

ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРУ ВИСОТИ ОБ'ЄКТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ РАДІОБАЧЕННЯ З ДИСТАНЦІЙНИМ ПІЛОТУВАННЯМ НОСІЇВ БОРТОВИХ ЗАСОБІВ ЛОКАЦІЇ

У статті розглядаються механізми реалізації інтерферометричного методу виміру висоти об'єктів спостереження в системах радіобачення з багатопозиційним прийомом інформації за рахунок використання радіокерованих дистанційно пілотованих літальних апаратів.

Ключові слова: система радіобачення з багатопозиційним прийомом інформації, радіолокаційні системи з синтезованою апертурою, інтерферометричний метод

Вступ. Аналіз сучасного науково-методичного апарату формування та обробки радіолокаційної інформації дозволяє стверджувати, що основною проблемою реалізації інтерферометричного режиму в радіолокаційних системах із синтезованою апертурою є усунення впливу рослинності на земній поверхні, яка значно спотворює характеристики рельєфу. Зниження впливу рослинності досягається переходом у довгохвильові діапазони роботи радіолокаційних систем із синтезованою апертурою (РСА). Однак для одержання такої ж точності, як у сантиметровому діапазоні, потрібне збільшення бази інтерферометра пропорційно збільшенню довжини хвилі [1-10].

Вирішення даної проблеми можливе за рахунок використання багатопозиційних РСА, до яких відносяться СРБ з дистанційним пілотуванням радіокерованих носіїв бортових засобів локації, відстань між якими може змінюватися в залежності від тактичної завдання системи. Структурна схема вище визначеної системи наведена на рис. 1.

Метою даної роботи є розгляд шляхів реалізації інтерферометричного методу виміру висоти об'єктів спостереження в системах радіобачення з багатопозиційним прийомом інформації за рахунок використання радіокерованих дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА), які є носіями бортових радіолокаційних засобів (БРЛЗ).

Відомо [1], що данні для формування радіолокаційного зображення (РЛЗ) у звичайному режимі РСА одержують у вигляді розподілу ефективної площі розсіювання (ЕПР) об'єкта в координатах «затримка - доплерівська частота». Далі, вважається, що земна поверхня є площиною та перераховують координати відповідно в «дальність - азимут». Рельєф місцевості спотворює масштаб РЛЗ в районі значних змін висоти поверхні. При малих змінах висоти ці викривлення невеликі, що не дозволяє визначити їхньої характеристики по викривленнях масштабу. Висоту окремих зосереджених об'єктів можна визначити за їхніми радіолокаційними тінями. Довжина тіні при малих кутах візування φ_H дорівнює

$$l_\tau = h / \varphi_H \quad (1)$$

Однак комбінація плоскої поверхні з малими кутами візування зустрічається на практиці рідко. У той же час інформація про рельєф місцевості, в тому числі про малі зміни висоти поверхні, є важливою як для складання цифрових карт місцевості, так і для розвідки ряду об'єктів.

Для одержання інформації про зміну висоти поверхні об'єктів в системах радіобачення (СРБ) використовують інтерферометричний метод, при якому вимірюється кут місця кожного елемента розділення за дальністю й азимутом за допомогою спеціальною антени - інтерферометра. При використанні звичайної антени точність виміру кута місця φ визначається шириною діаграми спрямованості (ДС) антени в кутомісцевій площині при роботі на приймання й передачу Φ_0 та відношенням сигнал/шум q :

