

УДК 621.391:621.396.969

МЕТОДИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Степась Д.А.

e-mail: dmytro.stepas@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП
м. Харків, Україна

This study explores signal-processing methods for identifying and classifying airborne objects in noisy environments. The research focuses on the application of Kalman filters to minimize prediction errors and the use of Fourier transform-based spectral analysis to detect characteristic frequencies of various objects. Classification approaches leveraging noise characteristics and machine learning techniques are proposed to improve recognition accuracy. Additionally, the study emphasizes the importance of adapting signal processing algorithms to dynamic interference conditions to enhance classification reliability.

Метою роботи є дослідження методів обробки сигналів для ідентифікації та класифікації повітряних об'єктів в умовах перешкод. Основна увага приділяється використанню фільтрів Калмана для зменшення похибок прогнозування, спектральному аналізу сигналів на основі перетворення Фур'є для виділення характерних частот, а також застосуванню методів машинного навчання для підвищення точності класифікації повітряних об'єктів.

Ідентифікація та класифікація повітряних об'єктів є важливим аспектом в багатьох сферах, таких як оборона, цивільне авіаційне спостереження та моніторинг навколишнього середовища. Ефективна система для розпізнавання об'єктів у повітрі забезпечує точність виявлення та класифікації навіть у складних умовах, коли навколишнє середовище може бути засмічене шумами та перешкодами. Одним із основних інструментів для вирішення цієї задачі є обробка сигналів, яка дозволяє аналізувати не тільки самі сигнали, але й шумові характеристики, що можуть бути використані для покращення точності розпізнавання.

Ефективна ідентифікація повітряних об'єктів вимагає виділення сигналу серед шумів. Через низьку потужність і перешкоди застосовуються методи обробки, зокрема фільтрація. Фільтри Калмана допомагають поєднувати сенсорні дані та зменшувати помилки у визначенні положення об'єкта [5].

Фільтр Калмана працює за принципом комбінування різних вимірювань, що надходять від сенсорів (радарів, інфрачервоних, оптичних), та прогнозування положення об'єкта на основі попередніх даних. Коли нові вимірювання отримуються, фільтр коригує попередній прогноз, зменшуючи помилки вимірювань і покращуючи точність [4].

Цей підхід дозволяє не тільки уточнити положення об'єкта, але й адаптувати систему до змінних умов, таких як маневри об'єкта або зміни його швидкості, що робить фільтри Калмана незамінними в радіолокаційних системах для точного визначення місцезнаходження і типу об'єктів, таких як літаки, вертольоти або дрони.

Одним із поширених методів є *спектральний аналіз сигналів*, який допомагає виявити характерні частоти об'єкта. За допомогою перетворення Фур'є можна аналізувати частотні компоненти сигналу і таким чином визначити наявність конкретного об'єкта, наприклад, літака або вертольота. Ідентифікація базується на порівнянні отриманих спектральних характеристик з відомими моделями для різних типів об'єктів [2].

У таблиці 1 проілюстровано різні типи шумових характеристик, що можуть бути використані для класифікації повітряних об'єктів. Шумові характеристики виявляються під час аналізу сигналів і допомагають у визначенні типу об'єкта на основі його радіолокаційних відбиттів.

Таблиця 1 - Типи шумових характеристик для класифікації повітряних об'єктів

Тип шуму	Характеристики	Можливі об'єкти
Білий шум	Рівномірний спектр, високочастотний	Літаки, вертольоти, безпілотники
Синусоїдальний шум	Однотонний частотний компонент	Літаки з чітким сигналом радіолокації
Псевдошум (шум від пульсацій)	Перешкоди на основі невизначених коливань	Об'єкти з меншими розмірами (дрони)
Шум з випадковими фазами	Висока нерівномірність по частотах	Великі комерційні літаки, які виробляють слабші сигнали

Джерело: створено за [1]

Спектральний аналіз, який дозволяє виділити основні частоти сигналу для подальшої ідентифікації та класифікації об'єктів. Для цього використовується перетворення Фур'є:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad [5] \quad \text{де:}$$

$X(f)$ - спектр сигналу; $x(t)$ - часовий сигнал; f - частота; j - уявна одиниця.

Ця формула дозволяє отримати спектральні характеристики сигналу, на основі яких можна виявляти особливості шуму та ідентифікувати різні типи повітряних об'єктів.

Шумові характеристики можуть також бути використані для класифікації об'єктів. Одним із підходів є аналіз статистичних властивостей шуму, таких як його спектр, варіація або кореляція. Для класифікації повітряних об'єктів можна використовувати методи машинного навчання,

які на основі попередньо зібраних даних можуть навчитися розпізнавати різні типи шумових характеристик і відповідні їм об'єкти.

Нейронні мережі в обробці сигналів автоматично вивчають складні патерни, недоступні для простих математичних моделей. Вони ефективні для класифікації об'єктів за шумовими характеристиками, особливо при великих обсягах даних або неефективності традиційних методів [3].

Класифікацію також здійснюють через аналіз імпульсних відгуків, оскільки відбиття радіосигналу залежить від форми, розміру та матеріалу об'єкта. Алгоритми, як-от SVM, підвищують точність, працюючи з високорозмірними векторами ознак шумових характеристик [4].

Головною проблемою в обробці сигналів для ідентифікації повітряних об'єктів є шуми, що ускладнюють розпізнавання. Вдосконалення фільтрації та машинного навчання підвищує точність класифікації, особливо за змінних перешкод, як-от погода чи глушіння.

Висновки. Досліджено методи обробки сигналів для ідентифікації повітряних об'єктів в умовах перешкод. Фільтри Калмана підвищують точність визначення положення, спектральний аналіз виділяє характерні частоти, а машинне навчання покращує класифікацію. Поєднання цих методів підвищує ефективність радіолокаційних і моніторингових систем.

Список використаних джерел:

1. Ушенко Ю. О., Гавриляк М. С., Талах М. В., Дворжак В. В. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с.

2. Васюта К. С., Тесленко О. В., Купрій В. М., Малишев О. А. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору : конспект лекцій. Харків : ХУПС, 2013. 212 с.

3. Попов А. О. Теорія сигналів : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 268 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/33e5168f-721f-49e4-b109-3e42bd7b0a64/content> (дата звернення: 01.03.2025).

4. Tai F. Automotive Radar Systems: Architecture, Signal Processing, and Future Perspectives / Vehicle Technology and Automotive Engineering. February 2025. P. 1–17.

URL:https://www.researchgate.net/publication/388780947_Automotive_Radar_Systems_Architecture_Signal_Processing_and_Future_Perspectives (дата звернення: 01.03.2025).

5. Uwigize P., Rao S. K., Divya G. N. Application of Kalman filter for radar target tracking / Journal of Physics: Conference Series. April 2023. P. 1–10. URL: https://www.researchgate.net/publication/374494057_Application_of_kalman_filter_for_radar_target_tracking (дата звернення: 01.03.2025).