

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В ЗОНІ ФРЕНЕЛЯ

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»

E-mail: cukanov-o@ukr.net

An algorithm of determination of distance to source of radiation in Fresnel region

The proposed algorithm for determining the range to the sources of radio frequency in the Fresnel's zone allows to exclude from the analysis of the electromagnetic environment of the source located in the remote zone with respect to the receiving multi-element antenna and to improve the accuracy of the determination of the range along the spherical edge of the electromagnetic waves near the zone, reducing the dynamic error in processing signals from the sources.

В роботах [1, 2] запропоновані способи просторової селекції джерел радіовипромінювання (ДРВ) в зоні Френеля приймальної антени за формою фазового фронту електромагнітної хвилі (ЕМХ) для радіотехнічних пристроїв ближньої дії, призначених для радіомоніторингу, пасивної радіолокації і радіонавігації.

Ці способи та алгоритми основані на прийомі випромінюваного ДРВ радіосигналу кожним з $M+1$ ідентичних елементів (рис. 1) еквідистантної лінійної антенної решітки (АР), розташованих один відносно другого на відстані половини середньої довжини хвилі λ_0 частотного діапазону, $M+1$ приймальними каналами, вимірюванні його несучої частоти f прийнятого сигналу за допомогою системи перебудови, визначанні обертянням АР кутового напрямку β на ДРВ (пеленг) по максимуму сигналу на нього, формуванні за допомогою M фазометрів напругі пропорційні різниці фаз ($\Delta\varphi$) сигналів в приймальних каналах АР симетричних відносно центрального, обчислюванні $M/2$ напруг пропорційних різниці різниць фаз ($\Delta\Delta\varphi$) сигналів в приймальних каналах симетричних відносно центрального елемента АР, множенні $M/2$ сформованих напруг на вагові коефіцієнти (ВК), підсумуванні посиленних напруг і оцінюванні дальності d до ДРВ.

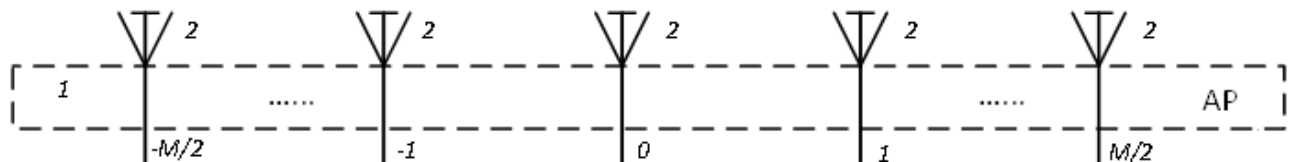


Рис. 1.

Недоліками даних способів і алгоритмів є відсутність селекції за критерієм знаходження ДРВ в далекій зоні (ДЗ) або в зоні Френеля і недостатня точність визначення дальності.

Тому пропонується удосконалити алгоритм визначення дальності до ДРВ в зоні Френеля шляхом послідовного виключення з процесу вимірювання дальності джерел, які знаходяться в ДЗ, а також зменшення динамічної помилки вимірювань фазових зрушень, і представити його у виді, зображеним на рис. 2.

