

І. Р. Пархомей, О. Е. Юшкевич[©]

СТРУКТУРА СИСТЕМИ РАДІОВИМІРЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЛОКАЦІЙНИМИ ЗАСОБАМИ

Анотація: У статті розглядається математична модель, яка описує процес функціонування системи радіобачення з багатопозиційним прийомом інформації в умовах складної сигнально-завадової обстановки, що дозволяє проводити кількісні оцінки ефективності обробки сигналів залежно від структури системи, технічних характеристик окремих її елементів та умов поширення радіохвиль в процесі формування результуючого траєкторного сигналу.

Ключові слова: система радіобачення з багатопозиційним прийомом інформації, синтезована антена решітка, роздільна здатність.

Вступ

Аналіз сучасного науково-методичного апарату формування та обробки радіолокаційної інформації дозволяє стверджувати, що синтез багатовимірних зображень високого розділення і якості в передній зоні огляду бортових засобів локації (БРЛЗ) систем радіобачення (СРБ) є нагальною науково-технічною проблемою.

Вирішення даної проблеми можливе за рахунок використання багатопозиційних радіолокаційних комплексів із синтезованою апертурою (РСА) до яких відносяться СРБ з дистанційним пілотуванням носіїв бортових засобів локації. Структурна схема вище визначеної системи наведена на рис. 1.

Постановка задачі

Метою даної роботи є розгляд структури моделі визначеної СРБ на предмет доцільності її використання при проведенні кількісних оцінок ефективності обробки траєкторних сигналів в залежності від геометрії польоту дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА), технічних характеристик окремих елементів системи, умов поширення радіохвиль в процесі формування радіолокаційної інформації.

Запропонована структура моделі СРБ складається з фізичних елементів, процесів, що відбуваються в них та математичних моделей елементів і процесів (рис.2). Об'єкти містять у собі всі можливі їхні

[©] І. Р. Пархомей, О. Е. Юшкевич

типи при заданому завданні. Залежно від завдання, змінюються можливі об'єкти радіобачення, їх кількість і характеристики. Об'єкти характеризуються фізичними властивостями, тобто типом об'єкта, їх функціональним станом і місцем розташування.

Кожний об'єкт у конкретному функціональному стані й місці розташування представляє один з можливих класів об'єктів, тобто i -й об'єкт з усіх класів ($i = 0, 1, 2, \dots, I$).

Так, той самий об'єкт у тому самому функціональному стані, але розташований в іншому місці, буде класифікований як інший об'єкт (під іншим номером).

Звичайно при радіобаченні класифікація об'єктів містить у собі завдання: виявлення, розпізнавання до типу й функціонального стану, а також визначення місця розташування. Завдання СРБ в цьому випадку полягає у формуванні траєкторного сигналу (синтезованої апертури), у якому укладена інформація про об'єкт, перетворення цього сигналу в зображення об'єкта з одночасною оцінкою його характеристик і класифікації об'єкта, тобто віднесення його до одного з I об'єктів заданої класифікації.

