

МЕТОД ТЕХНІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ВИЯВЛЕННЯ-РОЗДІЛЕННЯ ГРУП БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) виконують широке коло задач у військовій сфері. Розширення кола таких задач викликає постійне технічне вдосконалення як самих дронів, так і засобів протидії БПЛА. Стрімко розвивається напрямок тактики й техніки застосування дронів у складі групи.

Існуючі засоби протидії володіють обмеженими можливостями щодо виявлення груп БПЛА та розділення їх у групі. Отже, гостро постає проблема спільного виявлення-розділення груп БПЛА.

На етапах аналізу та оцінки вказаної проблеми вимоги до виявлення-розділення груп БПЛА повинні бути технічно обґрунтовані.

Метою даної статті є розроблення методу підвищення якості виявлення-розділення БПЛА, як джерел радіовипромінювання (ДРВ), шляхом вдосконалення відомого методу технічного обґрунтування вимог, заснованого на використанні адаптивних пеленгаторів з надрозділенням.

У результаті дослідження встановлено, що крутість змінювання сигналу вагового вектору процесора адаптивної антенної решітки в області пеленгів на ДРВ значно більша за крутість піків кутового спектру на виході решітки. Ця властивість досліджена та використана для підвищення кутового надрозділення ДРВ БПЛА адаптивним пеленгатором. Отримана оцінка граничного кутового надрозділення шляхом використання в якості кутового спектру потужності сигналу вагового вектору залежно від параметрів поля вхідних сигналів.

Ключові слова: виявлення; розділення; група безпілотних літальних апаратів; адаптивна антенна решітка; пеленгація

Вступ

Бойові дії на сході України продовжуються [1]. Противник широко використовує безпілотні літальні апарати (БПЛА) різноманітного призначення. Успішна протидія БПЛА ґрунтується на використанні комплексу заходів, одну з ключових ролей в якому відіграють заходи з виявлення БПЛА.

Постановка проблеми. Аналіз бойових дій у ході ООС на сході України показує нарощення використання противником безпілотних авіаційних комплексів. Противник постійно знаходиться на шляху пошуку можливостей вдосконалення тактики та техніки застосування БПЛА. Перспективним вважається застосування БПЛА у складі груп. Це підтверджується і за досвідом збройного конфлікту між Азербайджаном та Вірменією [2].

Ефективність протидії групам БПЛА противника значною мірою залежить від здатності наявних засобів виявляти групи дронів та окремі дрони у групі. Однак, на сьогодні, методи, що покладені в основу функціонування наявних засобів протидії, в основному реалізують завдання виявлення поодиноких БПЛА. Отже, існує об'єктивне протиріччя між новими високими вимогами до виявлення-розділення груп БПЛА та можливостями методів виявлення-розділення, застосованих у наявних зразках озброєння. Як наслідок, постає наукове завдання удосконалення відомих та створення нових методів виявлення-

розділення груп БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Опис останніх успішних військових операцій ЗС Туреччини у Сирії, ЗС Азербайджану у Нагірному Карабаху з використанням груп БПЛА Bairaktar TB2 показує високу ефективність такої техніки у протистоянні з засобами ППО, у тому числі і сучасним російським ЗРК «Панцирь С1» [3]. При цьому втрати БПЛА незрівнянно менші, ніж втрати, нанесені ними противнику [2, 3].

Аналіз наукових видань ЗС РФ показав, що противник по-перше – активно вивчає тактику та техніку застосування БПЛА ЗС країн НАТО [4-6], по-друге – проводить дослідження можливостей застосування своїх штатних та перспективних безпілотних авіаційних комплексів (БПАК), у тому числі й у складі груп [7-9]. Так, у [9] досліджуються можливості застосування автоматизованої розвідувально-ударної системи на базі двох БПАК. Пропонується склад БПЛА дальньої дії першого БПАК:

- розвідувальний;
- розвідувально-ударний;
- дальнього радіолокаційного виявлення.

Склад швидкісних БПЛА другого БПАК:

- багатофункціональний;
- імітатор оперативної-тактичної авіації, що провокує вмикання РЕЗ ППО;
- ударний.

Отже, тенденція переходу до застосування БПЛА у складі групи очевидна.

