,8	0,6	7	0,07	0,4	0,7

Важливим параметром є групова затримка. Вона визначає величину спотворення сигналу та повинна бути постійною на всіх робочих частотах [3]. Для цього одну пару антен розташували в трьох різних паралельних позиціях. При моделюванні варіант «горизонтально» показав найкращий результат, а саме найрівнішу групову затримку (рис.2) [4]:

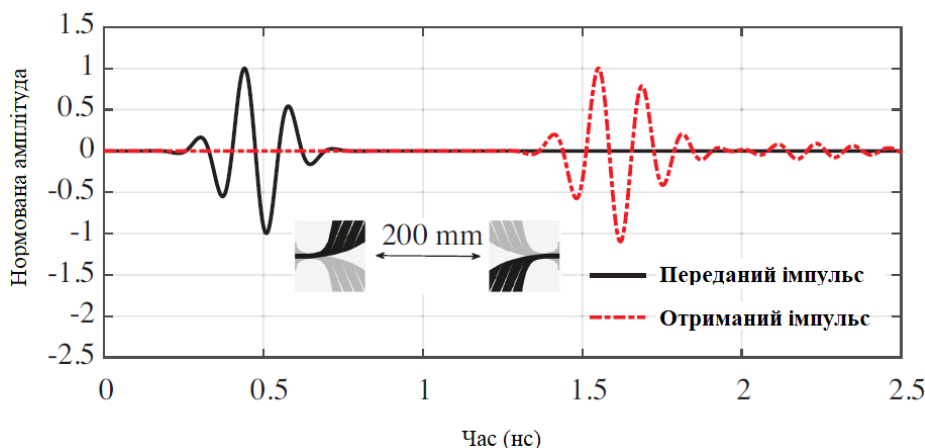


Рисунок 2 – Переданий та отриманий імпульси для антен в «горизонтальному» положенні

Таким чином, отримані параметри в ході експериментів свідчать, що запропонована широкосмугова антиподальна антена Вівальді підходить для використання в мікрохвильовій системі біомедичної візуалізації.

### Література

1. H. Zhang, "Microwave Imaging for Breast Cancer Detection: The Discrimination of Breast Lesion Morphology," in IEEE Access, vol. 8, pp. 107103-107111, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3001039. [Electronic Resource]. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/91121892>– (date of the application 18.04.2023) – Title from the screen.
2. Özmen H, Kurt MB. Investigation of the effect of bandwidth on the resolution of breast cancer tumors image in radar-based microwave technique. Dicle University Journal of Engineering 2020; 11 (1): 151-160 (in Turkish with an abstract in English).. doi: 10.24012/dumf.687422.
4. ÖZMEN, HÜSEYİN and KURT, MUHAMMED BAHADDİN (2021) "Radar-based microwave breast cancer detection system with a high-performance ultrawide band antipodal Vivaldi antenna," Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences: Vol. 29: No. 5, Article 5. [Electronic Resource]. – URL: <https://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/vol29/iss5/5/>– (date of the application 18.04.2023) – Title from the screen.
3. Hagness S, Taflove A, Bridges J. Wideband ultralow reverberation antenna for biological sensing. Electronics Letters 1997; 33 (19): 1594-1595. doi: 10.1049/el:19971106.[Electronic Resource]. – URL: [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/el\\_19971106](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/el_19971106)– (date of the application 18.04.2023) – Title from the screen.

## **ГІБРИДНО-ІНТЕГРАЛЬНИЙ СУБГАРМОНІЧНИЙ ЗМІШУВАЧ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ**

*Покоюк В. О.*

*(Науковий керівник Омеляненко М. Ю., старший викладач)*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського», Радіотехнічний факультет*

Активне просування систем зв'язку і радіолокації в міліметровий діапазон довжин хвиль зумовлює необхідність розробки гібридних і монолітних інтегральних схем (ГІС і МІС), застосування яких в конструкціях систем гарантує отримання високоякісних характеристик і зменшення вартості при виробництві. Серед різних функціональних пристроїв найбільший виклик пов'язаний з розробкою генераторів з малим рівнем фазового шуму, якісні параметри яких зі збільшенням частоти все складніше і складніше отримати. Одним з можливих виходів з ситуації, що склалося, є використання субгармонічних і гармонікових змішувачів, які дозволяють реалізувати перетворювачі частоти з гетеродином, що має у "n" разів меншу за сигнал частоту. В цих випадках, хоча при помноженні частоти діючий рівень фазового шуму і збільшується на  $20lg n$  децибел, однак він залишається значно меншим за той, що є досяжним у генераторах з основною частотою гетеродина у звичайному змішувачі.

