

## ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ГРУПОВИМИ КЕРОВАНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

*Анотація.* Розроблено нову архітектуру і базові компоненти системи контролю та управління БПЛА з роботизованим пристроєм та Платформою Тактичної Підтримки (ПТП) для загоризонтного керування як безпілотником, так і роботом, а також структуру апаратно-програмного комплексу Наземного Центру Управління (НЦУ), схеми інтеграції основних підсистем і засобів – серверів реєстрації, аналізу та обробки даних результатів моніторингу наземних об'єктів, сервера доступу до ресурсів відповідних сховищ даних та баз даних, компонентів системи управління цими ресурсами та потоками даних і відео.

*Ключові слова:* БПЛА, роботизований пристрій, загоризонтне управління, обробка даних, відеомоніторинг, моделювання, динамічна інтерпретація, метамодель.

### Вступ

Рознесення в просторі й синхронізація функціонування структурних елементів багатопозиційних систем радіолокації (БПСРЛ) дозволяє вишукувати додаткові можливості щодо покращення характеристик визначення ознак групового складу повітряних об'єктів. Відомо [1,2], що важливим напрямком вирішення даної задачі є зменшення імпульсного об'єму зондувальних сигналів РЛС, для чого необхідна реалізація механізмів їх стиску за тривалістю в приймальних пристроях системи, а також зменшення ширин ДСА в кутомісцевій та азимутальній площинах. Якщо здатність РЛС щодо розрішення за дальністю визначається на етапі проектування кожного конкретного радіолокаційного засобу, то розрішення цілі за кутовими координатами, яка залежить від ширин ДСА однопозиційного засобу, може бути покращена також і в процесі експлуатації за допомогою об'єднання окремих РЛС у систему й оптимальною організацією їх спільного функціонування.

При локації повітряних об'єктів, для зручності опису їх відбиваючих здатностей, в умовах багатопозиційного спостереження, доцільне введення поняття багатопозиційної ефективної площі відбиття (БП ЕПВ). Якщо сигнали, випромнені різними передавальними позиціями, приходять на вхід прийомної позиції із запізнюванням відносно один одного більш ніж на величину  $\frac{1}{\Delta f}$ , де  $\Delta f$  - ширина спектра сигналу, БП ЕПВ являє собою матрицю розмірності  $n \times m$ .

$$\sigma_{m(\vartheta)} = \begin{pmatrix} \sigma(\vartheta_{1,1}) & \sigma(\vartheta_{1,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{1,m}) \\ \sigma(\vartheta_{2,1}) & \sigma(\vartheta_{2,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{2,m}) \\ \sigma(\vartheta_{n,1}) & \sigma(\vartheta_{n,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{n,m}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Елементами матриці (1) є моностатичні, бістатичні й тіньові ефективні площі відбиття (МЕПВ, БЕПВ, ТЕПВ). Вони відповідають випадку коли приймальна станція та станція передачі розташовані відповідним чином: МЕПВ – приймальня й передавальна станції просторово сполучені; БЕПВ - приймальня й передавальна станції просторово рознесені;

ТЕПВ - приймальня й передавальна станції просторово рознесені так, що кут між напрямками візування на об'єкт із обох станцій близький до 180 градусів. Рядки матриці описують відбивні властивості повітряної цілі відносно  $m$  приймальних позицій при випромінюванні  $i$  - передавальної позиції  $i = 1, n$ , а стовпці відносно  $j$  - приймальної позиції  $j = 1, m$  при випромінюванні  $n$  передавальних.