Метою статті є розроблення методу

технічного обґрунтування вимог до засобів виявлення-розділення груп БПЛА, що ґрунтуються на модифікованому адаптивному методі пеленгації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглядаючи заходи протидії БПЛА [10, 11], метод технічного обґрунтування вимог до перспективних засобів виявлення-розділення віднесемо до групи пасивних заходів, що насамперед, вирішують завдання виявлення БПЛА [10].

Можливості розділення БПЛА наявними засобами протидії обумовлені, в першу чергу, використаними в них типами антен та методами пеленгації. Звичайні для таких пеленгаторів антени – це кільцеві антенні решітки, а для пеленгації використовується метод кореляційної інтерферометрії.

Зазначені типи антен та методів показують задовільний результат пеленгації поодиноких БПЛА. Розділення БПЛА у разі їх дії у групі не завжди доступне таким методам, особливо, якщо зосередження БПЛА у групі є досить щільним.

Розроблення методу технічного обґрунтування вимог до виявлення-розділення груп БПЛА доцільно розділити на декілька кроків. На певних кроках виникає необхідність оцінити граничне кутове розділення методів, що розглядаються.

Як відомо [12, 13], в існуючих засобах пеленгації БПЛА граничне розділення залежить тільки від розміру антен та довжини хвилі. В той же час, кутове надрозділення ґрунтується на використанні адаптивних методів пеленгації [14].

Таким чином, в основу удосконаленого методу пропонується покласти адаптивний метод пеленгації за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки (МСКП) [15]. Це дозволить отримати окрім пеленгів також і сигнал ДРВ, «очищений» від заважаючих сигналів у групі ДРВ. У роботі [16] було одержано оцінку кутового надрозділення в адаптивній антенній решітці з пілот-сигналом [15] (рис. 1) яка реалізує вказаний метод за критерієм МСКП.

Розглянемо метод підвищення надрозділення в адаптивній антенній решітці з пілот-сигналом (ААР з ПС)

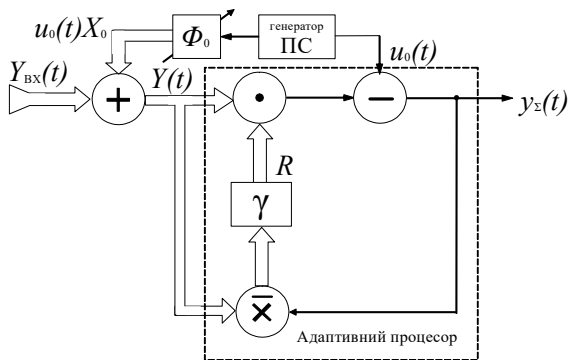


Рис. 1 Структурна схема ААР з ПС

Зауваження 1. Оцінювання граничних можливостей кутового розділення джерел радіовипромінювання здійснено за релеєвським критерієм, згідно якого два ДРВ вважаються розділеними, якщо у кутовому спектрі на виході пеленгатора провал між двома піками, що визначають напрямки на ДРВ, складає не менше 3 дБ.

Наслідок 1. Вказаний підхід дозволяє застосувати методи технічного обґрунтування вимог до виявлення-розділення груп БПЛА, порівнюючи їх можливості на основі встановлених критеріїв. Враховуючи прийняте припущення, зауваження та наслідок удосконалений метод зводиться до такого.

Крок 1. Формалізація моделі вхідних сигналів $Y_{vx}(t)$ для виявлення-розділення груп БПЛА.

Вектор сигналів на вході M -елементної лінійної еквідистантної решітки покажемо у вигляді:

$$Y_{vx}(t) = \sum_{i=1}^m x_i(t)X_i + n(t), \quad (1)$$

де $n(t)$ – вектор власних шумів каналів:

$$n^+(t) = \left[\xi_1^*(t), \dots, \xi_M^*(t) \right];$$

«+» – знак спряження за Ермітом;

«*» – знак комплексного спряження;

m – кількість джерел випромінювання ($m < M$);

$x_i(t)$ – випадкова комплексна амплітуда

сигналу i -го ДРВ з дисперсією $\sigma_i^2 = x_i(t)x_i^*(t)$ і гаусовою статистикою;

$$X_i = \frac{1}{\sqrt{M}} \left\| \exp \left\{ j \frac{M-2k+1}{2} \psi_i \right\} \right\| \quad - \text{вектор}$$

фазового розподілення сигналу i -го ДРВ;

$$\psi_i = \pi \sin \theta_i;$$

$$k = 1 \dots M;$$

θ_i – кутова координата i -го ДРВ, що відраховується від нормалі до розкриву антенної решітки (АР).

