

ФРАКТАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ БПЛА ЗА АКУСТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Леушина А.А.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Олейніков В.М.

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

e-mail: anastasiia.leushyna@nure.ua

This work is devoted to the detection and recognition of UAVs by acoustic signals. Acoustic detection is an effective solution as UAVs are becoming more difficult to detect by other detection channels. Fractal methods have a wide range of applications in signal processing and provide successful identification of structural features, which will help in UAV recognition.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають велике поширення як в громадянському житті так і у воєнній сфері. В умовах війни БПЛА є корисним засобом протистояння супротивнику, але так само вони є загрозою, оскільки так само можуть використовуватися з боку ворога. Для протистояння цій загрозі необхідно забезпечити виявлення та розпізнавати БПЛА супротивника. В системах військового призначення перевагу надають пасивним методам виявлення БПЛА, зокрема методам пасивної акустичної та оптичної локації. БПЛА як правило являють собою аеродинамічні об'єкти типу моноплан (рис.1) або мультикоптер (рис.2), які є локалізованими джерелами акустичного випромінювання[1]. До акустичних випромінювань БПЛА відносяться: випромінювання механічної природи, шум обертів гвинта та шум двигуна.



Рисунок 1 – БПЛА типу моноплан
(SHARK UAV)



Рисунок 2 – БПЛА типу мильтикоп-
тер

Особливостями акустичних випромінювань тактичних БПЛА, що ускладнюють їх виявлення, є відносно малий рівень звукової потужності та широка смуга частот (порівняно з іншими акустичними сигналами поля бою), а також висока апіорна невизначеність відносно структури як акустичних сигналів БПЛА, так і перешкод. Дослідження складних коливань, до яких відносять і акустичні сигнали БПЛА, за допомогою аналізу відповідних фазових портретів дає більше інформації, ніж спостереження

часових реалізацій.

Останнім часом для аналізу подібних сигналів використовують метод побудови псевдо фазової площини (ПФП) з часовою затримкою. В ПФП будуються фазові портрети, тобто залежність амплітуди сигналу від цієї ж величини в інший момент часу, що відстає або випереджує даний момент часу на постійну величину. Побудова фазового портрету в ПФП за допомогою сучасних комп'ютерів можлива в реальному масштабі часу. Приклади фазових портретів акустичного випромінювання БПЛА різних класів наведені на рис. 3,4.

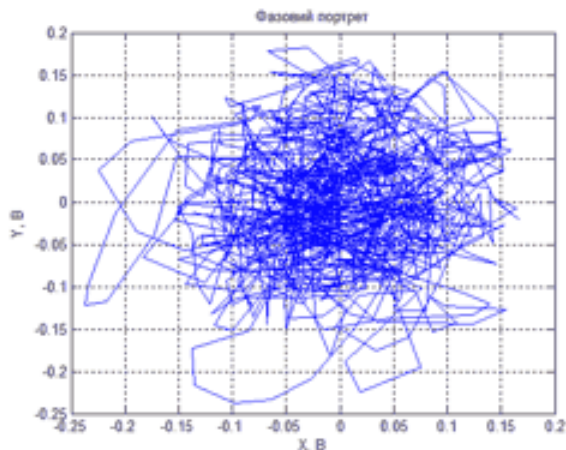


Рисунок 3 – Фазовий портрет акустичного випромінювання БПЛА DJI Phantom 3

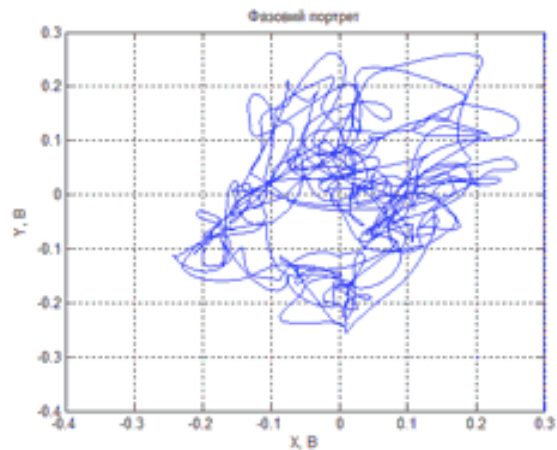


Рисунок 4 – Фазовий портрет акустичного випромінювання БПЛА Shahed-136

Фазові портрети БПЛА мають суттєві особливості і їх можна використовувати як характерну ознаку.