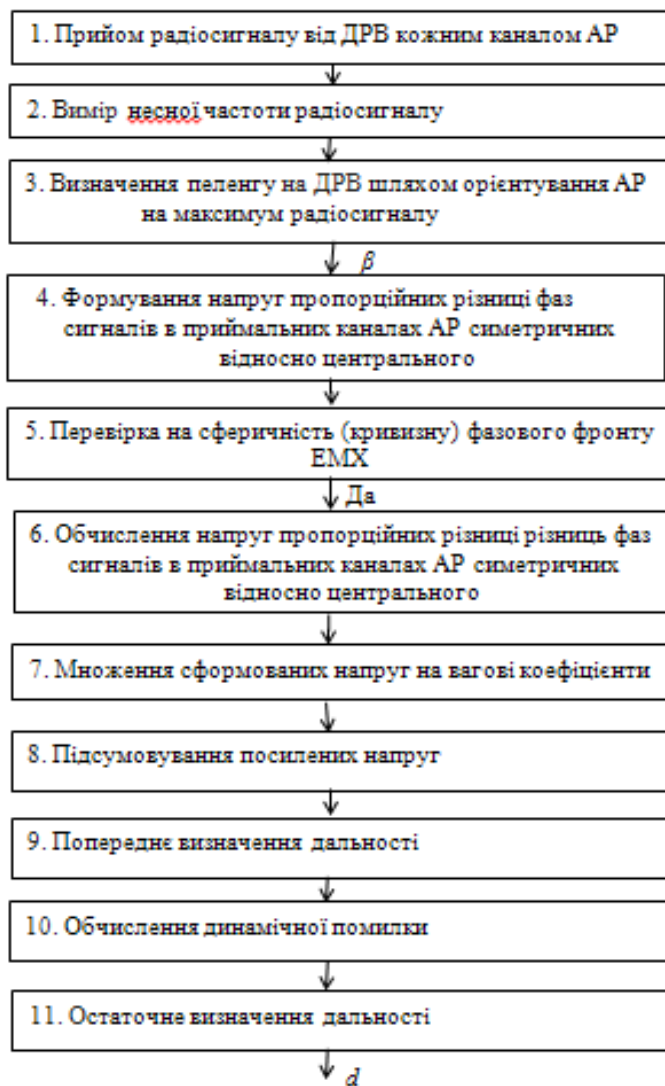


Рис. 2.

$$d \approx \frac{2\pi(L \cos \beta)^2}{\Delta\Delta\phi\lambda} = \frac{2\pi(L \cos \beta)^2 f}{\Delta\Delta\phi \cdot c}, \quad (1)$$

де L - база лінійної АР, [м]; c - швидкість світла, [м/с]; β - кут між напрямком на ДРВ і нормаллю до лінійної АР, [град].

Співвідношення (1) не враховує випадкові і динамічні помилки оцінювання дальності, які мають місце при вимірюванні фазових зрушень між елементами АР. Для оцінювання випадкових помилок зміни фаз на вході АР можна записати в такому вигляді [4]

$$\varphi(L, \beta, d) = \Delta\varphi(L, \beta, d) + \Delta\Delta\varphi(L, \beta, d) + n(L, \beta, d), \quad (2)$$

де перший доданок $\Delta\varphi(L, \beta, d)$ - зміна фази за рахунок різниці ходу променів між симетричними прийомними елементами АР і рівне

$$\Delta\varphi(L, \beta, d) = -k \cdot L \cdot \cos \beta, \quad (3)$$

а другій

$$\Delta\Delta\varphi(L, \beta, d) = G L^2 \alpha \quad (4)$$

зміна фази за рахунок кривизни фазового фронту ЕМХ; $n(L, \beta, d)$ - випадкові флуктуації фази; $k=2\pi/\lambda$.

Для оцінки дальності до ДРВ по сферичності фронту ЕМХ представимо (4) у вигляді

$$\Delta\Delta\varphi(L, \beta, d) = G L^2 \alpha + n(L, \beta, d), \quad \text{де } G = k \cdot \sin^2 \beta / 2. \quad (5)$$

Відсіювання з подальшої обробки джерел, що знаходяться в ДЗ, здійснюється шляхом перевірки на сферичність (кривизну) фазового фронту ЕМХ. Для цього згідно з п. 4,5 алгоритму досить при розташуванні АР на максимум випромінювання від ДРВ обчислити $\Delta\Delta\varphi_i$, наприклад, для $i=\pm 1$ $\Delta\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_{-1} = \Delta\varphi_{10} - \Delta\varphi_{0-1}$, де $\Delta\varphi_{10}$ і $\Delta\varphi_{0-1}$ відповідно різниці фаз між центральним елементом АР і першим справа та зліва від нього (рис. 1).