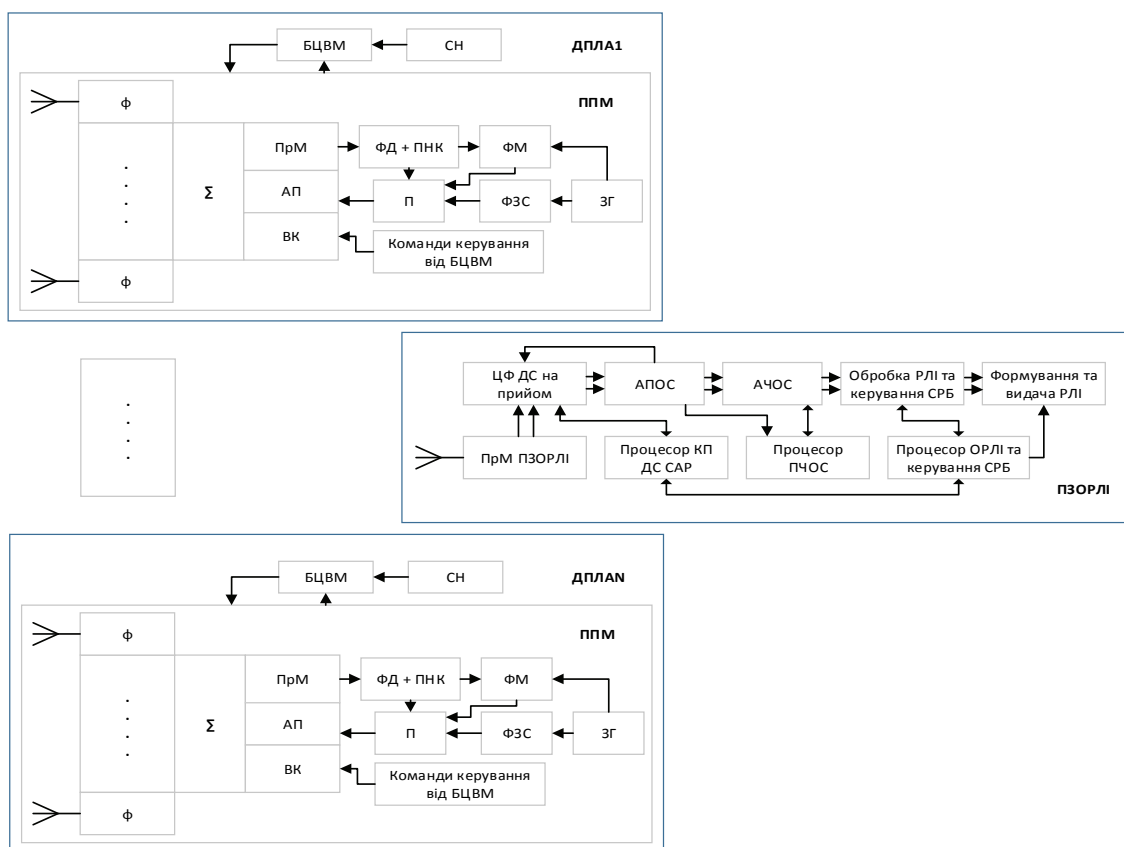


Рис. 1. Структурна схема СРБ з багатопозиційним прийомом РЛІ БРЛЗ групи радіокерованих ДПЛА

де АП – антенний перемикач; ВК – вузол управління; ФД – фазовий детектор; ПНК – перетворювач напруга-код; П – підсилювач; ФМ – фазовий маніпулятор; ФЗС – формувач зондуючого сигналу; ЗГ – задаючий генератор; ЦФ ДС – цифрове формування діаграми спрямованості; АПОС – адаптивна просторова обробка сигналів; АЧОС – адаптивна часова обробка сигналів; ПЧОС – просторово-часова обробка сигналів; КП ДС – керування променем діаграми спрямованості; СН – система навігації; ОРЛІ – обробка радіолокаційної інформації.

Розгляд структури моделі визначеної СРБ

Виходячи з такої логіки розв'язання завдань радіобачення кожний об'єкт у СРБ характеризується своєю функцією відбиття, яка, у свою чергу, є результатом опромінення об'єкта електромагнітним полем зондуючого сигналу (передавача) системи. Простір функцій відбиття \mathcal{S}_i , однозначно відповідає простору об'єктів, тобто i -й об'єкт має функцію відбиття \mathcal{S}_i , яка відрізняється від функції відбиття j -го об'єкта: $\mathcal{S}_i \neq \mathcal{S}_j$. Функція відбиття $\mathcal{S}_i(\bar{x})$, де $\bar{x} = (x, y, z, t)$, являє собою комплексну функцію, відповідну до локальної матриці розсіювання об'єкта в заданому поляризаційному базисі при всіх інших заданих характеристиках поля опромінення.