Таке математичне трактування МП ЕПВ має на увазі наступний її фізичний зміст: МП ЕПВ — це сукупність  $n \times m$  ізотропних, (принаймні, у межах апертури прийомних антен) відбивачів, розміщених на місці цілі, що й створюють (з урахуванням напрямку опромінення) у напрямку приймання потужність на одиницю тілесного кута, як і реальна повітряна ціль. Також передбачається, що відстань від прийомних станцій до цілі досить велика, і прийняту радіохвилю можна вважати плоскою й однорідною. Таким чином, у випадку багаторакурсного спостереження об'єкта, його відбивні властивості описуються в загальному випадку сукупністю БЕПВ. За аналогією з вищевикладеним, МП ЕПВ може бути диференціальною й інтегральною. У першому випадку в якості елементів матриці (1) використовуються диференціальні ЕПВ, а в другому - інтегральні. Якщо передавальні позиції функціонують на одній частоті й зондувальні сигнали одночасно опромінюють об'єкт спостереження, то матриця МП ЕПВ (1) трансформується у вектор розмірності  $m$ . Це відбувається через те, що зондувальні сигнали передавальних позицій складаються на об'єкті, і кожна приймальна позиція отримує не  $n$  сигналів, а один. У цьому випадку всю сукупність передавальних позицій БПСРЛ можна розглядати у вигляді однієї еквівалентної станції.

Стосовно до МЕПВ і БЕПВ правомірне застосування теореми про їхню еквівалентність [1]. Використовуючи введене поняття багатопозиційної ЕПВ, можна сформулювати твердження про еквівалентність матриці багатопозиційної ЕПВ (1) відповідно матриці аналогічної розмірності, елементами якої є МЕПВ [2].

У теорії радіолокації, є ряд підходів до розв'язання задачі розпізнавання типу об'єктів спостереження. Однак розв'язати її із прийнятним рівнем імовірності в багатьох випадках не вдається.

Тому важливо відзначити, що матриця (1) за своєю суттю являє собою радіолокаційний портрет об'єкта спостереження й може бути використана для вирішення задачі розпізнавання в БПСРЛ [3].

Пропонований метод розпізнавання заснований на порівнянні поточних оцінок ЕПВ виявленого об'єкта з еталонними діаграмами ЕПВ апріорно відомих об'єктів. При спостереженні об'єкта багатопозиційною радіолокаційною системою, що полягає з  $m$  позицій, з яких  $n$  - приймальнопередавальні, а  $(m - n)$  - приймальні, оцінки ЕПВ об'єкта являють собою матрицю, де відомими є значення елементів та бістатичні кути, при яких вони обмірювані. База даних еталонних діаграм ЕПВ повинна виражатися у вигляді такої залежності:

$$\sigma(\phi, \varepsilon, \phi_\beta, \varepsilon_\beta), \phi \in [0, 2\pi], \varepsilon \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \phi_\beta \in [0, 2\pi], \varepsilon_\beta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (2)$$

Тоді алгоритм роботи системи розпізнавання буде полягати в наступному. Перед початком функціонування БПСРЛ із блоку керування в базу даних еталонів надходить інформація про перелік розвідувальних об'єктів  $\rho$  і можливі ракурси їх спостереження  $[\phi_1, \phi_2]$  та  $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$ . Сюди ж у процесі функціонування БПСРЛ надходять поточні дані про бістатичні кути спостереження об'єкта  $\phi_{\beta ij}, \varepsilon_{\beta ij}, i = 1, n, j = 1, m$ , що виявляється. Відповідно до цієї інформації база даних видає вибірки з еталонних діаграм:

$$\sigma_l(\phi, \varepsilon, \phi_\beta, \varepsilon_\beta), l = 1, \rho, \phi \in [\phi_1, \phi_2], \varepsilon \in [\varepsilon_1, \varepsilon_2], \phi_\beta = \phi_{\beta ij}, \varepsilon_\beta = \varepsilon_{\beta ij}, i = 1, n, j = 1, m \quad (3)$$

Вони надходять на блок порівняння; туди ж надходять поточні значення ЕПВ виявленого об'єкта  $\sigma_0(\phi_0, \varepsilon_0, \phi_{\beta ij}, \varepsilon_{\beta ij}), i = 1, n, j = 1, m$ .

