

ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ ПЕЛЕНГУВАННЯ БПЛА ЗА АКУСТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Крайник К. І., Орлов Д. І., Козловець С. О.

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

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,

61166, Харків, пр. Науки 14, кафедра МІРЕС

e-mail: kostiantyn.krainyk@nure.ua, danylo.orlov@nure.ua,

serhii.kozlovets@nure.ua

In this work, the methods of detection and recognition of unmanned aerial vehicles by the Bartlett, Capon and mutual correlation function methods are considered. An analysis of the advantages and disadvantages of these methods and the peculiarities of their use was carried out.

Основним завданням при проектуванні БПЛА є забезпечення низького рівня виявлення, цього можна досягти за рахунок використання композиційних матеріалів (вуглецеві, арамідні тканини), мінімізації площі розсіювання та низького теплового випромінювання двигунами. Саме тому виникла необхідність в виявленні дронів методами акустичної локації, яка базується на виявленні БПЛА через акустичне випромінювання винтів.

Так для вимірювання та виявлення координат БПЛА використовуються одноелементні та багатоелементні акустичні решітки. Різниця в цих системах полягає в тому, що багатоелементна система дозволяє автоматично адаптуватися до зміни прийому сигналу, в той час як одноелементна система не має цієї можливості, тому більш широкого використання здобули адаптивні антенні решітки.

Зараз існує дуже велика кількість різноманітних алгоритмів які дозволяють виявити БПЛА, але найбільш цікавими та ефективними є методи Бартлетта, Кейпона та взаємної кореляційної функції.

Їх особливість полягає в тому, що вони дозволяють отримати кількість та кутові координати джерел акустичного випромінювання, при цьому не впливаючи ніяким чином на діаграму спрямованості, а використовувати лише необхідні алгоритми для оцінки сигналів, що досліджуються.

Особливість використання метода Барлетта полягає в тому, що можна дослідити необхідний кутовий сектор (потенційне місце об'єкту), тоді направлення з найбільшою потужністю, що приходить на ААР і буде відповідати напрямку приходу корисного сигналу (БПЛА). Але даний алгоритм містить недоліки які пов'язані з низькою роздільною здатністю, яка залежить від АР та неможливістю виявити БПЛА при наявності в кутовому секторі більше одного джерела акустичного випромінювання. А для того, щоб підвищити роздільну здатність АР виникає необхідність у збільшенні

кількості елементів, які використовують в акустичній решітці і фактично являється єдиним способ в підвищенні ефективності системи.

Оцінкою істинного напрямку приходу сигналу є кут, який відповідає піковому значенню спектра. У порівнянні зі стандартним методом формування променя метод Кейпона, що характеризується в більшості випадків більш високою роздільною здатністю, вимагає додаткового звернення матриці [1]. Незважаючи на те, що цей метод потребує більш потужної системи для обчислювальних операцій, так як з'являється велика кількість вибірок, також виникає проблема з ефективністю цієї системи у тому випадку, коли акустичні джерела випромінювання є корельованими або при малих значеннях вибірки.

Спираючись на вищесказане, можна вважати, що алгоритм виявлення БПЛА методом Кейпона є більш ефективнішим, ніж метод Баттлера, тому що в цьому випадку використовуються додаткові ступені свободи для фокусування енергії вздовж напрямку пеленгу об'єкта (рис. 1).

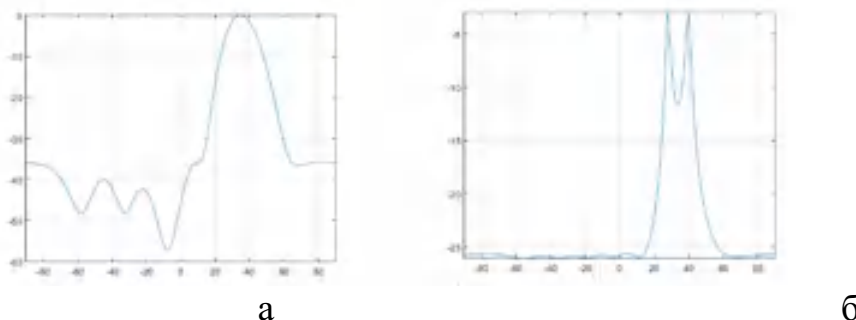


Рисунок 1 - Просторовий спектр для оцінки напрямку джерела сигналу за методом Бартлетта (а) та Кейпона (б) [1]

Аналізуючи рис. 1 можна вважати, що метод Бартлетта має свої недоліки, які пов'язані зі збільшенням роздільної здатності і при цьому на результат оцінки ніяким чином не впливають тривалість спостереження та відношення сигнал/шум, в той час як метод Кейпона є більш ефективним через свою роздільну здатність та залежить від рівня отриманого сигналу.