Візуальний аналіз безпосередньо ПФП є досить складним через випадкову природу фазових траєкторій сигналу, особливо на фоні шуму. При використанні ж фрактального методу ступінь флуктуацій може бути описаний за допомогою характеристичного коефіцієнта – фрактальної розмірності D . Фрактальна розмірність, як правило, є додатнім нецілим числом і відображає, певним чином, складність форми сигналу. При двовірному представленні прийнятого сигналу, величина D знаходиться в межах $1 \leq D \leq 2$. Більшому значенню D відповідає більший ступінь заповнення фазової площини.

Порівняльний аналіз показує, що відмінності у середніх значеннях фрактальних розмірностей фазових портретів акустичних сигналів можуть бути використані в якості ознаки розпізнавання різних джерел акустичних випромінювань. Крім того, значення дисперсії для БПЛА (особливо літакового типу) є значно меншими, ніж для інших джерел акустичних сигналів [2].

Становить інтерес зіставлення періодичних та хаотичних компонентів сигналу як одна з ознак БПЛА. Для порівняння фрактальних властивостей різноманітних процесів часто застосовують метод Херста. В

цьому методі для аналізу часових рядів використовується безрозмірний показник, який визначається відношенням розмаху R накопиченого відхилення від середнього до середньоквадратичного відхилення S (R/S).

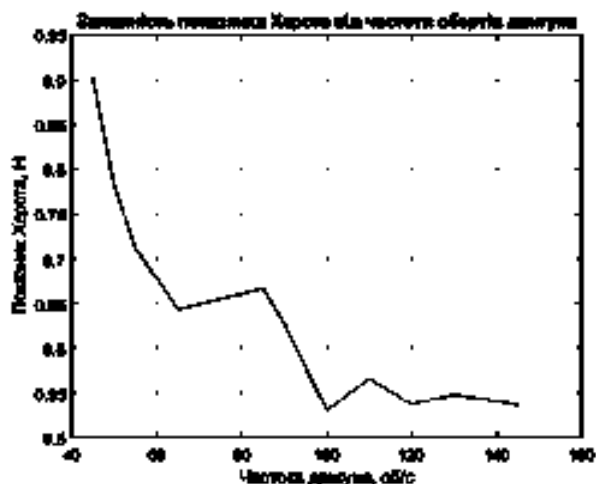


Рисунок 5 – Залежність показнику Херста від частоти обертів двигуна БПЛА DJI Phantom 3

зниження показнику Херста від $H=0,90$ при частоті обертів гвинта 45 об/с, до $H=0,53$ при частоті обертів гвинта 145 об/с. При чому при перевищенні повітряним гвинтом частоти 100 об/с показник Херста майже перестає змінюватись і коливається в межах $H=0,52$ до $H=0,56$, що може вказувати на перехід сигналу в шумоподібний.

Фрактальні методи дозволяють виявити структурні особливості сигналу, в даному випадку акустичного. Результати розглянутих методів показують, що їх використання дозволяє ефективно виявляти БПЛА та відрізняти їх від інших джерел акустичних сигналів.

Список використаних джерел:

1. Олейников В. Н., Зубков О. В., Карташов В. М., Корытцев И. В., Бабкин С. И., Шейко С. А. Исследование эффективности обнаружения и распознавания малоразмерных беспилотных летательных аппаратов по их акустическому излучению // Радиотехника. 2018. Вып. 195. С. 209-217.
2. Бугайов М. В., Нагорнюк О. А. Виявлення акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів на основі аналізу їх фрактальної розмірності // Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки : матеріали Всеукр. наук.-техн. конф., Вінниця, 17–19 травня 2017 р. : зб. тез доп. Вінниця : ВНТУ, 2017. С. 60-62.
3. 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>