

УДК 004.457

Колесник С.Є.¹, Ковальов С.О.²

¹ канд. техн .наук, доц., Донецький Національний Технічний Університет

² асп., Донецький Національний Технічний Університет

ІНТЕГРАЦІЯ СЕНСОРІВ ТА АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АУДІОДЕТЕКЦІЇ БПЛА

Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) є викликом для забезпечення безпеки, оскільки можуть використовуватися для незаконного проникнення на території чи навіть для перевезення небезпечних матеріалів. У зв'язку з цим, надійні системи виявлення БПЛА мають вирішальне значення для своєчасного реагування на потенційні загрози. Одним із перспективних підходів до їх виявлення є використання аудіодетекції, яка застосовує звукові характеристики, що видаються апаратом під час польоту, для його ідентифікації [1]. Метою дослідження є розробка методу аудіовиявлення БПЛА на основі інтеграції сенсорів і алгоритмів машинного навчання, зокрема сверточних нейронних мереж (CNN).

Огляд існуючих підходів

- акустичні системи виявлення БПЛА: Існуючі методи включають радарне, візуальне та акустичне виявлення. Акустичний підхід має переваги у варіативних умовах середовища та є економічно вигідним [2];

- роль машинного навчання у аудіодетекції: CNN стали широко використовуватися для обробки аудіосигналів, оскільки забезпечують високу точність класифікації та ефективне виділення ознак із сигналів [3].

Методологія

- інтеграція сенсорів для аудіозахоплення: Використання високочутливих сенсорів є ключовим фактором для забезпечення якості аудіосигналу, необхідного для надійної ідентифікації БПЛА. Сенсори налаштовуються таким чином, щоб вловлювати специфічні акустичні сигнали від двигунів і пропелерів БПЛА. Інтеграція декількох сенсорів дозволяє створити систему, яка виявляє джерело звуку та оцінює його локалізацію, що сприяє підвищенню точності моделі [4];

- обробка звукових сигналів та екстракція ознак: Для успішної ідентифікації БПЛА аудіосигнал обробляється з використанням різних методів, зокрема коефіцієнтів Mel-частотної кепстральної трансформації (MFCC) та короткочасного перетворення Фур'є (STFT). Ці ознаки є стандартними для аудіоаналізу, оскільки дозволяють виділити унікальні спектральні характеристики звуків БПЛА, які відрізняються від інших шумів навколишнього середовища. Виділення релевантних ознак зменшує обсяг даних для обробки та підвищує ефективність навчання моделі [5];

- модель CNN для аудіодетекції: Модель свёрточної нейронної мережі використовується для класифікації сигналів БПЛА на основі зібраних ознак. Архітектура CNN здатна автоматично виділяти важливі ознаки з вхідного аудіопотоку, що робить її ідеальною для завдань детекції в умовах значного шуму. Модель проходить навчання на великій вибірці звукових даних, після чого проводиться її тестування для оцінки точності і надійності. Експерименти показали, що CNN демонструє високі результати у порівнянні з іншими алгоритмами [6].

Результати:

- аналіз точності моделі: Модель CNN показала високу точність в умовах різних фонів шуму, що є важливим показником для систем виявлення БПЛА. Порівняння з іншими методами, такими як методи на основі традиційних фільтрів або методів спектрального аналізу, показало значне перевищення ефективності CNN у складних акустичних середовищах, що підтверджує доцільність її застосування для аудіодетекції [7];

- ефективність інтеграції сенсорів: Інтеграція кількох сенсорів для одночасного захоплення звукових сигналів дозволяє створити систему з більш високим ступенем точності. При використанні кількох акустичних точок система здатна відслідковувати переміщення БПЛА та забезпечувати

більш детальну інформацію щодо його місцезнаходження. Це є особливо корисним для моніторингу великих зон з підвищеними вимогами до безпеки [8];

- використання гібридних підходів: Комбінація різних сенсорів та моделей машинного навчання дозволяє підвищити стійкість системи до різноманітних шумових факторів, таких як вітер, інші транспортні засоби чи тварини. Використання CNN разом із рекурентними нейронними мережами (RNN) або конволюційними рекурентними мережами (CRNN) дає можливість досягти стабільних результатів у варіативних середовищах, що є додатковим елементом підвищення продуктивності [9](таб. 1).