Припустимо, що власні шуми $\xi_i(t)$ взаємно некорельовані в каналах $\left(\overline{\xi_i \xi_k^*} = 0 \right)$, мають

гаусову статистику, центровані, з однаковою дисперсією в каналах $\sigma_n^2 = \xi_i \xi_i^*$. Сигнали $x_i(t)$ – просторово-корельовані на апертурі решітки, для АР виконується умова широкосмуговості у просторі вхідних сигналів.

Крок 2. Формування вектору вхідних сигналів адаптивного процесора ААР з ПС

Вектор фазового розподілення пілот-сигналу після фазообертачів визначає його фазове розподілення в каналах АР (див. рис. 1)

$$X_0 = \frac{1}{\sqrt{M}} \left\| \exp \left\{ j \frac{M-2k+1}{2} \psi_0 \right\} \right\|,$$

де $\psi_0 = \pi \sin \theta_0$;

θ_0 – кутовий напрямок очікуваного ДРВ, що відраховується від нормалі до розкриву АР.

Вектор сигналу на вході процесора дорівнює

$$Y(t) = Y_{ex}(t) + u_0(t)X_0, \quad (2)$$

де $u_0(t) = U_0 e^{j\omega_0 t}$ – гармонічний пілот-сигнал на середній частоті ω_0 спектру сигналів ДРВ.

Крок 3. Оцінювання потужності сигналу на виході ААР з ПС.

Кореляційна матриця вхідних сигналів адаптивного процесора має вигляд

$$\Phi' = Y(t)Y^+(t) = Y_{ex}(t)Y_{ex}^+(t) + \sigma_n^2 h_0 X_0 X_0^+ + 2\sigma_n \sqrt{h_0} \cdot Y_{ex}(t)X_0^+ e^{j\omega_0 t},$$

де $h_0 = U_0^2 / \sigma_n^2$ – нормована до дисперсії шумів каналу потужність пілот-сигналу.

Оскільки $\overline{Y_{ex}(t)X_0^+ e^{j\omega_0 t}} = 0$, то після підстановки до Φ' значення вектору вхідних сигналів (1), матимемо

$$\Phi' = \sigma_n^2 \left(I + h_0 X_0 X_0^+ + \sum_{i=1}^m h_i X_i X_i^+ \right) = \sigma_n^2 \Phi,$$

де $h_i = \sigma_i^2 / \sigma_n^2$ – нормована потужність сигналів i -го ДРВ на вході АР;

Φ – нормована КМ суміші пілот-сигналу, сигналів ДРВ та власних шумів каналів.

З рис.1 випливає, що комплексна амплітуда вихідного сигналу решітки дорівнює

$$y_\Sigma(t) = u_0(t) - R^+ Y(t).$$

Потужність вихідного сигналу

$$P_\Sigma = \overline{y_\Sigma(t)y_\Sigma^*(t)} = R^+ \Phi' R + h_0 \sigma_n^2 - 2\sigma_n \sqrt{h_0} \cdot R^+ Y(t).$$

Враховуючи (1) та (2), та після ділення P_Σ на дисперсію власних шумів каналу σ_n^2 , отримаємо вираз для нормованої потужності сигналів на виході ААР з ПС

$$H = P_\Sigma / \sigma_n^2 = R^+ \Phi R - h_0 (2R^+ X_0 - 1). \quad (3)$$

Ваговий вектор R знайдемо в результаті розв'язання диференціального рівняння самонастроювання [9]:

$$R = \beta h_0 (I + \beta \Phi)^{-1} X_0,$$

де $\beta = \gamma \sigma_n^2$ – узагальнений коефіцієнт підсилення кола кореляційного зворотного зв'язку процесора ААР.

За достатньо великого значення $\beta \gg 1$ отримаємо

$$R \approx h_0 \Phi^{-1} X_0, \quad (4)$$

Підставивши (4) в (3), отримаємо

$$H \approx h_0 (1 - h_0 X_0^+ \Phi^{-1} X_0). \quad (5)$$

Вираз (5) визначає кутовий спектр на виході ААР з ПС за скануванням ДС кутового сектору шляхом змінювання вектору пілот-сигналу X_0 .

