

## СПОСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ 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].

**Мета.** Розв'язання комплексу науково-технічних питань, пов'язаних з реалізацією інтерферометричного методу виміру висоти об'єктів спостереження в системах радіобачення з багатопозиційним прийомом інформації.

**Об'єкт дослідження.** Сучасні радіоелектронні засоби розташовані вимірювання параметрів об'єкту.

**Предмет дослідження.** Інтерферометричний метод вимірювання.

**Постановка задачі.** Вирішення задачі можливе за рахунок використання багатопозиційних РСА, до яких відносяться системи радіобачення (СРБ) з дистанційним пілотуванням радіокерованих носіїв бортових засобів локації, відстань між якими може змінюватися в залежності від тактичної задачі системи

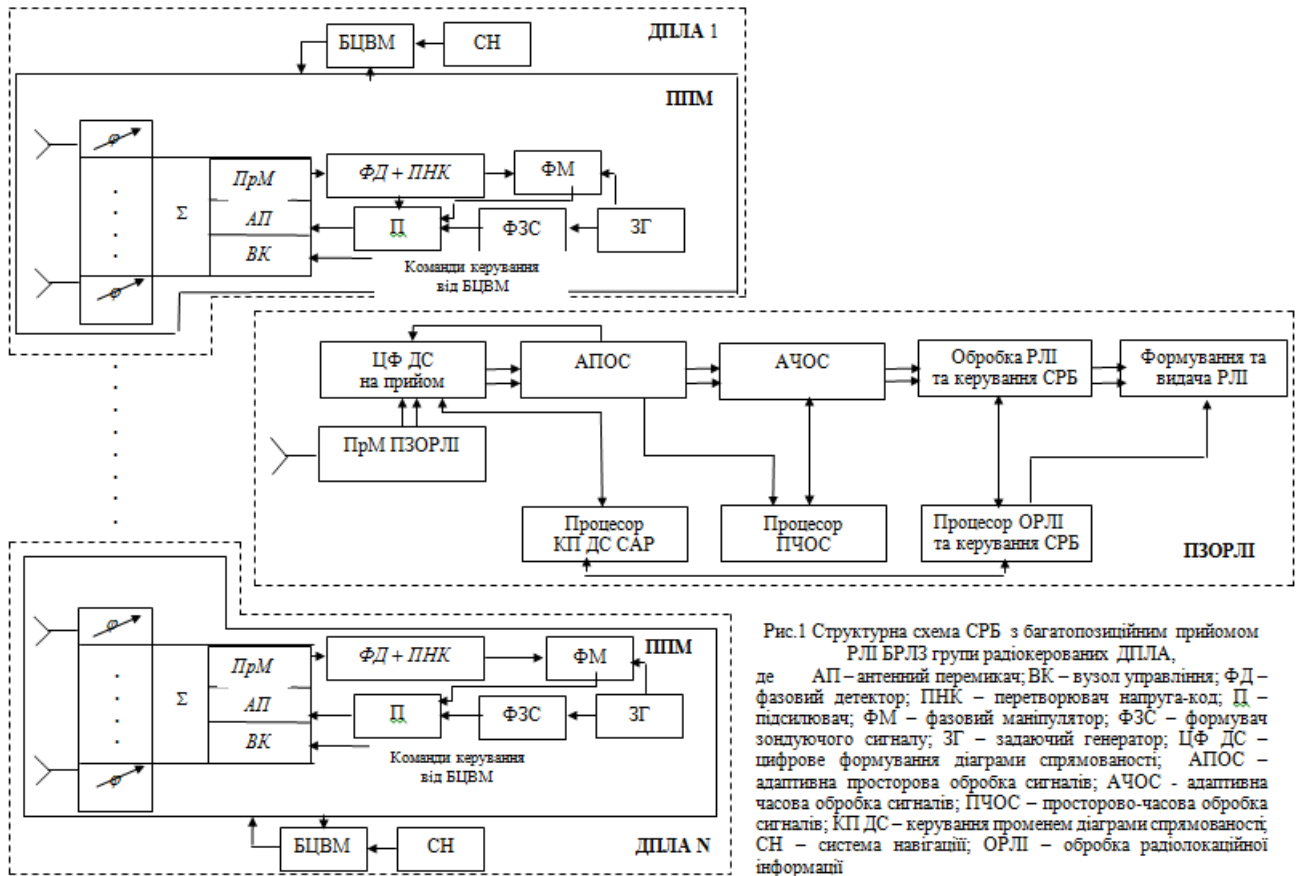
### Основна частина

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 тіннями. Довжина тіні при малих кутах візування  $\varphi_H$  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 [2,3]. Структурна схема визначеної системи наведена на рис.1.

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 спеціальної цифрової антенної решітки– інтерферометра [4,5].



