

ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ОРТОГОНАЛЬНО- ПОЛЯРИЗОВАНИХ ШУМОПОДІБНИХ РАДІОСИГНАЛІВ ТА ТЕХНОЛОГІЇ SDR

Білик О.С., Мартинчук О.О.

Кафедра інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна.

E-mail: oleksandr.bilyk@nure.ua,
oleksandr.martynchuk@nure.ua

Abstract

The integration of dual-polarization radiolocation technology in UAVs represents a significant leap forward in the capabilities of these unmanned systems. With the potential to improve object detection, reduce interference, and provide valuable data across various applications, dual-polarization radiolocation enhances the UAV's ability to contribute to fields such as agriculture, environmental monitoring, disaster response, infrastructure inspection, and search and rescue. As researchers and engineers continue to refine this technology, we can anticipate a future where UAVs equipped with dual-polarization radiolocation will play an increasingly vital role in addressing critical challenges and advancing our understanding of the world.

У сучасному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули великого поширення в різноманітних сферах, від комерційного використання до військових застосувань. Особливо помітна роль БПЛА в ході агресії рф проти України. Універсальність і здатність до виконання складних завдань поширюють їх використання як силами оборони України, так і в першу чергу ворогом. Це створює нові виклики для систем національної безпеки та оборони, особливо у контексті виявлення та придушення малопомітних БПЛА, які можуть бути використані для розвідувальних та ударних цілей.

Історично, методи виявлення БПЛА базувалися на радіолокаційних та оптичних технологіях, однак зменшення розмірів та вдосконалення стелс-технологій БПЛА роблять ці методи менш ефективними. Це вимагає нових інноваційних рішень, спрямованих на вдосконалення систем виявлення та придушення.

Метою даної статті є дослідження та аналіз застосування ортогонально-поляризованих шумоподібних радіосигналів як інноваційного рішення для виявлення та придушення малопомітних БПЛА.

Даний підхід може бути ефективнішим за використання звичайних сигналів з одиночною поляризацією через здатність працювати в складних умовах або забезпечення більш точного виявлення цілей. В даній статті розглядатимуться теоретичні основи, методіку, буде запропоновано математичну модель та експериментальний макет для перевірки даних.

Ортогональна поляризація використовує дві перпендикулярно орієнтовані хвилі, які можуть взаємодіяти з об'єктом (БПЛА) по-різному. Це забезпечує додаткову інформацію про ціль, що може бути використано для її більш точного виявлення та ідентифікації.

У контексті виявлення БПЛА, ортогональна поляризація дозволяє покращити видимість цілей, які можуть бути недостатньо виявлені при використанні хвиль однієї поляризації. Це особливо важливо для малопомітних БПЛА, які часто розробляються таким чином, щоб мінімізувати відбивання радіосигналів.

Основні переваги використання ортогональної поляризації у виявленні БПЛА включають покращену роздільну здатність та можливість детектування об'єктів з низьким рівнем радіолокаційного відбиття. Однак, цей метод також має виклики, зокрема, пов'язані зі складністю системи, потребою у високоякісних компонентах та алгоритмах обробки сигналів.

Використання ортогональної поляризації вимагає спеціально розроблених антен та радіосистем, здатних одночасно передавати та приймати хвилі різної поляризації. Також важливою є обробка отриманих сигналів, щоб правильно інтерпретувати інформацію, отриману з обох поляризацій.

Ортогонально поляризовані радіохвилі можуть бути використані для покращення детектування об'єктів з низькою радіолокаційною видимістю, таких як деякі БПЛА. Різні поляризації можуть реагувати на об'єкт по-різному залежно від його форми, орієнтації та матеріалу. Таким чином, ортогональна поляризація дозволяє:

- покращення видимості цілей: використання двох ортогонально поляризованих хвиль збільшує шанси на виявлення об'єктів, які можуть бути невидимими для хвиль однієї поляризації.
- розрізнення об'єктів: допомагає розрізнити БПЛА від інших об'єктів або природних перешкод на основі їх поляризаційної відповіді.