Найбільш якісні параметри такого пристрою можна отримати у субгармонічному змішувачі на другій субгармоніці гетеродина, що використовує антипаралельну діодну пару [1]. Найбільш розповсюдженою конструкцією таких змішувачів є пристрій, що базується на основі зваженої мікросмужкової лінії (ЗМСЛ). В кращих пристроях такого типу було отримано втрати перетворення порядку 4,5 дБ на частоті 60 ГГц. Проблеми, що виникають при розробці змішувачів такого різновиду, пов'язані з розробкою фільтрів і монтажу діодів у ЗМСЛ.

Метою даної роботи була розробка альтернативної топології ГІС субгармонічного змішувача, яка б дозволила уникнути зазначених недоліків. Розроблена топологія ГІС показана на рис.1. Видно, що електродинамічною основою змішувача є хвилеводно-щілинна лінія (ХЩЛ), яка дуже зручна для монтажу бескорпусних діодів. Схема містить дворезонаторний смуговий фільтр 1 на повздовжніх індуктивних діафрагмах, секцію однорідної симетричної ХЩЛ 2, перехід 3 на антиподальну ХЩЛ, секцію 4 антиподальної ХЩЛ, смуго-загороджуючий фільтр 5 на частоту сигналу і плавний перехід 6 на вхід гетеродина. Крім того, ГІС містить ФНЧ 8, першими елементами якого є радіальні шлейфи 7, що забезпечують ефективне включення пари діодів 9 у ХЩЛ.

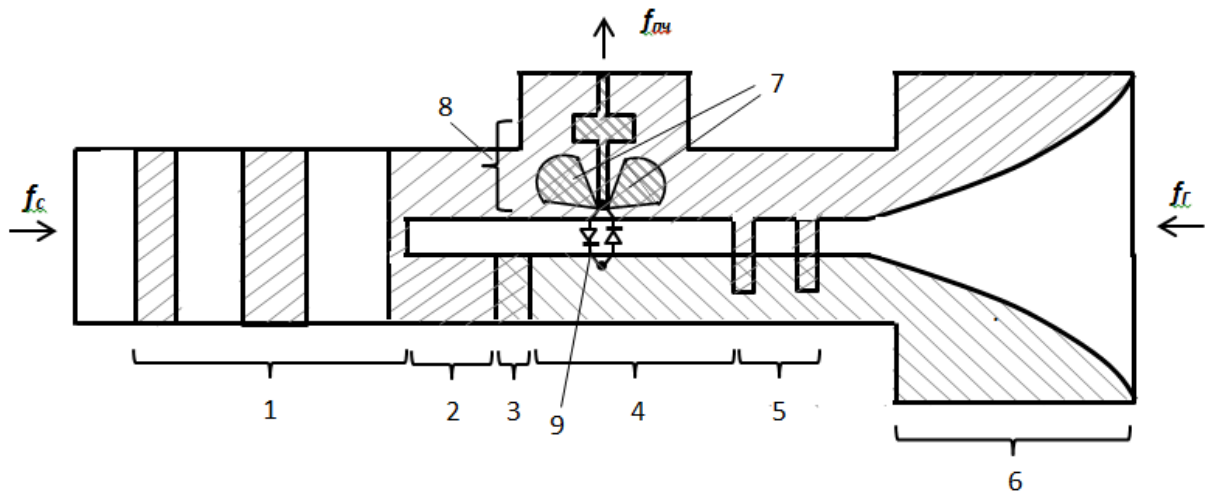


Рисунок 1 – Розроблена топологія ГІС субгармонійного змішувача

Всі елементи схеми були розраховані за допомогою відповідних програм, що описують розроблені їх моделі у термінах теорії довгих ліній, і в подальшому уточнювалися у пакеті програм електродинамічного аналізу. На рис. 2 подані результати вимірювання КСХ зі входів змішувача (2а), і графік залежності втрат перетворення від частоти (2б).