Рис. 2. Структура моделі СРБ з багатопозиційним прийомом РЛІ БРЛЗ групи радіокерованих ДПЛА

де ПО – поле опромінювання об'єкта спостереження; ФВ – функція віддзеркалення; СР – середовище розповсюдження електромагнітної хвилі;

ТС – траєкторний сигнал; СПО – система первинної обробки сигналу;

СЗО – сигнал зображення об'єкта; ВР – вихідний сигнал; ВП – вирішуючий пристрій.

Поле опромінення в результаті розсіювання на об'єкті формує поле віддзеркалення поблизу об'єкта, в якому міститься інформація щодо функції віддзеркалення цього об'єкту.

Надалі будемо вважати, що параметри поля опромінення, поляризація сигналу, кути опромінення об'єкту й приймання відбитої хвилі відомі. У якості характеристики об'єкта в цьому випадку виступає функція відбиття. Часто її називають локальною функцією розсіювання, як залежність зміни в часі амплітуди й фази хвилі, що віддзеркалена від об'єкту, окремими його елементами з координатами (x, y, z) .

Відбите від об'єкта поле поширюється до антен БРЛЗ СРБ в середовищі поширення, яке можна вважати лінійною системою. Поля поблизу антен БРЛЗ у цьому випадку можна описати як результат проходження відбитої хвилі через лінійну систему з імпульсною перехідною характеристикою $h(\bar{x})$. Антени БРЛЗ перебувають на носіях, що рухаються (ДПЛА), отже, є випадкові відхилення від заданої траєкторії (траєкторні нестабільності) і, крім того, існують неоднорідності параметрів середовища поширення. Тому характеристика $h(\bar{x})$ має як регулярну $h_p(\bar{x})$, так і випадкову $h_{\text{вип}}(\bar{x})$ складові:

$$h(\bar{x}) = h_p(\bar{x}) + h_{\text{вип}}(\bar{x}).$$

Прийняте антеною кожної БРЛЗ поле на всій траєкторії її носія РЛС починає процес формування складової траєкторного сигналу, який містить у собі також різного роду завадові сигнали від сторонніх джерел перешкод і внутрішні шуми приймальних трактів радіолокаційних систем: $U_{Ti}(\bar{x}) = s_{Ti}(\bar{x}) + n(\bar{x})$. Звичайно внутрішні шуми є білими, а завади - корельовані в просторі й часі.

В наведеній на рис.1 схемі СРБ із модульним принципом формування діаграми спрямованості (ДС) на прийом, обробка прийнятих сигналів реалізується в наступній послідовності: спочатку проводиться аналогове підсумовування на НВЧ сигналів у кожному з модулів (БРЛЗ системи) синтезованої антенної решітки (САР), потім реалізується звичайна фільтрова обробка прийнятих коливань у кожному модулі (підсилення на НВЧ, перетворення частоти, підсилення на проміжній частоті), після чого за допомогою фазового детектора (ФД) реалізується формування квадратурних складових I і Q сигналів на відеочастоті. Надалі квадратурні складові прийнятих сигналів перетворюються в цифрову форму, надаються до фазового маніпулятора та

після підсилення, ретранслюються до ПЗОРЛІ з метою формування результуючого траєкторного сигналу.

Таким чином, на кожному БРЛЗ реалізується цифрова передача радіолокаційної інформації до переваг якої відносяться: висока точність передачі й відображення інформації, практично недосяжна при сучасній технології в аналогових системах; висока завадостійкість, можливість багаторазової ретрансляції й перезапису інформації; мала питома витрата смуги частот; зручність використання часового розподілу каналів.

Схема цифрового формування ДС на прийом у пункті збору та обробки радіолокаційної інформації (ПЗОРЛІ) (рис. 3) вирішує наступні завдання: прийом й запам'ятовування вхідних сигналів підрешіток (і-х БРЛЗ) в цифровому вигляді у кожному інтервалі часової дискретизації; обчислення й зберігання вагових коефіцієнтів; формування однопromеневої або багатопromеневої ДС шляхом вагової суперпозиції комплексних вхідних сигналів.

