

ОГЛЯД МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ МАЛИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Шафроненко Є.О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Шейко С.О.

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

e-mail: yevhenii.shafronenko@nure.ua

The problems of using small unmanned aerial vehicles (UAVs) and the possibility of their detection using acoustic methods are considered. It was determined that the growing popularity of UAVs led to their widespread use in various industries, but at the same time, problems related to their unauthorized use arose. The paper considers methods of sound signal processing and defines the limitations of traditional approaches developed for speech recognition when detecting acoustic noises from small UAVs. Particular attention is paid to the selection and analysis of features for effective recognition, as well as the importance of developing adaptive algorithms and applying machine learning methods to improve the accuracy and reliability of small UAV detection systems.

В сучасний період кількість сфер використання малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стрімко зростає, зокрема в сфері військової справи. Малий розмір, маневреність та здатність до виконання різноманітних завдань роблять їх ефективними інструментами в військових операціях. Малий БПЛА може використовуватися для розвідки, слідкування за територією ворога, а також для атаки на об'єкти з повітря.

Ці безпілотні системи здатні надсилати важливу інформацію з місця подій, забезпечуючи військовим даними для прийняття рішень. Вони можуть бути використані для виявлення потенційних загроз, а також для атаки на стратегічно важливі об'єкти. У зв'язку з цим малі БПЛА стають важливим елементом військових стратегій та тактик, полегшуючи збір інформації та забезпечуючи переваги в сучасних конфліктах.

Таким чином виникає актуальне завдання виявлення малих БПЛА в повітрі. Для виявлення можуть використовуватися методи активної та пасивної радіолокації, теплової локації та систем відеоспостереження. Застосування таких методів для виявлення малих літальних апаратів (БПЛА) може бути викликане значними труднощами через особливості акустичних шумів, що генеруються цими пристроями.

Один із шляхів виявлення малих БПЛА - це застосування акустичних спостережень [1-3]. Шум, який створюється силовою установкою та повітряним гвинтом БПЛА, є значущою ознакою, яку можна використовувати

для виявлення. Розробка та удосконалення методів виявлення, пеленгації та розпізнавання малих БПЛА за допомогою прийому та обробки акустичних сигналів є актуальним.

Методи обробки звукових сигналів, які використовуються для розпізнавання звукових команд у системах управління, зазвичай орієнтовані на мовні сигнали та їх параметри. Застосування таких методів для виявлення малих літальних апаратів (БПЛА) може бути викликане значними труднощами через особливості акустичних шумів, що генеруються цими пристроями.

Наприклад, методи, як LPC (лінійне передбачуване кодування), MFCC (крейда-частотні коефіцієнти кепстрів) і PLP (перцептуальне лінійне передбачення), зазвичай спроектовані для роботи з чіткими і чіткими мовними сигналами. Ці методи можуть бути менш ефективними при аналізі акустичних шумів, які генеруються малими БПЛА.

Для виявлення малих БПЛА можуть використовуватися спеціалізовані методи обробки акустичних сигналів, орієнтовані на характеристики шуму, що випромінюється силовою установкою та повітряним гвинтом апарата. Одним з напрямків може бути використання акустичних спостережень, які базуються на аналізі акустичних сигналів, створюваних малими БПЛА.

Такі підходи можуть включати розробку специфічних методів виявлення, пеленгації та розпізнавання на основі аналізу акустичного випромінювання малих БПЛА, що може бути корисним для вирішення проблем виявлення цих пристроїв.

В розпізнаванні об'єктів, зокрема малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за акустичним сигналом, важливе значення має вибір та виділення певних ознак. Оскільки пасивні сонари мають обмежений радіус дії, а система обробки повинна бути ефективною та швидкою, правильний вибір ознак стає критичним завданням.

Деякі можливі ознаки, які можуть бути використані для розпізнавання малих БПЛА за акустичним сигналом, включають:

- спектральні характеристики. Аналіз частотного складу акустичних сигналів, зокрема, спектральні піки та їхні зміни, може слугувати як індикатори конкретного типу БПЛА;
- часові характеристики. Визначення характерних часових параметрів, таких як тривалість сигналу, інтервали між сигналами, може допомогти в розпізнаванні;
- амплітудні характеристики. Аналіз амплітуди акустичних сигналів та їхні зміни в часі може також слугувати важливою ознакою;
- шумові характеристики. Врахування або фільтрування акустичних шумів може поліпшити точність розпізнавання;
- інші характеристики. Залежно від конкретних умов і задач, можуть використовуватися інші ознаки, такі як пульсації, зміни в гучності

тощо.