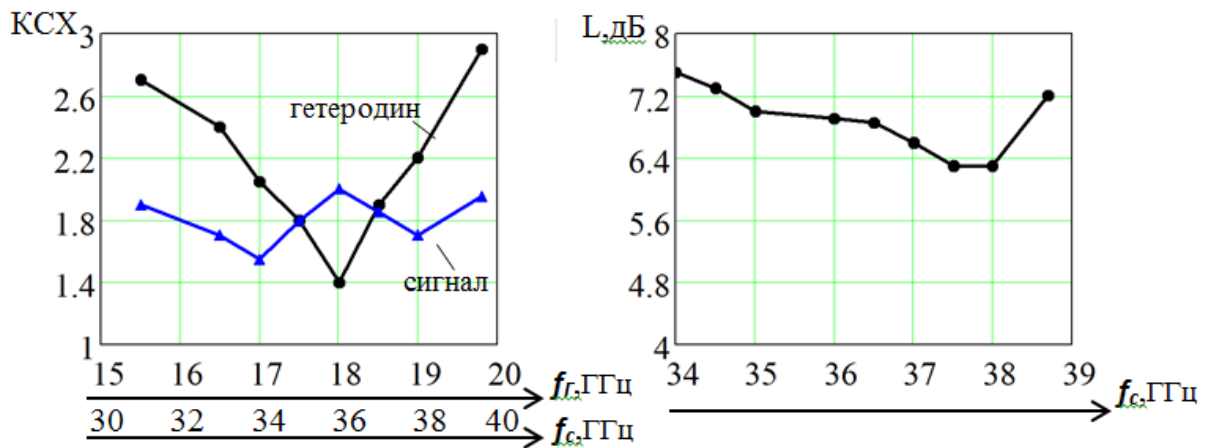


Рисунок 2 – Експериментальні характеристики імітатора

Наведені дані підтверджують ефективність запропонованої конструкції, адекватність побудованих моделей і методів їх розрахунку.

#### Література

1. S. Kumari and P. Mondal, "Design of a subharmonic mixer for millimeter-wave applications," 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS - FALL), Singapore, 2017, pp. 2727-2731, doi: 10.1109/PIERS-FALL.2017.8293600.

---

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК АВТОРІВ

Nikitchuk A. V.	58, 100	Мартинов Д. П.	73
Yevdokimov D. O.	32	Мирончук О. Ю.	14, 60
Zinher Y. L.	11, 32, 95	Неуймін О. С.	26, 98
Аврамишин А. І.	8	Омеляненко М. Ю.	109, 119
Адаменко В. О.	23	Парфило І. О.	117
Асонов Д. Д.	92	Піддубний В. О.	35, 79
Бичков О. Д.	95	Покоюк В. О.	119
Богомоллов М. Ф.	88, 117	Прокопов Р. О.	60
Броварник С. А.	11	Родько М. А.	102
Бруско А. В.	14	Рознатовський В. Б.	62
Василенко Д. О.	111	Самохатній Д. О.	65
Васильєв В. М.	47	Соколов К. А.	67
Вишневий С. В.	38	Степанов М. М.	52
Гавриш К. О.	106	Товкач І. О.	16, 29, 70, 76
Гайдай А. В.	16, 29, 70	Токарчук Є. В.	88
Галкін Т. А.	19	Турєєва О. В.	106, 114
Гелетко О. Я.	23	Ходаніцький О. О.	29, 70
Гладовський М. В.	26	Царенок О. О.	73
Головня В. М.	92, 102	Чаленко М. А.	88
Голодяєва П. В.	29, 70	Чмельов В. О.	44, 56
Гончарук К. Г.	98	Чмир Р. В.	29, 70, 76
Дружинін В. А.	52	Чорний В. В.	79
Желябовський А. Ю.	35	Шпилька О. О.	41, 65
Жердєв М. В.	109		
Жирова А. І.	83		
Жук С. Я.	50, 67, 73		
Задорожний Г. С.	111		
Запорожець Д. А.	38		
Захарченко М. М.	41		
Іванченко Ю. В.	44		
Картушин О. Ю.	47		
Катін П. Ю.	19, 62		
Кот М. Г.	50		
Кравчук Я. О.	67		
Кулаєв В. В.	114		
Лавріненко В. С.	52		
Лащевська Н. О.	8, 83, 85		
Левченко І. С.	85		
Лєвікін В. Г.	52		
Манчак К. В.	56		



---

## ПРИМІТКИ

---

## ПРИМІТКИ

---

Підп. до друку \_\_\_\_\_ р. Формат 60x84 1/16. Комп'ютерна верстка В. М. Головня.  
Папір офс. Computer Modern  
Спосіб друку — ризографічний. Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Обл.-вид. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_ пр.  
Зам. № \_\_\_\_\_

---

Національний технічний університет України  
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського.,  
Видавництво Політехніка.  
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.  
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15  
тел. (044) 204-81-78.