Зауваження 2. Термін «виявлення-розділення» (як і термін «виявлення-вимірювання» [17]) означає, що виявлення і кутове розділення групи ДРВ здійснюється спільно. Процедура виявлення сигналу ДРВ, що пеленгується (корисного сигналу), здійснюється на фоні не тільки власних шумів, а й у присутності сигналів інших ДРВ, що заважають. Наслідком дії останніх є зменшення імовірності правильного виявлення D корисного сигналу. Для врахування втрат у відношенні сигнал/(шум + перешкода) в [17] введений коефіцієнт використання енергії корисного сигналу, що дає можливість оцінити зменшення величини D . В роботі [18] показано, що за достатньо потужному пілот-сигналу ($h_0 \geq 30\text{дБ}$) і сигналів ДРВ в групі ($h_1 = h_2 \geq 20\text{дБ}$) їх кутове надрозділення залишається достатньо високим за $D > 0.7$ і фіксованому значенні імовірності хибної тривоги $F = 10^{-6} \dots 10^{-4}$.

Наслідок 2. Прийнемо, що для параметрів поля вхідних сигналів ААР з ПС (h_0, h_i) виконується умова виявлення з вказаними показниками якості і надалі термін «виявлення-розділення» замінено на термін «розділення».

Крок 4. Обґрунтування сигналу норми вагового вектору для підвищення кутового надрозділення.

Покажемо, що нормована потужність власних шумів ААР на її виході пропорційна потужності сигналу вагового вектору, тобто квадрату норми цього вектору.

Нормована потужність власних шумів на виході ААР з ПС дорівнює

$$\begin{aligned} H_{III} &= \frac{P_{III}}{\sigma_n^2} = \overline{n_{вих}(t)n_{вих}^*(t)} = \\ &= R^+ \cdot n(t)n^+(t) \cdot R = R^+ \Phi_{III} R, \end{aligned}$$

де вектор $n(t)$ визначений в (1).

Власні шуми в каналах некорельовані, тому нормована кореляційна матриця шумів $\Phi_{III} = I$ і

$$H_{III} = R^+ R.$$

На рис. 2 зображені результати розрахунку H_{III} , залежно від кута сканування (криві 3). Для порівняння наведено також кутові спектри на виході неадаптивної АР та з виходу ААР з ПС.

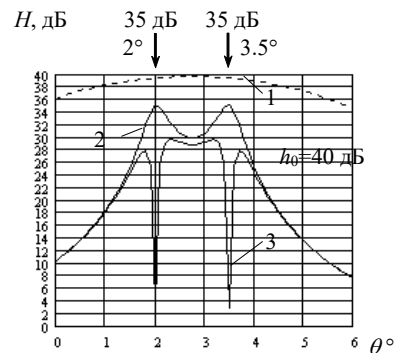


Рис. 2 Кутові спектри на виході неадаптивної АР (1), ААР з ПС (2) та H_{III} (3)

Кутові положення двох ДРВ однакової потужності показано стрілками.

З аналізу кривих (див. рис. 2) випливає висновок, що крутість змінювання потужності сигналу вагових коефіцієнтів $R^+(\theta)R(\theta)$ (власних шумів на виході) в області пеленгу на ДРВ значно більша за крутість кутового спектру на виході ААР.

Для усунення недоліку методу пеленгації за мінімумом пропонується виконати нормування вихідного сигналу адаптивного процесора за потужністю сигналу вагового вектору. Як слідство, матимемо

$$H_{norm} = \frac{H(\theta)}{R^+(\theta)R(\theta)}. \quad (6)$$

Технічну реалізацію удосконаленого методу можна подати у вигляді схеми формування нормованого вихідного сигналу, наприклад, за допомогою автоматичного регулювання підсилення (рис. 3).

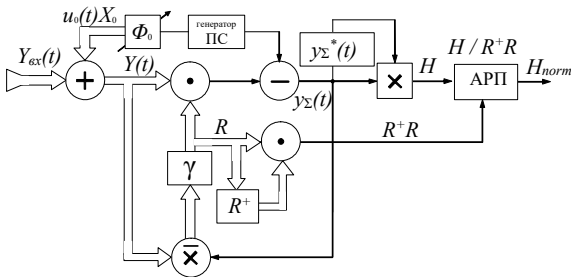


Рис. 3 Структурна схема модифікованої ААР з ПС

На рис. 4 та рис. 5 наведені кутові спектри сигналів ДРВ групи БПЛА на виході неадаптивної ААР (1), «звичайної» ААР з ПС (2) та модифікованої ААР з ПС (3) для різних значень потужності пілот сигналу h_0 .