У блоці проводиться порівняння еталонних і поточних ЕПВ; результати порівняння  $A_l$  надходять у блок аналізу, де відповідно до алгоритму  $\max(A_l)$  або  $l \in \rho$   
 $\min(A_l)$  ухвалюється рішення про приналежність виявленого об'єкта певному типу.  
 $l \in \rho$

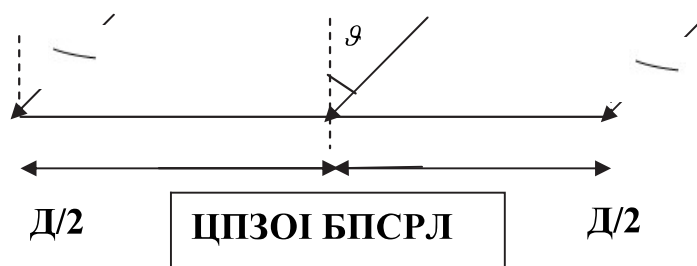
Розрахунки, проведені з використанням даного алгоритму розпізнавання до реальних об'єктів, підтверджують можливість розпізнавання типу об'єкта з досить високою ймовірністю[3].

Розглянутий алгоритм може бути вдосконалений шляхом уточнення ухваленого рішення за рахунок збільшення здатності розрішення БПСРЛ за кутовими координатами у випадку можливої локації групових повітряних цілей. Дане припущення про груповий склад об'єкта може бути винесене в процесі аналізу її радіолокаційного портрета й звірення його з еталонами. У цій ситуації доцільна реалізація механізму підвищення відповідної здатності розрішення БПСРЛ за рахунок використання «багатоточечного» прийому й наступної обробки відбитого від цілі сигналу. Процес вибору й синхронізація роботи конкретних «точок» прийому БПСРЛ можуть бути алгоритмізовані залежно від розглянутої ситуації (припущення про груповий характер аналізованого об'єкта) і геометрії польоту цілі.

Розглянемо загальні підходи до реалізації механізму покращення здатності розрішення БПСРЛ за кутовими координатами у випадку приймання відбитого від

цілі сигналу двома прийомними пристроями БПСРЛ, рознесеними на відповідну базову відстань. Умовимося, що структурно гіпотетична БПСРЛ буде складатися із  $N$  РЛС, центрального пункту збору та обробки інформації (ЦПЗОІ), який інтегрований з пунктом управління системи (ПУ).

Прийняті сигнали в ЦПЗОІ БПСРЛ підсумовуються, підсилюються й після квадратичного детектування усереднюються вихідним реєструючим обладнанням (рис. 1.1).



**Рис. 1.** – Схема приймання відбитого від цілі сигналу двома прийомними пристроями БПСРЛ

Таким чином, якщо напруженості полів, прийнятих антенами від точкового джерела, рівні відповідно  $AF(\vartheta)\sin\omega t$  й  $AF(\vartheta)\sin(\omega t + \varphi)$  (тут  $F(\vartheta)$  – діаграма спрямованості антени за напруженістю поля;  $\vartheta$  – кут з нормаллю до базової лінії; оскільки ми вважаємо, що відстань до джерела багато більше  $D$ ).

Звідси слідує, що амплітуди полів в антенах приймаючих РЛС однакові,  $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} D \sin(\vartheta)$ , та потужність сигналу на виході обладнання дорівнює [4]:

$$P(\vartheta) = \pi [AF(\vartheta)\sin\omega t + AF(\vartheta)\sin(\omega t + \varphi)]^2 \phi = A^2 F(\vartheta) [1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin\vartheta)] \quad (4)$$

т.ч. прийомна діаграма спрямованості за потужністю в цьому випадку дорівнює:

$$F_E(\vartheta) = F(\vartheta) [1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin\vartheta)], \quad (5)$$

де  $F(\vartheta)$  – діаграма за потужністю одиночної антени.

Якщо кути  $\vartheta$  невеликі й можна вважати  $\sin\vartheta \approx \vartheta$ , то:

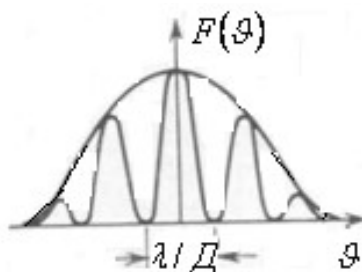
$$F_E(\vartheta) = F(\vartheta) [1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda} D \vartheta)], \quad (6)$$

Тобто діаграма спрямованості являє собою багатопелюсткову структуру з однаковими відстанями між сусідніми максимумами й нулями, яка обгинається  $F(\vartheta)$  – діаграмою окремої антени в розглянутому випадку.

