М. В. Бугайов
О. А. Нагорнюк

ВИЯВЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова

Анотація

В роботі розглянуто підхід до виявлення акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів на основі аналізу фрактальної розмірності їх фазових портретів. Наведено числові значення фрактальної розмірності для деяких акустичних сигналів, що дає змогу проводити їх розпізнавання.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, акустичний сигнал, фазовий портрет, фрактальна розмірність, розпізнавання сигналів.

Abstract

The paper considers the approach of detection the acoustic signals of unmanned aerial vehicles based on the analysis of the fractal dimension of the phase portraits. Given the numerical values of the fractal dimension for some of the acoustic signals that enabling their recognition.

Keywords: unmanned aerial vehicle, acoustic signal, phase portrait, fractal dimension, signal recognition.

З кожним роком малорозмірні безпілотні літальні апарати (БПЛА) дозволяють вирішувати все більшу кількість завдань щодо збору розвідувальної інформації, що розширює перелік загроз, які вони можуть створювати [1-2]. Важливою складовою протидії БПЛА є їх своєчасне та достовірне виявлення. Складність виявлення таких БПЛА зумовлена їх низькою помітністю в радіолокаційному, інфрачервоному та оптичному діапазонах довжин хвиль. Однією з демаскуючих ознак БПЛА є їх акустичне випромінювання. У зв’язку з цим в останні роки підвищилася увага до проблеми виявлення малорозмірних БПЛА із використанням пасивних акустичних систем, що пов’язано як з їх високою інформативністю, так і з особливостями побудови і функціонування [3-4].

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 апріорна 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 [5]. 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.

Проте 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 двомірному представленні прийнятого сигналу, величина D знаходиться в межах $1 \le D \le 2$. Більшому значенню D відповідає більший ступінь заповнення фазової площини.

Оскільки значення D є випадковими, нормально розподіленими величинами для кожного вектора вхідного акустичного сигналу, тому необхідною є їх статистична обробка для отримання відповідних оцінок. В таблиці 1 наведено вибіркові середні значення m(D) та дисперсії $\sigma^2(D)$ фрактальних розмірностей фазових портретів різних акустичних сигналів. Частота дискретизації акустичного сигналу складала 8 кГц (смуга аналізу – 4 кГц), довжина вікна аналізу – 1000 відліків, кількість послідовних вікон – 50. Розрахунки проводилися за допомогою програми FRACTAN, в якій оптимальна часова затримка визначається автоматично і відповідає мінімальному значенню часу появи першого локального мінімуму автокореляційної функції.

Таблиця 1 – Фрактальні розмірності деяких акустичних сигналів

Джерело сигналу	m(D)	$\sigma^2(D)$
БПЛА з двигуном внутрішнього згорання	1,8597	$8{,}2886\times10^{-4}$
БПЛА з електричним двигуном	1,8881	$4{,}7012\times10^{-4}$
БПЛА мультроторного типу	1,8025	0,0012
Вертоліт	1,7472	0,0027
Танк	1,7400	0,0037
Шум вітру	1,2526	0,0041

Порівняльний аналіз даних таблиці 1 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 $\sigma^2(D)$ для БПЛА (особливо літакового типу) є значно меншими, ніж для інших джерел акустичних сигналів. Таким чином, розрахунок фрактальної розмірності сигналів, які надходять на мікрофони засобів акустичної розвідки, дозволить проводити надійне виявлення БПЛА та відрізняти їх від інших джерел акустичних сигналів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фещенко А. Л. Застосування безпілотних літальних апаратів у воєнних конфліктах кінця XX – початку XXI століття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата історичних наук : спец. 20.02.22 «Військова історія» / Фещенко Андрій Леонідович ; Національний Університет оборони України. – К. : 2011. – 22 с.

2. Austin R. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment / R. Austin. – Boston : John Wiley & Sons Ltd, 2010. – P. 113–127.

3. Pham T. TTCP AG-6: Acoustic detection and tracking of UAVs / T. Pham, N. Srour // U.S. Army Research Laboratory. Proc. of SPIE, 2004. – Vol. 17. – P. 24–29.

4. Zelnio A. M. Detection of small aircraft using an acoustic array. Thesis. B. S / A. M. Zelnio. – Electrical Engineering, Wright State University, 2007. – 55 p.

5. Пащенко Р. Э. Распознавание БПЛА мультироторного типа с использованием фазовых портретов / Р. Э. Пащенко, В. И. Кортунов, Д. О. Цюпак, О. А. Барданова // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. − Х. : ХУПС 2013. − № 4(13). − С. 68−72.

Бугайов Микола Вікторович, науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру, Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, м. Житомир, e-mail: karunen@ukr.net

Нагорнюк Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії науково-дослідного відділу наукового центру, Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, м. Житомир, e-mail: Nahorniuk@i.ua

Buhaiov Mykola Viktorovuch, research scientist of research department of scientific center, Zhytomyr military institute named after S. P. Korolyov, Zhytomyr, e-mail: karunen@ukr.net

Nahorniuk Oleksandr Anatoliiovych, Leading research scientist of research laboratory of research department of scientific center, Zhytomyr military institute named after S. P. Korolyov, Zhytomyr, e-mail: Nahorniuk@i.ua.