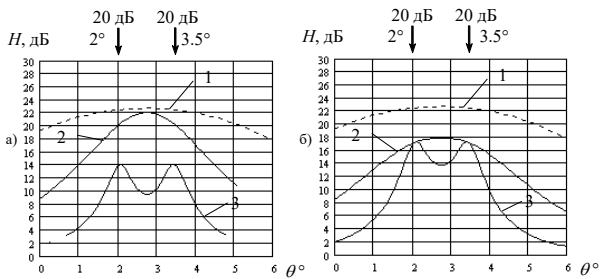


Рис. 4 Кутові спектри а) $h_0 = 40\text{дБ}$; б) $h_0 = 20\text{дБ}$

Аналіз кутових спектрів на рис. 4 та рис. 5 показав наступне.

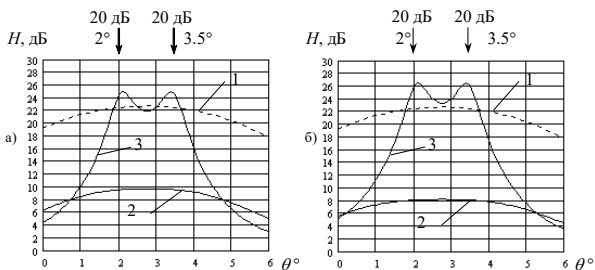


Рис. 5 Кутові спектри а) $h_0 = 10\text{дБ}$; б) $h_0 = 5\text{дБ}$

По-перше, модифікований алгоритм для всіх значень h_0 забезпечує надрозділення навіть відносно «слабких» сигналів ДРВ (криві 3), в той час, як «звичайна» ААР з ПС їх не розділює за $\delta\theta = 1.5^\circ$ (криві 2);

По-друге, при зменшенні h_0 зменшується рівень вихідного сигналу і кутовий спектр $H(\theta)$ на виході «звичайної» ААР з ПС наближується за формою до кутового спектру на виході неадаптивної АР внаслідок «закриття» решітки (рис. 5, криві 2). Модифікована ААР, навпаки, із зменшенням h_0 дозволяє краще виділити (на більшому рівні потужності) сигнали ДРВ.

Оцінка граничного кутового розділення, отримана у [16] для «звичайної» ААР з ПС та модифікованої ААР з ПС, отримана за виразом (6), показана на рис. 6, де $\frac{\delta\theta}{\Delta\theta}$ – нормована за ширини діаграми спрямованості АР величина релеєвського розділення.

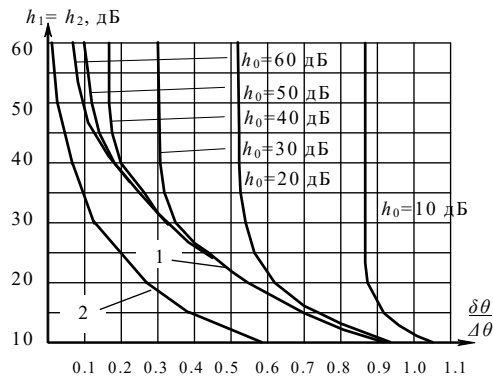


Рис. 6 Криві граничного кутового розділення «звичайної» (1) та модифікованої (2) ААР з ПС

Аналіз отриманих залежностей показує, що удосконалений метод технічного обґрунтування вимог до виявлення-розділення груп БПЛА підвищує надрозділення сигналів ДРВ груп БПЛА у 2...2,5 рази залежно від потужності сигналів ДРВ. Характерним для модифікованої ААР з ПС є те, що ефект надрозділення майже не залежить від потужності пілот-сигналу, на відміну від «звичайної» ААР з ПС.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Розроблений метод обґрунтування технічних вимог до виявлення-розділення груп БПЛА дозволяє сформулювати вимоги до перспективних засобів протидії БПЛА.