Для покращення ефективності систем виявлення та розпізнавання БПЛА, адаптуючись до змін у середовищі та надаючи точні інформаційні характеристики для ідентифікації акустичних сигналів, що походять від цих літальних апаратів використовують методи просторового виділення сигналів акустичними мікрофонними решітками, які включають в себе використання групи мікрофонів для аналізу акустичних сигналів та виділення їх в залежності від просторового розташування джерела звуку. Ці методи можуть бути важливими для виявлення та відстеження БПЛА за допомогою їх акустичних сигналів. Основні підходи до використання мікрофонних решіток для розпізнавання БПЛА включають:

- формування діаграми напрямленості (Beamforming). Використання мікрофонів для створення діаграми напрямленості, яка може вказати на напрямок, з якого надходить звук від БПЛА. Це дозволяє зорієнтувати систему на конкретний джерело звуку;
- адаптивне фільтрування. Застосування адаптивних алгоритмів для налаштування ваг мікрофонів для максимізації виявлення звуків, що походять від БПЛА, та мінімізації впливу інших джерел шуму;
- просторова обробка сигналів. Використання просторової інформації, отриманої з мікрофонів, для виявлення та розрізнення акустичних сигналів, які генеруються БПЛА, від інших звуків у навколишньому середовищі;
- бінауральна техніка. Використання пар мікрофонів для відтворення просторової чутливості людини, що може полегшити виявлення та розпізнавання акустичних сигналів від БПЛА;
- кореляційні та спектральні аналізи. Використання кореляційних та спектральних аналізів для визначення особливостей акустичних сигналів, які характеризують БПЛА, і відокремлення їх від інших шумових джерел.

Розробка ефективних алгоритмів для вибору та аналізу ознак є критично важливою для створення надійної системи розпізнавання малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за акустичними сигналами. Оскільки такі апарати можуть мати різні характеристики шуму та звукової підписи, а також можуть працювати в різних умовах і середовищах, необхідно розробляти адаптивні та ефективні методи обробки сигналів.

Ефективні алгоритми обробки сигналів для розпізнавання малих БПЛА можуть включати в себе методи машинного навчання, які допомагають автоматично виявляти та класифікувати акустичні сигнали, використовуючи різні характеристики і функції для аналізу звуку.

Деякі підходи до розробки ефективних алгоритмів можуть включати:

- екстракція ознак. Вибір та екстракція релевантних ознак з акустичних сигналів, таких як спектральні характеристики, часові характеристики та інші параметри звуку;

– машинне навчання. Використання алгоритмів машинного навчання, таких як нейронні мережі, метод опорних векторів (SVM), дерева рішень та інші, для класифікації акустичних сигналів та розпізнавання малих БПЛА;

– адаптивні методи. Розробка алгоритмів, які можуть адаптуватися до різних умов та змін в середовищі, що можуть впливати на звукову сигнатуру БПЛА;

– фільтрація та підсилення сигналів. Використання фільтраційних та підсилювальних методів для покращення якості акустичних сигналів та виділення характерних рис.

Ефективні алгоритми обробки сигналів дозволяють покращити надійність та точність систем розпізнавання малих БПЛА за акустичними сигналами, що є ключовим для забезпечення безпеки та ефективності їх використання.

Таким чином, можна зробити висновки, що проблеми, пов'язані із зростанням популярності малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та потребою в їх виявленні через акустичні методи є актуальною. Розглянуто методи обробки звукових сигналів, приділяючи увагу змінам у традиційних підходах, спрямованих на розпізнавання мови, при аналізі акустичних шумів, що генеруються малими БПЛА.

Список використаних джерел

1. Zelnio A.M. Detection of small aircraft using an acoustic array. Thesis. B.S. // Electrical Engineering. Wright State University, 2007. 55 p.
2. Pham T., Srour N. TTCP AG-6: Acousting detection and tracking of UAVs // U.S. Army Research Laboratory. Proc. of SPIE. 2004. Vol. 54. P. 24–29.
3. Sadasivan S., Gurubasavaraj M., Sekar S.R. Acoustis signature of an unmanned air vehicle – exploitation for aircraft localisation and parameter estimation // Eronautical DEF SCI J. 2001. Vol. 51, № 3. P. 279–283.
4. Oleynikov V., Kartashov V., Sheiko S., Zubkov O. (2022). Determining the location of small unmanned aerial vehicles by acoustic radiation. Radiotekhnika, 3(210), 113–127. <https://doi.org/10.30837/rt.2022.3.210.09>
5. В. М. Олейніков, В. М. Карташов, С. О. Шейко, О. В. Зубков, О. І. Олейнікова. Визначення місця положення малорозмірних безпілотних літальних апаратів за акустичним випромінюванням. Радіотехніка: Всеукр. межвед. науч.–техн. сб. 2022. № 210, С. 113–127.