

СПОСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ ЛОКАЦІЇ

Parkhomey I. R., Korshun N. V. The way for implementing interferometric method for determining the parameters of the object location. At the present stage of development of the electronics and the tendency to complicate electromagnetic situation, the role of radio monitoring as a tool to ensure its control. Among the main tasks of the central place occupies radio monitoring direction finding radio sources, the most accurate determination of their coordinates on a scale close to real time. These cases include intentional interference from different points in space with certain radio-electronic means. These explains the relevance of search and research the most effective algorithms of information processing for radio monitoring systems. To this end, this paper presents the results of the experiment on which offer the most effective method of radio direction finding systems for radio monitoring. The same conditions of the experiment and analysis of the results dependencies direction finding techniques studied show significant advantage Berg's linear prediction algorithm in comparison with other methods studied.

Keywords: digital antenna array, the radiation source, interferometric method, spectral function, electronic radio equipment, direction finding

Пархомей І. Р., Коршун Н. В. Спосіб реалізації інтерферометричного методу визначення параметрів об'єкту локації. Розглянуті питання радіомоніторингу електромагнітної обстановки і пеленгації джерел радіовипромінювання, максимально точного визначення їх координат в масштабі часу близькому до реального. До таких випадків відносяться навмисні завади, що створюються з різних точок простору певними радіоелектронними засобами. У статті представлені результати проведеного експерименту, на основі яких запропонований найбільш ефективний метод пеленгації джерел радіовипромінювання для систем радіомоніторингу.

Ключові слова: цифрова антена решітка, джерело радіовипромінювання, інтерферометричний метод, спектральна функція, радіоелектронний засіб, пеленгація

Пархомей И. Р., Коршун Н. В. Способ реализации интерферометрического метода определения параметров объекта локации. Рассмотрены вопросы радиомониторинга электромагнитной обстановки и пеленгация источников радиоизлучения, максимально точного определение их координат в масштабе времени близкому к реальному. К таким случаям относятся умышленные помехи, создаваемые с разных точек пространства определенными радиоэлектронными средствами. В статье представлены результаты проведенного эксперимента, на основе которых предложен наиболее эффективный метод пеленгации источников радиоизлучения для систем радиомониторинга.

Ключевые слова: цифровая антенная решетка, источник радиоизлучения, интерферометрический метод, спектральная функция, радиоэлектронное средство, пеленгация

1. Вступ і постановка задачі

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. 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

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 перераховуються 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 їхні характеристики по викривленнях масштабу. 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 і задачі дослідження – 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’єктом дослідження є сучасні радіоелектронні засоби вимірювання параметрів об’єкту.

2. Визначення параметрів об’єкту

Висоту окремих зосереджених об’єктів можна визначити за їхніми радіолокаційними тіннями. Довжина тіні при малих кутах візування φ_H дорівнює

$$l_\tau = h / \varphi_H.$$

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 в роботі [11].

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 φ визначається шириною діаграми спрямованості (ДС) антени в кутомісцевій площині при роботі на приймання й передачу Φ_0 та відношенням сигнал/шум q :

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

Висота рельєфу h визначається кутом φ , вимірюваним антеною (Рис. 1):

$$h = \frac{\varphi R_H}{\cos \varphi_H}$$

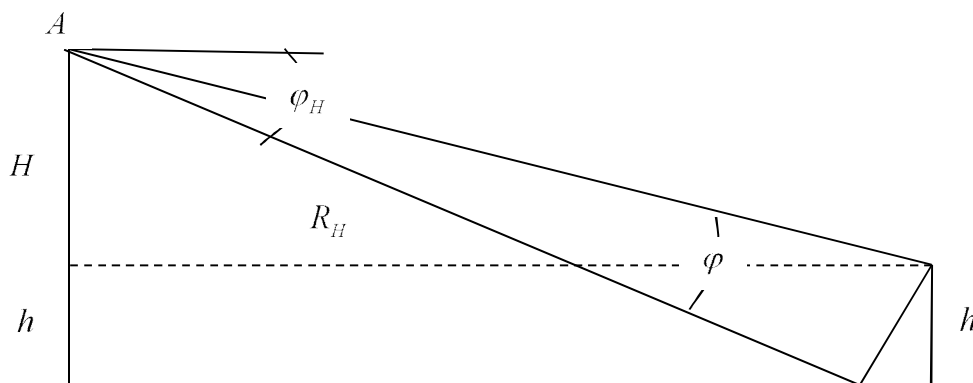


Рис. 1. Система координат при вимірі рельєфу місцевості

Точність виміру висоти рельєфу в цьому випадку дорівнює

$$\sigma_H = \frac{\sigma_\varphi R_H}{\cos \varphi_H} = \frac{\Phi_0 R_H}{\sqrt{q} \cos \varphi_H}.$$

3. Обґрунтування структури системи радіобачення

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. 2), при цьому ширина кожного променя визначається базою інтерферометра d_I в певний момент часу спостереження, а число променів – шириною ДС окремої антени бортового радіолокаційного засобу (БРЛЗ).