Для цифрового формування ДС звичайно використовується спосіб, заснований на введенні зрушень фази в сигнали, прийняті елементами решіток (у цьому випадку підрешітками).

Нехай комплексна амплітуда просторово-часового сигналу на виході m -го елемента лінійної АР (до ПНК) записується у вигляді

$$y_m(t, \theta) = y_m(t) \exp[-j(2\pi / \lambda)md \sin \theta] \quad (1)$$

Якщо необхідно сформувати промінь ДС у напрямку θ_α , то вихідний сигнал решітки визначається наступним чином:

$$Y(t, \theta, \theta_\alpha) = \sum_{m=1}^M Y_m(t, \theta) W_{m\alpha}, \quad (2)$$

$$W_{m\alpha} = \exp[j(2\pi / \lambda)md \sin \theta_\alpha]$$

де $W_{m\alpha}$ – комплексний ваговий множник (множник решітки), розрахований процесором формування ваг (рис. 3), який визначає напрямок максимуму променю ДС.

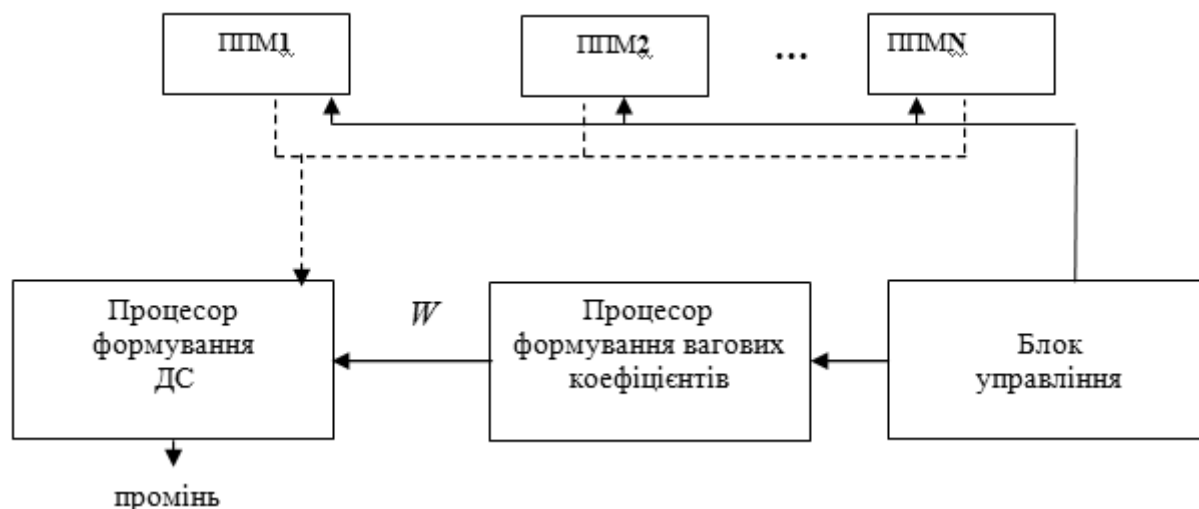


Рис. 3. Процесор формування ДС САР СРБ на прийом

Вираз, аналогічний (2) для двовимірних решіток записується у вигляді

$$Y(t, \theta, \theta_\alpha, \varphi, \varphi_\alpha) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Y_{mn}(t, \theta, \varphi) W_{mn\alpha}, \quad (3,4)$$

$$W_{mn\alpha} = \exp[j(2\pi/\lambda)md_x \sin \theta_\alpha \cos \theta_\alpha] \times \exp[j(2\pi/\lambda)nd_y \sin \theta_\alpha \sin \varphi_\alpha].$$

де $W_{mn\alpha}$ – ваговий множник, обумовлений напрямком максимуму ДС плоскої АР; $\theta_\alpha, \varphi_\alpha$ – кути сканування, відлічувані від нормалі до площини решітки (рис. 4).