Таблиця 1 – Результати досліджень

Параметр	Опис	Результати
Точність моделі CNN	Визначає успішність класифікації аудіосигналів БПЛА навіть у складних умовах навколишнього шуму.	Досягнута висока точність класифікації, яка перевершує традиційні методи, забезпечуючи надійне виявлення БПЛА.
Ефективність інтеграції сенсорів	Використання декількох акустичних сенсорів для підвищення точності ідентифікації та локалізації.	Система з декількома сенсорами продемонструвала кращі результати, зменшуючи кількість хибних спрацювань.
Обробка сигналів (MFCC, STFT)	Екстракція ознак звуку БПЛА із сирого аудіосигналу за допомогою спектральних коефіцієнтів.	Використання MFCC і STFT дозволило виділити унікальні ознаки, що підвищило якість навчання моделі.
Комбінація CNN та RNN/CRNN	Поєднання свёрточної та рекурентної нейронних мереж для покращення стійкості до шуму.	Поєднання CNN з RNN/CRNN підвищило стабільність виявлення у складних умовах, зокрема при перешкодах.
Порівняння з іншими методами	Оцінка переваг CNN порівняно з іншими алгоритмами класифікації аудіосигналів.	CNN значно перевищує альтернативні методи, демонструючи високу точність навіть при обмеженому обсязі даних.
Час реакції системи	Час, необхідний для виявлення та класифікації сигналу БПЛА в реальному часі.	Система на основі CNN показала швидкий час обробки, що дозволяє використовувати її для моніторингу в режимі реального часу.

Висновки:

- Інтеграція сенсорів та алгоритмів машинного навчання для аудіодетекції БПЛА забезпечує високу ефективність і точність у виявленні та ідентифікації безпілотних апаратів.
- Використання CNN дозволяє досягати високих показників точності в умовах обмежених обсягів даних.
- Подальші дослідження можуть спрямовуватися на оптимізацію параметрів моделі та її адаптацію для інших типів акустичних сигналів [10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Y. Bazi, F. Melgani. Convolutional SVM Networks for Object Detection in UAV Imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2018. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/8288824/>]
2. Xiaodan Lin, Jingxian Liu, Xiangui Kang. Audio Recapture Detection With Convolutional Neural Networks. IEEE Transactions on Multimedia, 2016. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/7478134/>]
3. E. Matson, Bowon Yang, Anthony H. Smith, J. E. Dietz, J. Gallagher. UAV Detection System with Multiple Acoustic Nodes Using Machine Learning Models. 2019 IEEE International Conference on Robotic Computing, 2019. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/8675566/>]
4. Sara Al-Emadi, A. Al-Ali, Amr Mohammad, Abdulaziz Al-Ali. Audio Based Drone Detection and Identification using Deep Learning. 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference, 2019. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/8766732/>]
5. J. M. Mendoza, Vanessa Tan, Vivencio C. Fuentes, Gabriel Perez, N. Tiglaio. Audio Event Detection Using Wireless Sensor Networks Based on Deep Learning. Springer, 2018. Джерело [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-06158-6_11]
6. Ilmun Ku, Seungyeon Roh, Gyeongyeong Kim, Charles Taylor, Yaqin Wang, E. Matson. UAV Payload Detection Using Deep Learning and Data Augmentation. IEEE International Conference on Robotic Computing, 2022. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/10023550/>]
7. Julio Galvan, A. Raja, Yanyan Li, Jiawei Yuan. Sensor Data-Driven UAV Anomaly Detection using Deep Learning Approach. MILCOM, 2021. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/9653036/>]
8. Christos Tsompos, V. Pavlidis, K. Siozios. Designing a Lightweight Convolutional Neural Network for Bird Audio Detection. PACET Conference, 2022. Джерело [<https://ieeexplore.ieee.org/document/9976355/>]
9. Sai Srinadhu Katta, S. Nandiyala, E. Viegas, Abdelrahman AlMahmoud. Benchmarking Audio-based Deep Learning Models for Detection and

Identification of UAVs. CPS-IoTBench, 2022. Джерело [https://ieeexplore.ieee.org/document/9805345]

10. G. Amato, Luca Ciampi, F. Falchi, C. Gennaro. Counting Vehicles with Deep Learning in Onboard UAV Imagery. IEEE Symposium on Computers and Communications, 2019. Джерело [https://ieeexplore.ieee.org/document/8969620/]