Таким чином, розрішення при двопозиційнім прийманні сигналу за кутом, тобто ширина пелюстки на рівні половинної потужності, дорівнює:

$$\Delta\vartheta_E = \lambda / 2D, \quad (7)$$

що відповідає розрішенню суцільної апертури діаметром  $2D$ , тобто розрішення у цьому випадку вдвічі краще розрішенню суцільної апер вайбері з батьками може скажуть їй ті що забирають сатури того ж діаметра  $D$ .



**Рис. 2.** - Діаграма спрямованості синтезованої антени при двопозиційному прийомі

Однак настільки високе розрішення в даному випадку можна реалізувати для визначення координат точкового джерела в цілі групового складу, але не для аналізу розподілу радіояскравості.

Радіояскравості – радіолокаційного зображення протяжного об'єкта в цьому ж складі. Для даного виміру з розрішенням  $\frac{\lambda}{A}$  (за кутом  $\varphi$  при постійному напруженню бази) необхідна реєстрація всіх просторових частот від нуля до, тобто використання змінної відстані між антенами БПСРЛ, реалізованою конкретною конфігурацією побудови системи та алгоритмами регламентації функціонування її складових.

Розглянута процедура дозволяє одержати більш деталізований радіолокаційний портрет повітряної цілі, яка підпадає під класифікацію й відповідно максимально підвищити ймовірність її правильного розпізнавання.

Підводячи підсумок розглянутого, можливо стверджувати, що найбільш актуальними шляхами реалізації потенційних характеристик визначення ознак групового складу повітряних об'єктів у системах БПРЛ є:

- 1) розширення банку даних еталонів діаграм розсіювання повітряних цілей;
- 2) розробка оптимальних алгоритмів підвищення здатності розрішення БПСРЛ за кутовими координатами у випадку локації повітряних цілей групового складу;
- 3) застосування в БПСРЛ, у перспективі, коротких (до нанометрових) або модифікованих частотно (фазо)-модульованих (маніпульованих) зондуючих сигналів, використання яких дозволить забезпечити суттєве підвищення здатності розрішення системи за дальністю;
- 4) розробка оптимальних алгоритмів регламентації функціонування РЛС у складі БПСРЛ за умов складної сигнально-завадової обстановки.

## Висновки

Розроблено нову технологію обробки результатів наземного моніторингу та робіт з бортовим роботом, що формують потоки телеметрії, оперативного управління БПЛА та ПТП, потоки даних з відеокамер, дані дистанційного керування роботом на БПЛА, прискорюють аналіз і обробку даних у ІТ-середовищі системи з використанням метамоделей опису та обробки повідомлень, а також на основі відповідних сервісів і ресурсів НЦУ.

Розроблено нові метамоделі управління розподіленими джерелами даних для ETL – процесів обробки програмно-апаратними засобами НЦУ, а також основні компоненти систем аналізу та обробки потоків телеметрії ЛА, відеомоніторингу та управління, включаючи застосування метамоделей опису та управління для консолідації інформації сховищ, операційних баз даних, інших джерел корпоративного рівня на основі використання нових метамоделей.

Параметри і структура таких моделей динамічно інтерпретуються спеціальними алгоритмами зв'язування і використовуються для управління цими процесами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Отражательная способность радиолокационных целей. ТИИЭР, 1965, т. 53. №8.
2. Самойлов С.И. Измерение бистатических эффективных поверхностей рассеяния сложных объектов. – Электромагнитные волны и радиоэлектронные системы. № 2. т.5. 2000 г. С. 64-68.
3. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. 512 с.: ил. (Сер. Радиолокация).
4. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. М., «Сов. радио», 1976, 352 с.