$$\sigma_\varphi = \frac{\Phi_0}{\sqrt{q}}$$

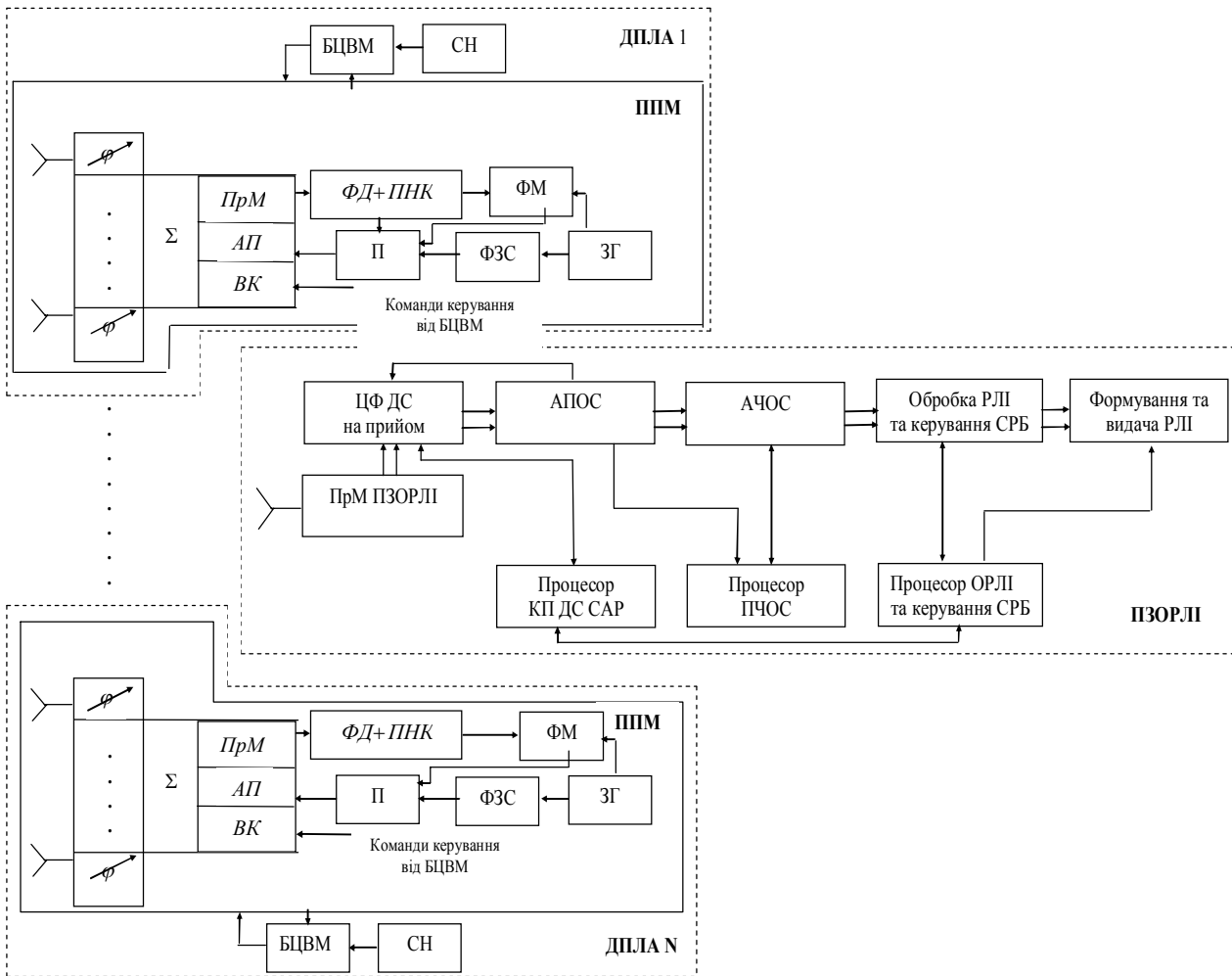


Рис.1. Структурна схема СРБ з багатопозиційним прийомом РЛІ БРЛЗ

групи радіокерованих ДПЛА,

де АП – антенний перемикач; ВК – вузол управління; ФД – фазовий детектор; ПНК – перетворювач напруга-код; П – підсилювач; ФМ – фазовий маніпулятор; ФЗС – формувач зонduючого 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

Висота рельєфу h визначається кутом φ , вимірюваним антеною (рис. 2):

$$h = \frac{\varphi R_H}{\cos \varphi_H} \quad (2)$$

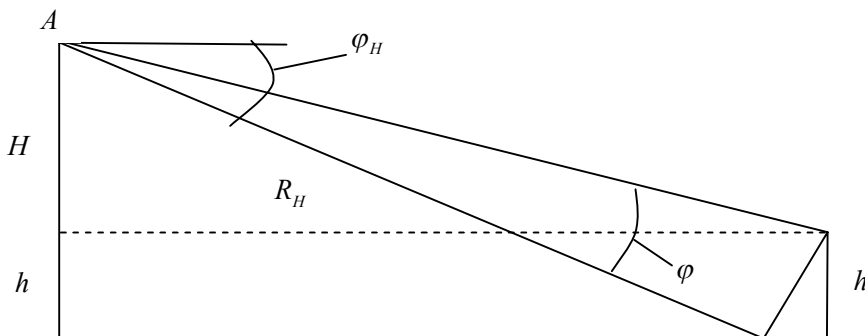


Рис. 2 Система координат при вимірі рельєфу місцевості

Точність виміру висоти рельєфу в цьому випадку рівна

$$\sigma_H = \frac{\sigma_\varphi R_H}{\cos \varphi_H} = \frac{\Phi_0 R_H}{\sqrt{q} \cos \varphi_H} \quad (3)$$