Показано, що методи виявлення-розділення ДРВ, що є частиною пасивних заходів протидії БПЛА та застосовані в існуючих засобах, не завжди ефективні за виявлення груп БПЛА, в першу чергу, через обмежені можливості з їх кутового розділення.

Ідея застосування методів надрозділення для розв'язання очевидного протиріччя, знайшла подальший розвиток у модифікації відомого адаптивного метода.

Досліджено пеленгаційні властивості сигналу норми вагового вектору на виході адаптивного процесора. Аналіз показав, що пеленгація БПЛА за сигналом $R^+(\theta)R(\theta)$ здійснюється за суттєво гострішими «піками», ніж у кутовому спектрі на

виході «звичайної» ААР з ПС. Цей результат використано для розроблення модифікованого методу, що дозволяє підвищити надрозділення БПЛА у складі групи.

Література

1. Зведення прес-служби Міноборони України щодо обстановки в районі проведення операції Об'єднаних сил [Електронний ресурс] // Міністерство оборони України. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mil.gov.ua/news/2020/11/13/zvedennya-presssluzhbi-minoboroni-ukraini-shhodo-obstanovki-v-rajonii-provedennya-operaczi-obednanih-sil/>. 2. Аксьонов П. Війна дронів у Карабаху: як безпілотники змінили конфлікт між Азербайджаном і Вірменією [Електронний ресурс] / Павло Аксьонов // ВВС. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54434848>. 3. Безпілотники vs ППО. Деякі висновки з бойового протистояння високотехнологічного озброєння. // *Defence Express*. – 2020. – №8. – С. 41–43. 4. Евтодьева М., Целицкий С. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства. *Пути к миру и безопасности*, Москва, 2019, № 2(57), сс. 104-111. 5. Бондарев А. Н., Киричек Р. В. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах // *Информационные технологии и телекоммуникации*. Санкт-Петербург, 2016. Том 4. № 4. С. 13–23. 6. И.М. Комаров, К.В. Епишин, Д.В. Зерноков, Д.Б. Изюмов, Е.Л. Кондратюк Зарубежный опыт создания систем управления беспилотными летательными аппаратами, предназначенными для решения задач обеспечения действий военно-морских сил. *Инноватика и экспертиза*. Москва, 2017. С. 193-203. 7. Доклады и статьи ежегодной научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами», г. Коломна, 2016. – 274 с. 8. Сборник докладов и статей по материалам II научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами» / Коломна: 924 ГЦ БпА МО РФ, 2017. – 337 с. 9. Гомзин А.В., Гимадеев Р.Г. Предложения ОКБ Симонова по формированию облика разведывательно-ударной системы на основе научно-технического задела разработки комплексов с

беспилотными летательными аппаратами. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами» / Коломна: 924 ГЦ БпА МО РФ, 2017. – С. 7–60. 10. Дудуш А. С. Сучасний стан та проблеми протидії маловисотним, низькошвидкісним та малорозмірним БПЛА / А. С. Дудуш, В. О. Тютюнник, О. А. Резніченко, С. Ю. Гогоняц // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. - 2018. - № 1. - С. 121-131. 11. Даник Ю.Г., Дупелич С.О. Стратегічні аспекти боротьби з робототехнічними комплексами // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. - 2017. - № 2. - С. 16-25. 12. Пластун РП-3000. Малогабаритна тактична система радіорозвідки [Електронний ресурс] // *Инфозахист*. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://infozahyst.com/products/plastun_rdf_3000/. 13. Хортиця-Р. Комплекс радіоелектронної боротьби з БПЛА [Електронний ресурс] // *Инфозахист*. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://infozahyst.com/products/khortytzia-r/>. 14. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: *Радио и связь*, 2003. – С. 61-79. 15. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. М.: *Радио и связь*, 1986. – С. 134-150. 16. Коваль Д.В., Коваленко М.В. Кутове надрозділення джерел випромінювання в адаптивних алгоритмах мінімуму середньоквадратичної похибки та максимуму відношення сигнал-шум. Збірник наукових праць «Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем»: – Житомир: ЖВІРЕ, 2000. – Вип. 3 – С. 76-90. 17. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. — М.: Радио и связь, 1981. — 416 с. 18. Коваль Д.В., Коваленко М.В. Статистична оцінка кутового розділення джерел випромінювання в адаптивних пеленгаторах Збірник наукових праць «Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем»: – Житомир: ЖВІРЕ, 2003.