Вираз (2) являє собою дискретне перетворення Фур'є від М-мірної вибірки вхідних сигналів. Застосування алгоритмів дискретного перетворення Фур'є (в тому числі алгоритмів БПФ) дозволяє сформувати групу променів, максимальна кількість яких дорівнює числу М елементів лінійних решіток.

Аналогічні результати можуть бути отримані й для двовимірної плоскої АР шляхом двовимірного перетворення Фур'є відповідно до виразів (3) і (4).

Розглянемо безпосередньо задачу цифрового формування ДС у квадратурах, коли вихідні сигнали елементів АР для кожного інтервалу часової дискретизації kt_d надаються у вигляді

$$Y_{mn}(kt_d) = Y_{mn}(k) + jy_{smn}(k), \quad (5)$$

де $y_{smn}[k]$ – косинусна складова вхідного сигналу; $y_{smn}[k]$ – синусна складова вхідного сигналу.

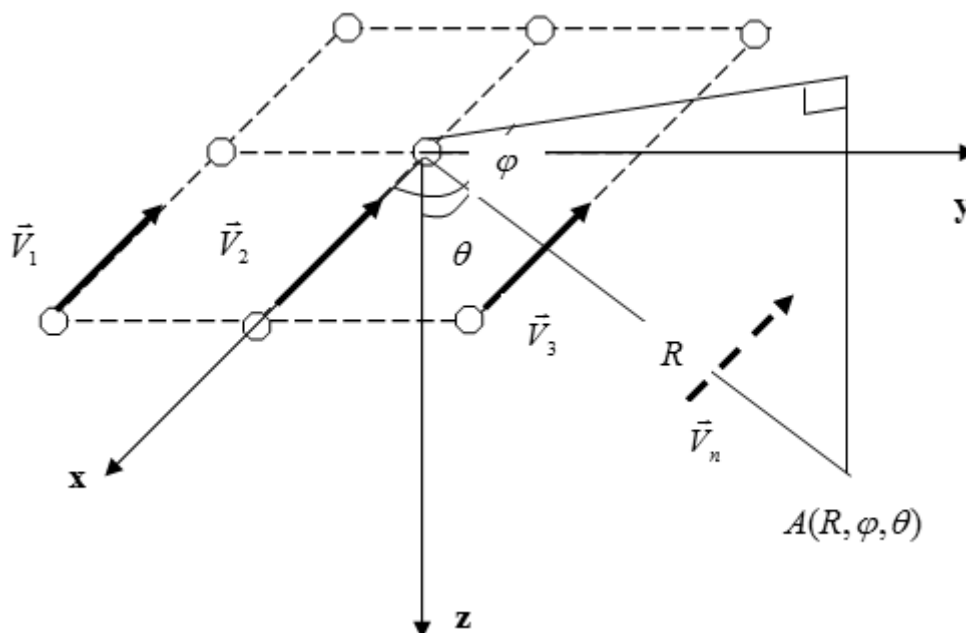


Рис. 4. Ескіз синтезованої прямокутної АР при керуванні польотом групи ДПЛА

Аналогічно комплексні вагові множники, однакові для всіх елементів часової дискретизації в обраному напрямку mn , також надаються у вигляді двох квадратурних складових і перетворюються в цифрову форму, тобто

$$W_{mn} = W_{cmn} + jW_{smn} \quad (6)$$

В процесі цифрової згортки при формуванні ДС для кожної пари (mn) повинна бути отримана результуюча напруга в квадратурах:

$$U_{mn}(k) = Y_{mn}(k)W_{mn}^* = u_{cmn}(k) + ju_{smn}(k), \quad (7)$$

де

$$\begin{aligned} u_{cmn}(k) &= y_{cmn}(k)w_{cmn} + y_{smn}(k)w_{smn}; \\ u_{smn}(k) &= y_{smn}(k)w_{cmn} - y_{cmn}(k)w_{smn}; \end{aligned}$$

