

УДК 004.8

Яценко А.К.¹, Пархоменко А.В.², Туленков А.В.¹, Пархоменко І.А.¹

¹ студ. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ ОБРОБКИ АКУСТИЧНИХ ДАНИХ

Акустичне виявлення, класифікація та локалізація джерела звуку є важливими завданнями систем безпеки як для цивільного так і для військового застосування. Зокрема, виявлення безпілотних літальних апаратів за допомогою обробки акустичної інформації передбачає пасивне виявлення цілі за допомогою мікрофонів, що вимагає комплексного підходу до виявлення сигналу, зменшення шуму, класифікації, локалізації і зв'язку.

Як відомо, існуючі методи класифікації джерел звуку можна поділити на традиційні та сучасні [1]. Як показали проведені дослідження, автори на сьогодні пропонують використовувати як традиційні [2-3] так і сучасні [4-6] підходи до класифікації.

Серед традиційних методів можна виділити перехресну кореляційну функцію [2], триангуляцію та мультилатерацію [1]. Перехресна кореляційна функція є простою в реалізації, але вимагає значних ресурсів для довгих сигналів. Вона менш ефективна при часових зсувах або варіаціях і нехтує частотними характеристиками. Триангуляція має низьку вартість, але вимагає точного розміщення мікрофона. Мультилатерація є більш точною, але вимагає синхронізації датчиків і великих обчислювальних витрат.

Згорткові нейронні мережі, машини опорних векторів та випадковий ліс це три найпоширеніші алгоритми машинного навчання серед сучасних методів. Згорткові нейронні мережі відомі своєю високою точністю і здатністю навчатися на складних даних, але вони вимагають великих наборів даних для навчання і мають високі обчислювальні витрати під час навчання. Машини опорних векторів мають високу точність на невеликих наборах

даних, ефективні в складних завданнях класифікації, але вимагають ретельного підбору параметрів і функцій ядра. Випадковий ліс стійкіший до перенавчання і може працювати з великими наборами даних, але потребує більших обчислювальних витрат під час роботи з великими ансамблями, а також коригування глибини дерева і кількості дерев у лісі.

Аналіз показав, що існує ціла низка бібліотек для аналізу звуку, призначених для різних середовищ програмування та застосунків [7]. Python `pyAudioAnalysis`, `LibROSA` та `Yaafe` забезпечують видобування, класифікацію та аналіз аудіо в реальному часі. `Essentia` та `CLAM` на C++ пропонують комплексну обробку аудіо та машинне навчання. `aubio` на C призначений для аналізу живого виконання. Бібліотека `Matlab Audio Analysis Library` надає інструменти для вилучення та візуалізації звукових характеристик. `Seewave` пакет R, використовується в біоакустиці та екологічних дослідженнях. `Bob` бібліотека C++/Python, підтримує обробку сигналів, машинне навчання та відтворювані дослідження. Кожна бібліотека має свої сильні сторони, задовольняючи різні потреби в аналізі акустичних даних.

Для задачі акустичного розпізнавання БПЛА може бути рекомендовано використання бібліотеки `LibROSA`, оскільки вона забезпечує високу точність видобування аудіо ознак і є зручною для інтеграції з іншими інструментами машинного навчання. Додатково, `Essentia` може бути корисною для більш детального аналізу та експериментів з різними моделями класифікації завдяки своїй широкій функціональності та підтримці C++.

Отже, задача акустичного розпізнавання, локалізації та класифікації БПЛА є актуальною та потребує розв'язку на основі передових методів обробки сигналів та розпізнавання звуків, а також стратегічного розміщення датчиків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jekateryńczuk, G. A Survey of Sound Source Localization and Detection Methods and Their Applications / G. Jekateryńczuk, Z. Piotrowski // *Sensors*. – 2024. – Vol. 24. P.1-25.
2. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles / [V. Kartashov, V. Oleynikov, I. Korytsev et al.] // *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering: 2020 IEEE 15th International Conference, Lviv-Slavske, Ukraine, 25-29 February 2020: proceedings*. – Los Alamitos: IEEE, 2020. P. 1-4.
3. Sharma, G. Trends in audio signal feature extraction methods /G. Sharma, K. Umapathy, S. Krishnan// *Appl. Acoust.* – 2020. Vol. 158. 107020.
4. Unmanned Aerial Vehicles Detection Using Acoustics and Quantum Signal Processing / [K.Patel, L.Ramirez, D.Canales et al.] / *AIAA Science and*

Technology Forum and Exposition, Orlando, Florida, USA, 8-12 January 2024: proceedings. – 2024. – P. 1-18.

5. Development of an Acoustic System for UAV Detection/ [C. Dimitresku, M.Minea, I. M. Costea et al.] / Sensors. – 2020. Vol. 20(17). – P. 1-27.

6. DronePrint: Acoustic Signatures for Open-set Drone Detection and Identification with Online Data / [H. Kolamunna, T. Dahanayaka, J. Li et al.] //Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. 2021. – Vol. 5(1). – P. 1–31.

7. Evaluation of Classical Machine Learning Techniques towards Urban Sound Recognition on Embedded Systems / [B. da Silva, A. W. Happi, A. Braeken et al.] / Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9(18). – P. 1-27.