Сучасні радіолокаційні системи, що використовують ортогонально поляризовані хвилі, забезпечують значні переваги у виявленні БПЛА:

- зменшення помилкових сигналів: ортогональна поляризація може допомогти у відфільтруванні помилкових сигналів від навколишніх об'єктів, забезпечуючи чистішу картину цілей;
- адаптивність до різних сценаріїв: різні сценарії використання можуть вимагати специфічних налаштувань поляризації для оптимального виявлення БПЛА в різних умовах.

Попри значні переваги, використання ортогональної поляризації для виявлення БПЛА також стикається з деякими викликами:

1) технологічні обмеження. Розробка і втілення радіолокаційних систем, здатних ефективно маніпулювати ортогонально поляризованими хвилями, вимагає високотехнологічних компонентів та розуміння складних фізичних процесів.

2) оптимізація алгоритмів обробки сигналів. Потрібна подальша розробка алгоритмів для аналізу та інтерпретації отриманих даних з ортогонально поляризованих хвиль.

Подальше дослідження у цій сфері може включати розробку більш ефективних антенних конструкцій, покращення алгоритмів обробки сигналів з використанням складних інформаційних систем та штучного інтелекту для забезпечення кращого виявлення та ідентифікації цілей, а також інтеграцію ортогональної поляризації з іншими методами виявлення, щоб створити більш комплексні та надійні системи виявлення БПЛА.

Загалом, використання ортогональної поляризації у радіолокаційних системах для виявлення БПЛА відкриває нові можливості та становить важливий напрямок у вирішенні сучасних викликів безпеки.

Радіолокаційні системи є одними з найбільш традиційних і широко використовуваних методів для виявлення БПЛА. Вони працюють за принципом випромінювання радіохвиль та аналізу відбитих сигналів від об'єктів:

1. Активні радары: використовують власний передавач для генерації радіохвиль. Відбиті хвилі від цілі аналізуються для визначення положення, швидкості та інших характеристик об'єкту.

Переваги: висока точність, здатність виявляти цілі на великі дистанції, незалежність від освітлення та погодних умов.

Обмеження: висока вартість, велике енергоспоживання, можливість виявлення радару противником через активне випромінювання.

2. Пасивний радар: використовує сигнали, які вже існують у навколишньому середовищі (наприклад, від каналів зв'язку - управління, або передачі даних), замість того, щоб випромінювати власні.

Робочий принцип: розповсюдження існуючих сигналів від об'єкта аналізуються для виявлення його присутності та руху.

Переваги: низька вартість, невидимість для ворожих систем виявлення, енергоефективність.

Обмеження: менша точність порівняно з активним радаром, залежність від наявності зовнішніх сигналів (у випадку з виявленням дистанційно керованого БПЛА це обмеження нівелюється).

Теплове виявлення базується на використанні інфрачервоних камер, тепловізорів для ідентифікації об'єктів за рахунок їх теплового випромінювання. Принцип роботи: інфрачервоні камери, тепловізори виявляють теплове випромінювання від БПЛА, що дозволяє візуалізувати їх навіть у повній темряві. Переваги: ефективність у нічний час, здатність виявляти об'єкти, які не відбивають радіохвилі. Обмеження: обмежена дальність виявлення, чутливість до погодних умов (наприклад, дощу або туману), висока вартість деяких інфрачервоних систем.

Для оптимального виявлення БПЛА рекомендується комбінувати кілька методів. Наприклад, активний радар може використовуватися для виявлення цілей на великій відстані, тоді як пасивний радар та інфрачервоне виявлення можуть слугувати для більш точної ідентифікації та відстеження в певних сценаріях.

Розглянемо метод виявлення малопомітних цілей типу БПЛА, використовуючи технологію Software-Defined Radio (SDR), направлені антени, одноплатний міні-комп'ютер Raspberry Pi. Для цифрової обробки сигналів буде використовуватись програмне забезпечення, встановлене безпосередньо на Raspberry Pi або/та прийняті дані сигналів будуть передаватись далі до КП або в хмару (AWS). Наведемо детальний опис кожної з цих технологій.