При використанні звичайної антени точність виміру кута місця  $\varphi$  визначається шириною діаграми спрямованості (ДС) антени в кутомісцевій площині при роботі на прийманні й передачу  $\Phi_0$  та відношенням сигнал/шум  $q$ :

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

Висота рельєфу  $h$  визначається кутом  $\varphi$ , вимірюваним антеною (рис.2):

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

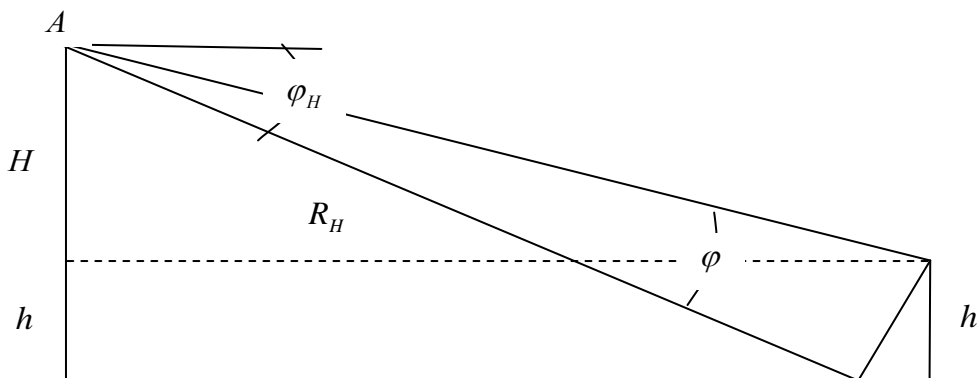


Рис. 2 Система координат при вимірі рельєфу місцевості

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.

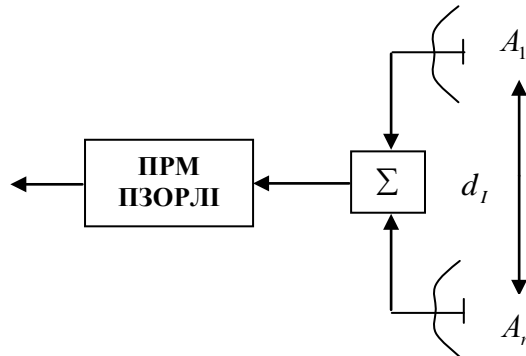


Рис.3. Структура інтерферометричної РСА

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  $\varphi$ :

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

Вимірюючи фазу  $\psi$ , можна визначити кут  $\varphi$ . Для малих кутів  $\varphi$ , 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  $\varphi$ .

Відстань між лініями характеризує зміна кута місця й відповідно висоти рельєфу місцевості. При вимірі висоти рельєфу використовують більш складні алгоритми[6-8]. При розташуванні бази інтерферометра в кутомірній площині під кутом  $\varphi_d$  (рис.4) фаза сигналу має вигляд

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

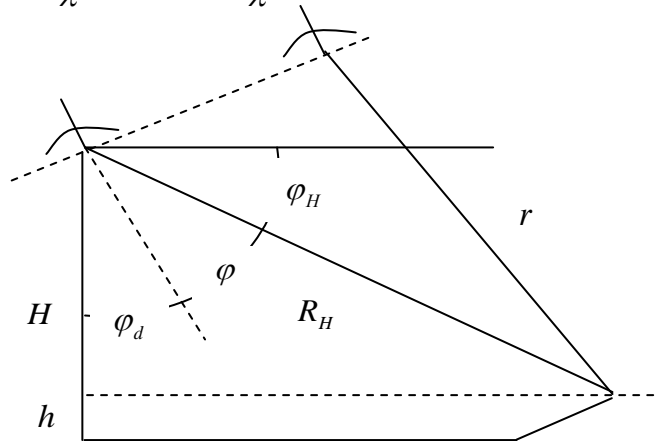


Рис.4. Система координат в інтерферометричній РСА. Кут  $\varphi$  звичайно малий і визначається наступною формулою ( за результатами виміру фази  $\psi$  ):

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

Відстань  $R_H$  визначається затримкою сигналу. Обчисливши кут  $\varphi$  і знаючи кут  $\varphi_d$ , 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[9,10]. 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 азимутом.

2. Структура визначеної СРБ дозволяє синтезувати інтерферометр із коригованою базою увизначені 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. Рембовский А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Ашихмин А.В., Козьмин В.А.; под ред. А.М. Рембовского. - М.: Горячая линия-Телеком, 2006. - 492 с.
2. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / Ратынский М.В. - М.: Радио и связь, 2003. - 200 с.
3. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер.с англ. — М.: Мир, 1990. — 584 с.
4. Дрогалин В.В. Алгоритмы оценивания угловых координат источников излучений, основанные на методах спектрального анализа. /В.В. Дрогалин и др. // Успехи современной радиоэлектроники. - 1998. - №2. - С.3-17.
5. Джонсон Д.Х. Применение методов спектрального оценивания к задачам определения угловых координат источников излучения.// ТИИЭР, 1982. - Т.70, №9.
6. Добырин В.В. Эффективность применения сверхразрешающих спектральных оценок в бортовых угломерных фазированных антенных решетках /В.В. Добырин, А.В. Немов // Радиотехника. - 1999. - №9. - С. 65-67.
7. Гершман А.Б. Адаптивное разрешение некоррелированных источников по координате. / А.Б. Гершман, А.Т. Ермолаев, А.Г. Флакман // Изв. вузов. Радиофизика. - 1988. - №8. - С. 941-946.
8. Леховицкий Д.И. Разновидности сверхразрешающих анализаторов пространственно-временного спектра случайных сигналов на основе обесцараживающих адаптивных решетчатых фильтров / Д.В. Атаманский, И.Г. Кириллов, Д.И. Леховицкий // Антенны. - 2000. - №2. - С. 40-54.
9. Мюнье Ж. Делиль Ж.Ю. Пространственный анализ в пассивных локационных системах с помощью адаптивных методов // ТИИЭР. 1987. - Т. 75, № 11. - С. 21 – 37;
10. Коробков М. А. Корреляционные методы пеленгования источников излучения [Текст] / М. А. Коробков // Молодой ученый. - 2014. - №13. - С. 55-58.

Надійшла 24.11.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Дружинін В.А.