Структура СРБ з дистанційним пілотуванням носіїв бортових засобів локації дозволяє синтезувати інтерферометр із необхідною для отримання якісного зображення базою. Синтезований інтерферометр формує в кутомісцевій площині багатопроменеву ДС (рис. 3), при цьому ширина кожного променя визначається базою інтерферометра d_I в певний момент часу спостереження, а число променів - шириною ДС окремої антени БРЛЗ.

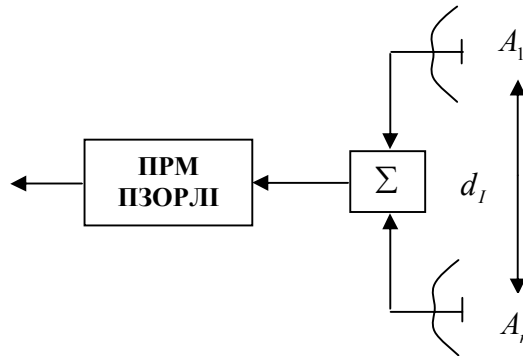


Рис. 3 Структура інтерферометрической РСА

Сигнали, прийняті відповідно першою й n -ою антенами БРЛЗ, дорівнюють:

$$u_1 = A \sin \omega t, \quad u_2 = A \sin(\omega t + \psi).$$

Сумарний сигнал детектора на виході приймача (ПРМ ПЗОРЛІ)

$$u_\Sigma = 2A \cos(\psi / 2)$$

Фаза сигналу інтерферометра залежить від кута приходу хвилі φ :

$$\psi = \frac{2\pi d_I}{\lambda} \sin \varphi \quad (4)$$

Вимірюючи фазу ψ , можна визначити кут φ . Для малих кутів φ , коли $\sin \varphi = \varphi$, кут у центральному промені

$$\varphi = \frac{\lambda \psi}{2\pi d_I} \quad (5)$$

Точність виміру висоти h РСБ синтезованим інтерферометром визначається точністю виміру фази $\sigma_\psi = 1/\sqrt{q}$:

$$\sigma_h = \frac{\lambda R_H}{2\pi \sqrt{q} d_I \cos \varphi_H} \quad (6)$$

Точність виміру РСБ інтерферометра може бути збільшена в два рази, якщо випромінювати сигнал по черзі з антен верхнього й нижнього БРЛЗ (відносно ПЗОРЛІ) (рис. 3).

Нулі сумарного сигналу (ДС) будуть повторюватися при фазах $\psi = \pi(2n+1)$, що відповідає кутам

$$\varphi_0 = \frac{\lambda}{2d_I} (2n+1) \quad (7)$$

де n - будь-яке ціле число.

В найпростішому інтерферометричному режимі РСА на зображенні місцевості в координатах «дальність - азимут» виводять лінії рівних кутів φ .

Відстань між лініями характеризує зміна кута місця й відповідно висоти рельєфу місцевості. При вимірі висоти рельєфу використовують більш складні алгоритми. При розташуванні бази інтерферометра в кутомірній площині під кутом φ_d (рис. 4) фаза сигналу має вигляд

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} (R_H - r) = \frac{2\pi}{\lambda} (R_H - \sqrt{R_H^2 + d_I^2 + 2R_H d_I \sin \varphi}) \quad (8)$$

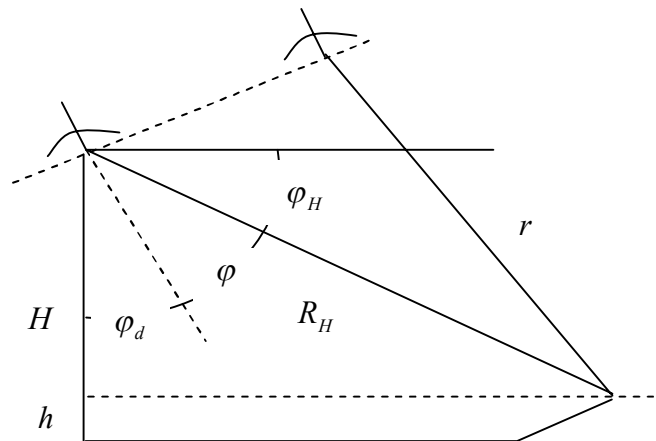


Рис.4 Система координат в інтерферометрической РСА

Кут φ звичайно малий і визначається наступною формулою (за результатами виміру фази ψ):

$$\varphi = \frac{\lambda^2 \psi^2}{8\pi^2 R_H d_I} - \frac{\lambda \psi}{2\pi d_I} - \frac{d_I}{2R_H} \quad (9)$$