SDR є високогнучкою технологією, яка дозволяє програмно налаштовувати та керувати радіопередавачами і приймачами. Основні властивості:

- гнучкість та адаптивність: SDR може бути швидко адаптований для різних частотних діапазонів та модуляційних схем, що є важливим для виявлення БПЛА, які можуть використовувати різноманітні способи зв'язку.

- цифрова обробка сигналів: завдяки високому рівню інтеграції з алгоритмами цифрової обробки сигналів, SDR може ефективно фільтрувати та аналізувати отриману інформацію.

Таким чином SDR може бути налаштований для різних частот, що дозволяє виявляти сигнали від БПЛА або навіть перехоплювати та аналізувати їхні комунікаційні канали. Також SDR може бути використаний разом з направленими антенами та алгоритмами цифрової обробки сигналів для покращення точності та ефективності виявлення.

Направлені антени дозволяють фокусувати радіосигнал у певному напрямку, що збільшує ефективність прийому сигналів з конкретних ділянок. Забезпечують збільшення дальності виявлення та зменшення інтерференції від інших джерел. Використання направлених антен разом з SDR може значно підвищити спроможність системи виявляти слабкі або приховані сигнали від БПЛА.

Основні властивості:

- покращення дальності та точності: завдяки вищій директивності, направлені антени можуть бути використані для виявлення БПЛА на більшій відстані з меншими втратами сигналу. В поєднанні з використанням ортогональних шумоподібних сигналів точність та дальність виявлення будуть покращені ще більше.

- мінімізація помилкових сигналів: вузький кут випромінювання допомагає знизити рівень фонових шумів та помилкових сигналів.

- враховуючи направленість антен у бік фронту - мінімізується вплив на сигнали власних БПЛА та радіопристроїв.

Raspberry Pi може бути використаний як компактна та вартісно-ефективна платформа для управління SDR, обробки сигналів та збору даних. Основні властивості:

- як компактний і доступний мікрокомп'ютер, Raspberry Pi може слугувати як контрольний центр або проміжний елемент для системи виявлення БПЛА.

- обробка сигналів: з його допомогою можлива реалізація алгоритмів цифрової обробки сигналів для аналізу даних, отриманих з радіочастотних датчиків.

- враховуючи наявність мережевих інтерфейсів - існує можливість з'єднання з контрольно-спостережним та командними пунктами, завантаження даних у хмару для більш швидкого і надійного збереження і обробки даних, з подальшим тренуванням моделей штучного інтелекту або агрегації аналітичних даних.
- портативність та гнучкість: його малі розміри та програмованість роблять Raspberry Pi ідеальним для мобільних або тимчасових установок виявлення БПЛА.
- може обробляти дані від SDR та направлених антен, виконуючи алгоритми розпізнавання та класифікації сигналів.

Цифрова обробка сигналів є ключовою для аналізу та інтерпретації даних, отриманих за допомогою SDR. Використовується для фільтрації шумів, виявлення характерних ознак сигналів від БПЛА та їх класифікації.

Потужні алгоритми можуть бути розроблені та запущені на цих платформах для реалізації складних завдань виявлення.

Комбінування цих технологій може створити високоефективну, адаптивну та вартісно-ефективну систему для виявлення малопомітних БПЛА, здатну працювати в різних умовах і сценаріях. Далі наведено схему взаємодії елементів запропонованої системи виявлення БПЛА.