Для ДЗ (плоский фронт ЕМХ) $\Delta\Delta\varphi=0$ і для цього випадку дальність до джерела не визначається. При $\Delta\Delta\varphi>0$ ДРВ знаходиться в зоні Френеля, що дозволяє визначати дальність до нього, яка закладена в кривизні фронту ЕМХ. Так, наприклад, при $i=\pm 1$ дальність визначають за наступним співвідношенням [3],

Далі згідно з п. 6-9 алгоритму (рис. 2) для усунення випадкових помилок при визначенні дальності здійснюються операції обчислення напруг пропорційних $\Delta\varphi_i$ сигналів в приймальних каналах АР симетричних відносно центрального, множення сформованих напруг на ВК i^2 , підсумовування посиленних напруг і попереднє визначення дальності за допомогою співвідношення

$$d = 1/\alpha = 1/\frac{15 M^2 \sum_{i=1}^M i^2 \Delta\varphi_i}{G L^2 (M/2)(M/2+1)(M+1)[3(M/2)^2]+3(M/2)-1} \quad (6)$$

де $\Delta\varphi_i = \Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{-i} = \Delta\varphi_{i0} - \Delta\varphi_{0-i}$.

Для зменшення динамічної помилки, під якою будемо розуміти невідповідність обраної ступеня полінома апроксимації реальної формі фазового фронту прийнятої ЕМХ, далі визначаємо оцінку $\Delta\hat{d}$ для кожного значення пеленга β .

Реальна форми різниці різниці фаз має вигляд:

$$\Delta\varphi(L, \beta, d) = L^2/2 \cdot d \sin^2\beta + (L^3/2 \cdot d^2) \cdot \cos\beta \cdot \sin^2\beta - (L^4/8 \cdot d^3) \cdot \sin^2\beta \cdot (L - 5 \cdot \cos^2\beta) \quad (7)$$

Для цього відповідно до (7) в алгоритму закладається еталонна траєкторія зміни $\Delta\varphi$ для β в інтервалі від 0^0 до 180^0 з урахуванням флуктуації фази. При цьому еталонне значення дальності d_e залежить від загальної довжини АР і змінюється лінійно в діапазоні відстаней від ближньої зони d_{β_3} до d_{β_3} - дальньої зони.

Тоді вираз для динамічної помилки можна представити у вигляді

$$\Delta d = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{d} - d_e)^2} / (n-1), \quad (8)$$

де n - довжина масивів \hat{d} і d_e , з подальшим собою усереднення Δd за кількістю реалізацій.

Далі методом найменших квадратів визначаються коефіцієнти апроксимації a_0, a_1, a_2 динамічної помилки дальності Δd від пеленга β і знаходиться динамічна помилка за допомогою співвідношення

$$\Delta\hat{d} = a_0 + a_1\beta + a_2\beta^2. \quad (9)$$

Остаточне визначення дальності здійснюється як

$$\hat{d}^* = \hat{d} + \Delta\hat{d}. \quad (10)$$

Література

1. Патент RU № 2308735. "Способ определения местоположения источников радиоизлучения в ближней зоне". М. кл. G01S 5/08, Опубл. 20.10.2007.
2. Декларативний патент на корисну модель № 113916 (Україна). Спосіб визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання в ближній зоні, кл. G01S5/08, // Авдеєнко Г.Л., Цуканов О.Ф., Якорнов Є. А. та інш. - Промисл. власність, 2017, № 4.
3. Авдеєнко Г.Л. Определение местоположения источника радиоизлучения по кривизне фронта электромагнитной волны.// Авдеєнко Г.Л., Федоров В.И., Якорнов Е.А. Известия вузов. Радиоэлектроника. - 2008. № 3. - с. 3-11.
4. Кремер И.Я. Пространственно-временная обработка сигналов.// Кремер И.Я., Кремер А.И., Петров В.М. - М.: Радио и связь, 1984, 224 с.