Відстань R_H визначається затримкою сигналу. Обчисливши кут φ і знаючи кут φ_d , визначається висота рельєфу:

$$h = H - R_H \cos(\varphi + \varphi_d) \quad (10)$$

Точність виміру висоти визначається точністю виміру всіх параметрів ($H, R_H, \varphi, \varphi_d$), що приводить до значних помилок.

У більшості завдань необхідна наявність інформації про зміну висоти (від одного елемента розділення до іншого) у межах невеликого кадра РЛЗ. Іноді такий режим називають диференціальним. У цьому випадку середньоквадратичне відхилення (СКВ) виміру висоти рельєфу при постійній висоті польоту ДПЛА (H) визначається точністю виміру фази інтерферометричного сигналу й при $\varphi_d = \varphi_H - \pi/2$ має вигляд

$$\sigma_h = \frac{\sigma_\varphi R_H}{\cos \varphi_d} = \sigma_\psi \frac{\lambda R_H}{2\pi d_I \cos \varphi_d} = \frac{\lambda R_H}{2\pi \sqrt{q} d_I \cos \varphi_d} \quad (11)$$

Підвищення точності виміру висоти в СРБ досягається шляхом: коригування бази інтерферометра; збільшення відношення сигнал/шум у каналі виміру фази інтерферометричного сигналу; використання просторово-часового фільтра спостереження за фазою сигналу.

Висновки.

1. Для одержання інформації про висоту рельєфу місцевості й об'єктів у визначеній СРБ потрібне введення додаткового каналу виміру кута місця кожного елемента розділення за дальністю й азимут.

2. Структура визначеної СРБ дозволяє синтезувати інтерферометр із коригованою базою у визначені моменти часу. Фаза сигналу синтезованого інтерферометра несе інформацію про висоту рельєфу.

3. Для підвищення точності виміру висоти в визначених СРБ необхідне збільшення відношення сигнал/шум в елементі розділення та використання оптимальних методів виміру фази сигналу синтезованого інтерферометра.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кондратенков Г.С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учеб. пособ. для вузов / под ред. Г.С. Кондратенкова, А.Ю. Фролов. — М.: «Радиотехника», 2005. - 368 с.
2. Радиолокационные станции бокового обзора / Реутов А.П., Михайлов Б.А., Кондратенков Г.С, Бойко Б.В. - М.: Сов. радио, 1970. - 386 с.
3. Harger R.O. Synthetic aperture radar system. - New-York, London, Academic Press, 1970.
4. Кондратенков Г.С. Обработка информации когерентными оптическими системами / Г.С. Кондратенков - М.: Сов. радио, 1972. - 321 с.
5. Кондратенков Г.С. Ультразвуковой спектроанализатор радиолокационных сигналов с использованием явления дифракции света на ультразвуковых волнах в прозрачной среде, возбуждаемых радиолокационными сигналами. Авторское свидетельство № 21080 заявлено 08.09.59 г.
6. Кондратенков Г.С. Некоторые вопросы теории оптической обработки радиолокационных сигналов / Г.С. Кондратенков // Труды ВВИА им. Н.Е. Жуковского. - 1962. - № 944 - С. 65-73.
7. Радиолокационные станции обзора Земли / Потехин В.А., Реутов А.П., Феоктистов Ю.А.; под. ред. Г.С. Кондратенкова. - М.: Радио и связь, 1983. - 218 с.
8. Саблин В.Н. Разведывательно-ударные комплексы и радиолокационные системы наблюдения земной поверхности / Саблин В.Н. - М.: Радиотехника, 2002. - с. 258.
9. Неронский Л.Б. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны / Неронский Л.Б., Михайлов В.Ф., Брагин КВ. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 1999. - с. 234.
10. Вакин С.А. Основы радиоэлектронной борьбы / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. - М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1998. - с. 366.

Надійшла: 29.09.2012р.

Рецензент: д.т.н., проф. Єрохін В.Ф.