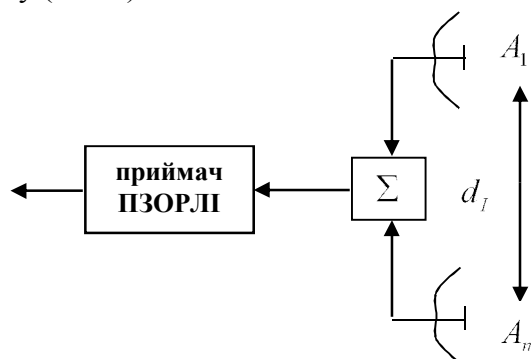


Рис. 2. Структура інтерферометричної РСА

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 пункту збору та обробки радіолокаційної інформації (ПЗОРЛІ)

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

Фаза сигналу інтерферометра залежить від кута приходу хвилі φ :

$$\psi = \frac{2\pi d_I}{\lambda} \sin \varphi.$$

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

$$\varphi = \frac{\lambda \psi}{2\pi d_I}.$$

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

$$\sigma_h = \frac{\lambda R_H}{2\pi \sqrt{q} d_I \cos \varphi_H}.$$

Точність виміру РСБ інтерферометра може бути збільшена в два рази, якщо випромінювати сигнал по черзі з антен верхнього й нижнього БРЛЗ (відносно ПЗОРЛІ) (Рис. 2). Нулі сумарного сигналу (ДС) будуть повторюватися при фазах $\psi = \pi(2n+1)$, що відповідає кутам

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

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 [6-8].

При розташуванні бази інтерферометра в кутомірній площині під кутом φ_d фаза сигналу має вигляд:

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

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

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

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

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

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 кадру РЛЗ. Іноді такий режим називають диференціальним [9, 10, 12]. 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:

$$\sigma_h = \frac{\sigma_\varphi R_H}{\cos \varphi_d} = \sigma_\psi \frac{\lambda R_H}{2\pi d_I \cos \varphi_d} = \frac{\lambda R_H}{2\pi \sqrt{q} d_I \cos \varphi_d}.$$

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.

4. 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 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. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин ; под ред. А.М. Рембовского. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2006. – 492 с.
2. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / М. В. Ратынский. – Москва : Радио и связь, 2003. – 200 с.
3. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл-мл. ; пер.с англ. – Москва : Мир, 1990. —584 с.

4. Дрогалін В. В. Алгоритми оцінювання кутових координат джерел випромінювання, засновані на методах спектрального аналізу В. В. Дрогалін, В. І. Меркулов, В. А. Радзивілов // Успехи сучасної радіоелектроніки. – 1998. – №2. – С. 3-17.
5. Джонсон Д. Х. Застосування методів спектрального оцінювання до завдань визначення кутових координат джерел випромінювання / Д. Х. Джонсон // ТИИЭР. – 1982. – Т.70, №9.
6. Добырин В. В. Ефективність застосування суперроздільних спектральних оцінок в бортових куломерних фазованих антенних решітках / В. В. Добырин, А. В. Немов // Радіотехніка. – 1999. – №9. – С. 65-67.
7. Гершман А. Б. Адаптивне роздільне некоррелиованих джерел по координаті. / А. Б. Гершман, А. Т. Ермолаєв, А. Г. Флакман // Изв. вузів. Радіофізика. – 1988. – №8. – С. 941-946.
8. Леховицький Д. І. Різновидності суперроздільних аналізаторів просторово-часового спектра випадкових сигналів на основі об'єднуючих адаптивних решітчатих фільтрів / Д. І. Леховицький, Д. В. Атаманський, І. Г. Кириллов // Антенні. – 2000. – №2. – С. 40-54.
9. Бондарчук А. П. Розрахунок максимальних значень інтенсивності потоків даних між окремими вузлами інфокомунікаційної мережі / А. П. Бондарчук // Сучасний захист інформації. – 2015. – №. 2. – С. 89-92.
10. Мюньє Ж. Просторовий аналіз в пасивних локаційних системах з допомогою адаптивних методів / Ж. Мюньє, Ж. Ю. Деліль // ТИИЭР – 1987. – Т. 75, № 11. – С. 21-37.
11. Дружинін В. А. Багатокритеріальна самоорганізація нейророботоподібних систем класифікації об'єктів спостереження в комплексах радіолокаційного моніторингу зі змінною просторовою конфігурацією / В. А. Дружинін // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №5(33). – С. 13-19.
12. Коробков М. А. Корреляційні методи пеленгування джерел випромінювання / М. А. Коробков // Молодой ученый. – 2014. – №13. – С. 55-58.

Автори статті

Пархомей Ігор Ростиславович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри радіомоніторингу та радіочастотного менеджменту, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (66) 995 20 12. E-mail: i_parhomey@ukr.net.

Коршун Наталія Володимирівна – кандидат технічних наук, декан факультету телекомунікацій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (93) 603 90 64. E-mail: natalie_korshun@ukr.net.

Authors of the article

Parkhomey Ihor Rostyslavovych – sciences doctor (technic), chief of radiomonitring and radio frequency management department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (66) 995 20 12. E-mail: i_parhomey@ukr.net.

Korshun Nataliya Volodymyrivna – candidate of sciences (technical), dean of telecommunications faculty, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (93) 603 90 64. E-mail: natalie_korshun@ukr.net.

Дата надходження в редакцію: 17.11.2016 р.

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