МЕТОД ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОБНАРУЖЕНИЮ-РАЗРЕШЕНИЮ ГРУПП БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Денис Владимирович Коваль

Житомирский военный институт им. С.П. Королева, Житомир, Украина

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) выполняют широкий круг задач в военной сфере. Расширение круга таких задач вызывает постоянное техническое совершенствование как самих дронов, так и средств противодействия БПЛА. Стремительно развивается направление тактики и техники применения дронов в составе группы.

Существующие средства противодействия владеют ограниченными возможностями по обнаружению групп БПЛА и разрешению их в группе. Таким образом, остро встает проблема совместного обнаружения-разрешения групп БПЛА.

На этапах анализа и оценки указанной проблемы требования к обнаружению-разрешению групп БПЛА должны быть технически обоснованы.

Целью данной статьи является разработка метода повышения качества обнаружения-разрешения БПЛА, как источников радиоизлучения (ИРИ), путем усовершенствования известного метода технического обоснования требований, основанного на использовании адаптивных пеленгаторов со сверхразрешением.

В результате исследования установлено, что крутизна изменения сигнала весового вектора процессора адаптивной антенной решетки, а области пеленгов на ИРИ значительно выше, чем крутизна пиков углового спектра на выходе решетки. Это свойство исследовано и использовано для

повышения углового разрешения ИРИ БПЛА адаптивным пеленгатором. Получена оценка предельного углового разрешения путем использования в качестве углового спектра мощности сигнала весового вектора в зависимости от параметров поля входных сигналов

Ключевые слова: обнаружение; разрешение; группа беспилотных летательных аппаратов; адаптивная антенная решетка; пеленгация

METHOD OF TECHNICAL JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR UNMANNED AIRCRAFT GROUPS DETECTION AND RESOLVING

Denys Koval

Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr

Modern unmanned aerial vehicles (UAVs) perform a wide range of tasks in the military sphere. The expansion of the range of such tasks causes constant technical improvement of both the drones themselves and the means of countering UAVs. The direction of tactics and technics for using drones as part of a group is rapidly developing.

The existing countermeasures have limited capabilities to detect UAV groups and resolve them in the group. Thus, there is an acute problem of group detection and resolving of UAV groups.

At the stages of analysis and assessment of this problem, the requirements for the detection and resolving of UAV groups must be technically justified.

The purpose of this article is to develop a method to improving the quality of detection and separation of UAVs as sources of radio emission (SRE), by improving the known method of technical justification of requirements based on the use of adaptive direction finders with superresolution.

As result of the study, it was found that the steepness of the change of the weight vector signal in the area of directions on SRE is much greater than the steepness of the angular spectrum peaks at the output of the adaptive antenna array. This property was investigated and used to increase the angular resolution of the UAV's SREs in adaptive direction finder. The estimation of the boundary angular resolution is obtained by using the weight vector signal as an angular power spectrum depending on the parameters of the input signal.

Key words: UAV detection; resolving, UAV group; adaptive antenna array; direction finding

