

**ПРОСТОРОВА ОБРОБКА АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ
ДЛЯ ПЕЛЕНГАЦІЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Степась Д.А.

email: dmytro.stepas@nure.ua

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

This paper explores the application of spatial signal processing techniques, specifically using microphone arrays, to improve the detection and classification of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in high-noise environments. Single-channel acoustic systems relying on traditional spectral analysis often fail under low Signal-to-Noise Ratio (SNR) conditions typical of urban settings. To address this, we investigate Direction of Arrival (DOA) estimation via GCC-PHAT alongside DAS and MVDR beamforming methods to spatially filter background noise.

В умовах сучасних конфліктів та стрімкого розвитку безпілотної авіації, завдання своєчасного виявлення та ідентифікації малорозмірних повітряних об'єктів (БПЛА) набуває критичного значення. Традиційні радіолокаційні засоби часто є малоефективними для цілей з низькою ефективною площею розсіювання (ЕПР) або під час їхнього польоту на надмалих висотах. Альтернативним і повністю пасивним методом є аналіз акустичних випромінювань (шумових характеристик), що генеруються рушійними установками об'єктів [1].

Метою роботи є підвищення надійності та точності класифікації шумових характеристик БПЛА шляхом впровадження методів просторової фільтрації та оцінки напрямку приходу сигналу як етапу попередньої обробки акустичних даних.

Використання мікрофонних решіток (масивів акустичних сенсорів) дозволяє експлуатувати просторові характеристики звукового поля, вирішуючи два послідовні завдання: пеленгацію джерела (DOA) та просторову фільтрацію (Beamforming).

Для систем реального часу з обмеженими обчислювальними ресурсами найбільш раціональним є використання алгоритмів на основі аналізу часових затримок (TDOA – Time Difference of Arrival). Високу стійкість до реверберації демонструє метод узагальненої взаємної кореляції з фазовим перетворенням (GCC-PHAT) [2]. Цей метод виконує так зване спектральне «відбілювання» сигналів, що робить пік взаємної кореляції між записами з різних мікрофонів значно більш виразним, навіть за наявності сильних відлунь від будівель чи рельєфу. Позиція цього максимуму безпосередньо відповідає часу затримки приходу звукової хвилі. Знаючи цю затримку, а також геометрію розташування мікрофонів і швидкість поширення звуку в повітрі, система здатна оцінити напрямок на джерело.

Після визначення напрямку на об'єкт, мікрофонна решітка фокусується на ньому за допомогою алгоритмів просторової фільтрації. Базовим та найменш ресурсоємним методом є алгоритм «затримка-сумування» (Delay-and-Sum, DAS) [3]. Його принцип дії полягає у введенні компенсуючих програмних затримок у сигнали кожного окремого мікрофона. Завдяки цьому звукові хвилі, що надходять саме від виявленої цілі, складаються синфазно (конструктивно посилюючи корисний сигнал), тоді як фонові шуми, що надходять з усіх інших напрямків, складаються асинхронно і деструктивно пригнічуються.

Для складніших заводових обстановок, наприклад, коли поруч наявне інше потужне джерело шуму, доцільно застосовувати адаптивні алгоритми, такі як Minimum Variance Distortionless Response (MVDR). Цей підхід дозволяє динамічно формувати "нулі" в діаграмі спрямованості решітки, направляючи їх на джерела завад, що додатково мінімізує загальну потужність фонових шумів на виході системи. Очищений за допомогою просторової фільтрації сигнал є оптимальним для подальшої класифікації методами машинного навчання, а самі алгоритми можуть бути апаратно реалізовані на мікроконтролерах [4].

Аналіз свідчить про доцільність переходу від одноканальних до багатоканальних акустичних систем ідентифікації повітряних об'єктів. Застосування алгоритмів оцінки DOA (зокрема, GCC-PHAT) та формування діаграми спрямованості (Beamforming) є критично важливим етапом попередньої обробки сигналів в умовах інтенсивних завад. Такий підхід ефективно усуває обмеження класичного спектрального аналізу та підвищує надійність подальшої класифікації шумових характеристик за допомогою машинного навчання. Подальші дослідження будуть спрямовані на апаратну оптимізацію розглянутих алгоритмів для їхньої імплементації на базі мікроконтролерних систем у режимі реального часу.

Список використаних джерел:

1. Добровольський А. Б., Орлов В. В. Дослідження можливостей звуколокації БПЛА у завданнях моніторингу терористичних загроз. Радіотехніка. 2019. Вип. 198. С. 36–42.
2. Knapp C., Carter G. The generalized correlation method for estimation of time delay. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1976. Vol. 24, No. 4. P. 320–327.
3. Van Trees H. L. Optimum Array Processing: Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory. New York : John Wiley & Sons, 2002. 1472 p.
4. Al-Emadi S., Al-Ali A., Mohammad A. Audio based drone detection and identification using deep learning techniques. 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC). 2019. P. 459–464.