а для одержання одного значення сигналу на виході двовимірної решітки:

$$U_{\Sigma}(k) = \sum_{mn} u_{cmn}(k) + j \sum_{mn} u_{smn}(k) \quad (8)$$

Сформований траєкторний сигнал служить основним джерелом інформації для вирішення задачі класифікації об'єктів, тобто виявлення, розпізнавання й визначення місця розташування. Надалі на основі синтезу оптимального класифікатора задача розподіляється на два етапи: первинну обробку – одержання радіолокаційного зображення; вторинну обробку – вирішення завдання класифікації об'єкта за його

зображенням. Такий розподіл обумовлено декількома причинами. Траєкторний сигнал несе в собі велику кількість неінформативних параметрів і первинна обробка усуває цю надлишкову інформацію. Крім того, первинна обробка використовує всю можливу апіорну інформацію, загальну для всіх об'єктів. В результаті вона зберігає достатню статистику для вирішення необхідних завдань класифікації.

Поділ класифікації на два етапи дозволяє на другому етапі використовувати апіорну інформацію про конкретний клас об'єкта й у тому числі унікальні можливості оператора, який може використовувати складну логічно-інтуїтивну апіорну інформацію при аналізі зображення об'єкта. Сучасні експертні (інтелектуальні) системи не можуть замінити повною мірою досвідченого оператора, який завжди буде ухвалювати остаточне рішення. Первинна обробка траєкторного сигналу зводиться до його пропущення через лінійну систему з імпульсною перехідною характеристикою $h_p^*(\bar{x})$, що забезпечує на виході одержання перетвореної функції відбиття і-го об'єкта $\mathcal{G}_{Ci}(\bar{x})$, тобто радіозображення об'єкта. Вторинна обробка забезпечує кореляційну обробку радіозображення $\mathcal{G}_{Ci}(\bar{x})$ з опорними функціями відбиття \mathcal{G}_j^* . Максимум кореляції відповідає збігу класів об'єктів зображення й опорної функції $j = i$. Це відповідає рішення, що об'єкт належить до класу i , тому що кожний клас є ізольованою від інших точкою в просторі рішень.

Висновок

1. Визначена структура моделі СРБ з багатопозиційним прийомом РЛІ БРЛЗ групи радіокерованих ДПЛА дозволяє проводити кількісні оцінки ефективності обробки сигналів в залежності від геометрії польоту ДПЛА, технічних характеристик окремих елементів системи, умов поширення радіохвиль в процесі формування радіолокаційної інформації.

2. Запропонована структура визначеної СРБ дозволяє значно спростити апаратну частину БРЛЗ окремої ДПЛА системи.

3. Структура системи дозволяє забезпечити необхідну швидкодію спеціального процесора формування сумарної ДС у СРБ за рахунок реалізації паралельного обчислювального процесу значення сигналу на виході синтезованої антенної решітки у визначені проміжки часу.

Список використаних джерел

1. Кондратенков Г.С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли / Г.С. Кондратенков, А.Ю. Фролов — М.: «Радиотехника», 2005 — 368 с.
2. Радиолокационные станции бокового обзора / А.П. Реутов, Б.А. Михайлов, Г.С. Кондратенков, Б.В. Бойко. — М.: Сов. радио, 1970 — 360 с.
3. Harger R. Synthetic aperture radar system / R. Harger. — New-York, London, Academic Press, 1970 — 240 p.
4. Кондратенков Г. Обработка информации когерентными оптическими системами. / Г. Кондратенков. — М.: Сов. радио, 1972 — 208 с.
5. Радиолокационные станции обзора Земли / Г.С. Кондратенков, В. А. Потехин, А.П. Реутов, Ю.А. Феоктистов. — М.: Радио и связь, 1983 — 272 с.
6. Саблин В. Разведывательно-ударные комплексы и радиолокационные системы наблюдения земной поверхности / В. Саблин. — М.: Радиотехника, 2002 — 181 с.
7. Неронский Л. Б. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны : учеб. пособие / Л. Б. Неронский, В. Ф. Михайлов, К. В. Брагин — Санкт-Петербург.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 1999 — 220 с.