References

1. Summary of the press service of the Ministry of Defence of Ukraine. Available at: <https://www.mil.gov.ua/news/2020/11/13/zvedennya-presssluzhbi-minoboroni-ukraini-shhodo-obstanovki-v-rajoni-provedennya-operaczii-obednanih-sil/>.
2. Aksonov P. Drone war in Karabakh: how drones changed the conflict between Azerbaijan and Armenia. Available at: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54434848>.
3. Bezpilotnyky vs PPO. Deiaki vysnovky z boiovoho protystoiannia vysokotekhnolohichnoho ozbroiennia. [Drones vs air defense. Some conclusions from the combat confrontation of high-tech weapons]. Defense Express, 2020. – №8, – S.41 – 43.
4. Evtodeva M., Tselitskiy S. (2019). Bespilotnyie letatelnyie apparaty voennogo naznacheniya: tendentsii v sfere razrabotok i proizvodstva [Unmanned aerial vehicles for military use: trends in development and production]. Puti k miru i bezopasnosti. – M., №2(57). – S.104-111.
5. Bondarev A. N., Kirichek R. V. (2016). Obzor bespilotnykh letatelnykh apparatov obshego polzovaniya i regulirovaniya vozdušnogo dvizheniya BPLA v raznykh stranah [Overview of unmanned aerial vehicles for general use and air traffic control UAVs in different countries]. Informatsionnyie tehnologii i telekommunikatsii. – Spb, №4. – S.13-23.
6. I.M. Komarov, K.V. Epishin, D.V. Zernyukov, D.B. Izyumov, E.L. Kondratyuk (2017). Zarubezhnyiy opyt sozdaniya sistem upravleniya bespilotnyimi letatelnyimi apparatami, prednaznachennyimi dlya resheniya zadach obespecheniya deystviy voenno-morskikh sil [Foreign experience in creating control systems for unmanned aerial vehicles designed to solve the problems of supporting the actions of the naval forces]. Innovatika i ekspertiza. – M. – S.193-203.
7. Doklady i stati ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivnyi razvitiya i primeneniya kompleksov s bespilotnyimi letatelnyimi apparatami», g. Kolonna, 2016. – 274 s.
8. Sbornik dokladov i statev po materialam II nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivnyi razvitiya i primeneniya kompleksov s bespilotnyimi letatelnyimi apparatami» / Kolonna: 924 GTs BpA MO RF, 2017. – 337 s.
9. Gomzin A.V., Gimadeev R.G (2017). Predlozheniya OKB Simonova po formirovaniyu oblika razvedyivatelno-udarnoy sistemy na osnove nauchno-tehnicheskogo zadela razrabotki kompleksov s bespilotnyimi letatelnyimi apparatami [Proposals of the Simonov Design Bureau on the formation of the appearance of a reconnaissance and strike system based on the scientific and technical groundwork for the development of complexes with unmanned aerial vehicles] Perspektivnyi razvitiya i primeneniya kompleksov s bespilotnyimi letatelnyimi apparatami / Kolonna: 924 GTs BpA MO RF, S. 7–60.
10. A. S. Dudush A. S., V. O. Tiutiunyk, O. A. Reznichenko, S. Yu. Hohoniants. Suchasnyi stan ta problemy protydii malovysotnym, nyzkoshvydkisnym ta malorozmirom BPLA / A. S. Dudush, // Suchasni informatsiini tehnolohii u sferi bezpeky ta obrony. - 2018. - № 1. - S. 121-131.
11. Danyk Yu.H., Dupelych S.O. Stratehichni aspekty borotby z robototekhnichnyimi kompleksamy // Suchasni informatsiini tehnolohii u sferi bezpeky ta obrony. - 2017. - № 2. - S. 16-25.
12. Plastun RP-3000. A small-sized tactical radio intelligence system. Available at: https://infozahyst.com/products/plastun_rdf_3000/.
13. Khortytsia-R. Complex of electronic warfare against UAV. Available at: <https://infozahyst.com/products/khortytsia-r/>.
14. Ratynskiy M.V. (2003) Adaptatsiya i sverhrazreshenie v antennih reshetkah [Adaptation and superresolution in adaptive antenna arrays]. M.: Radio i svyaz, – S. 61-79.
15. Monzingo R.A., Miller T.U. (1986). Adaptivnyie antennyie reshetki: Vvedenie v teoriyu [Adaptive Antenna Arrays: An Introduction to Theory]. M.: Radio i svyaz, – S. 134-150.
16. Koval D.V., Kovalenko M.V. Kutove nadrozdllennya dzherel vipromlnyuvannya v adaptivnih algoritmah mInImumu sereznokvadratichnoYi pohibki ta maksimumu vldnoshennya signal-shum // Zblrnik naukovih prats “Problemi stvorennya, viprobuvannya, zastosuvannya ta ekspluatatsiYi skladnih Informatsiynih sistem”: – Zhitomir: ZhVIRE, 2000. – Vip. 3 – S. 76-90.
17. Shyrman Ya. D., Manzhos V. N. Teoryia y tekhnika obrabotky radyolokatsyonnoi ynformatsyy na fone pomekh. — M.: Rado y svyaz, 1981. —416 s
18. Koval D.V., Kovalenko M.V. Statystychna otsinka kutovoho rozdilennia dzherel viprominiuvannya v adaptyvnykh pelenatorakh // Zbirnyk naukovykh prats “Problemi stvorennia, viprobuvannya, zastosuvannya ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system”: – Zhytomyr: ZhVIRE, 2003.