Однією з особливостей акустичного випромінювання в сучасних БПЛА є наявність вузькосмугових тональностей та широкосмугових шумоподібних елементів, які випромінюються з винтів БПЛА. Коли мова заходить про використання алгоритмів Бартлетта або Кейпона, то в цьому випадку враховуються лише вузькосмугові сигнали. Для виявлення широкосмугових завад, які випромінюються винтами дрона широкого застосування знайшов алгоритм взаємної кореляційної функції

Вимірювання зсуву часу приходу широкосмугового акустичного сигналу до окремих мікрофонів МР проводиться шляхом обчислення положення максимумів ВКФ сигналів, що приймаються відповідними мікрофонами і чим ширша смуга частот сигналу, тим вужче кореляційна функція [2].

Отже, спираючись на дослідження [2] можна стверджувати, що метод

Кейпона має набагато більшу роздільну здатність та менший рівень бічних пелюсток, ніж метод Бартлетта (рис. 2), а використання взаємної кореляційної функції в широкій смузі дозволяє збільшити точність вимірювання кутового положення.

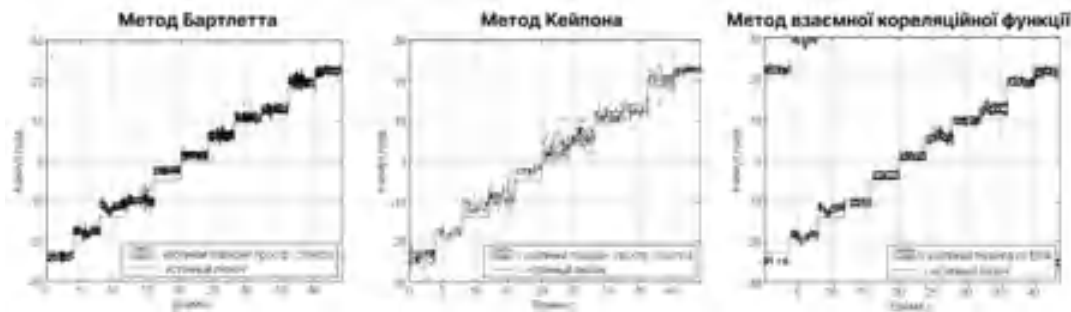


Рисунок 2 – Ізолінії досліджуваних алгоритмів акустичного сигналу винтомоторної групи БПЛА [2]

Так на рис. 2 зображені результати експериментального дослідження, при якому було задано кутове положення джерела акустичного випромінювання, результати виміру оброблені методами Бартлетта, Кейпона та методом взаємної кореляційної функції, де червоний колір - це задане положення БПЛА, а чорний - це результат експерименту.

Таким чином, необхідність виявлення БПЛА є важливим завданням, яке не тільки потребує наявності апріорної інформації, але й адаптування системи до можливих змін (шумова складова, конфігурація акустичної решітки, кількість елементів АР і т.д.).

Так в даній роботі були розглянуті алгоритми Бартлетта, Кейпона та взаємної кореляційної функції, де найменш ефективним є метод Бартлетта через неможливість розширити роздільну здатність при збільшенні рівня сигнал/шум або збільшенню тривалості спостереження.

Методи Кейпона та Бартлетта виявилися найбільш ефективними при виявленні БПЛА, вони дозволяють отримати більш точне місцезположення БПЛА, але при цьому вони також мають недолік, який відображається у необхідності використання потужної обчислювальної машини, що може привести до досить довгого виявлення БПЛА та необхідності використання фільтрів верхніх частот через високу чутливість АР до шумів.

Список використаних джерел: 1. Карташов В. М., Корытцев И. В., Олейников В. Н., Зубков О. В., Бабкин С. И., Шейко С. А., Левский Н. А. / Алгоритмы пеленгации беспилотных летательных аппаратов по их акустическому излучению // Радиотехника: Всеукр. научн.- техн. сб. 2019. Вып. 196. С. 22–31. 2. Олейников В. Н., Зубков О. В., Карташов В. М., Корытцев И. В., Бабкин С. И., Шейко С. А., Селезнев И. С. / Экспериментальная оценка эффективности алгоритмов пеленгования беспилотных летательных аппаратов по акустическому излучению // Радиотехника: Всеукр. научн.- техн. сб. 2018. Вып. 199. С. 29–37.