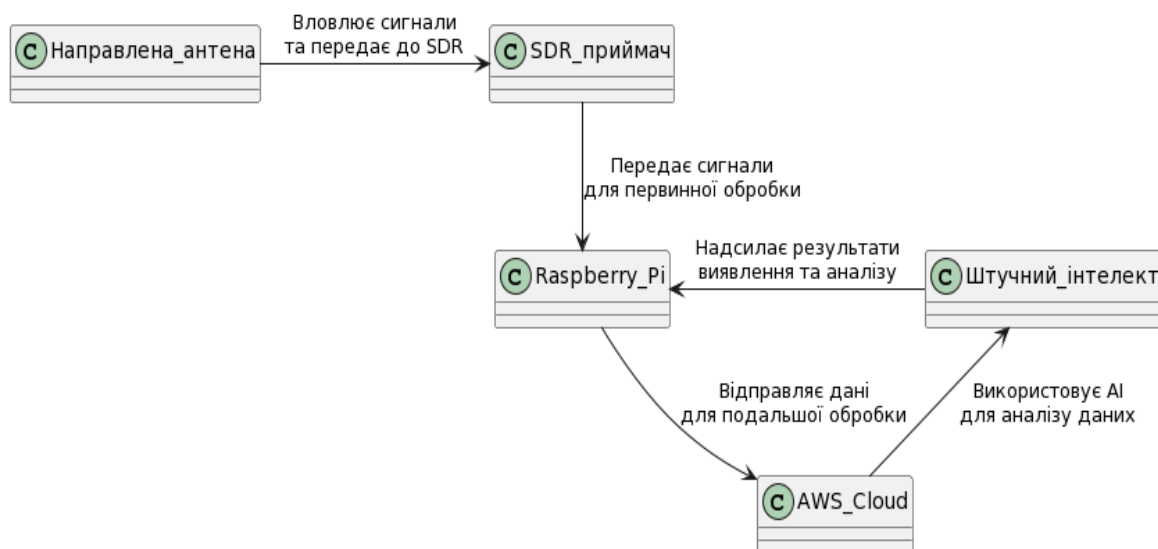


Рис. 1. Схема поєднання технічних засобів для виявлення БПЛА

На цій схемі:

- направлена антена вловлює сигнали і передає їх до SDR приймача.
- SDR приймач передає сигнали до Raspberry Pi через USB для первинної обробки.
- Raspberry Pi відправляє оброблені дані до AWS Cloud для подальшої обробки.
- AWS Cloud використовує сервіси штучного інтелекту для аналізу даних і виявлення сигнатур БПЛА.

- сервіси AWS Cloud надсилають результати виявлення та аналізу назад до Raspberry Pi, з якого вже відбувається подальше формування та генерація шумоподібних сигналів.

Використання направлених антен з різною поляризацією та SDR з можливістю генерувати шумоподібні сигнали, дозволяє значно підвищити спроможність системи виявляти приховані сигнали від БПЛА та подавляти їх.

В рамках дослідження було створено програму математичного моделювання в MATLAB для виявлення малопомітних цілей типу БПЛА та придушення каналів керування за допомогою ортогонально-поляризованих шумоподібних радіосигналів. Така програма повинна включати моделювання радіосигналів, їх передачу, взаємодію з ціллю (БПЛА) та аналіз відбитих сигналів.

Однак, детальне моделювання цього процесу може бути дуже складним і виходити за межі оглядової статті.

Література

1. MARTYNCHUK O.O, KOLESNIKOV O.M., AJADI AYODELE TEGA, IKEZA OBASI ANYASO DESTINY, M'TUMBE ABI TRESOR, OLEKSANDR BILYK. Performance evaluation of MIMO channel with dual-polarization antennas/ O.O. Martynchuk, O.M. Kolesnikov, Ajadi Ayodele Tega, Ikeza Obasi Anyaso Destiny, M'TUMBE ABI Tresor, O.C. Bilyk // Матеріали восьмої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку (EMC-2022)». Харків, ХНУРЕ, 2022, с. 94-104.
2. Мартинчук О.О., Ряполов І.Є., Волювач С.А. Спосіб зниження максимальної похибки вимірювання елементів поляризаційної матриці розсіювання цілі. // "Системи озброєння і військова техніка". Наук. Пр. ХУ ПС. Вип. 4(8). - Харків 2006.
3. *Martynchuk A.* Research the efficiency and feasibility of circular polarization in the tropospheric radio link / Valery Loshakov, Alexander Martynchuk, Alex Nazmutdinov, Alex Skorohod, Abdenour Drif // 2016 Third International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology". PIC S&T 2016. – Харьков: ХНУРЭ, 2016, с. 99-102
4. Білик О.С., ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ SDR В МЕТОДАХ ПАСИВНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ ТА РАДІОРОЗВІДКИ // 27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. Матеріалів форуму. Т.4. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – С. 37-38.