

СПОСІБ ПРОСТОРОВОЇ СЕЛЕКЦІЇ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ В ДОВІЛЬНІЙ ХВИЛЬОВІЙ ЗОНІ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО АЛГОРИТМУ КЕЙПОНА

Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є.А.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: djangoo2006@ukr.net*

Method of spatial selection of radio sources in any wave zone based on modified Capon's algorithm

Limitations of the use of modern direction finding algorithms are shown. A method for spatial selection of radio signals based on the use of the modified Capon's direction finding algorithm is proposed. The thesis will be useful for specialists involved in adaptive interference suppression in antenna arrays.

У патенті [1] авторами запропонований спосіб визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання (ДРВ) в ближній зоні (БЗ). Основою способу є алгоритм пеленгації ДРВ високої роздільної здатності для плоского фазового фронту електромагнітної хвилі (ЕМХ) відомий як алгоритм Кейпона, який був модифікований [2] для роботи зі сферичним фазовим фронтом у БЗ. Це дозволяє визначати не тільки пеленги на кілька ДРВ, але й дальності до них, коли ДРВ знаходиться в БЗ.

Однак практичне застосування даного способу дозволяє створювати тільки радіопеленгатори, оскільки алгоритм Кейпона не виявляє інформаційну складову сигналів, що обмежує його використання, наприклад, у системах радіомоніторингу. Тому удосконалимо спосіб визначення місцезнаходження ДРВ шляхом введення просторової селекції сигналів і подальшого здійснення послідовно або по пріоритетності розпізнавання їх інформаційної структури (демодуляції).

Для цього в розглянутому способі [1] визначення місцезнаходження ДРВ у хвильовій зоні, що включає прийом від ДРВ радіосигналів кожним з M ідентичних антенних каналів (рис. 1) еквідистантної лінійної антенної решітки (АР), розташованих один відносно другого на відстані половини середньої довжини хвилі λ_0 частотного діапазону, підсилення їх в кожному приймальному каналі, вимір несної частоти f прийнятих сигналів, визначення кутових напрямків приходу сигналів (пеленгів) і оцінювання дальності до ДРВ за допомогою модифікованого алгоритму Кейпона, здійснимо розпізнавання інформаційної структури сигналів за допомогою наступного алгоритму:

1) розрахунок адаптивним процесором оцінки прямої R_{xx} та оберненої R_{xx}^{-1} кореляційних матриць і обчислення керуючого вектора-стовпця S_a АР за допомогою модифікованого алгоритму Кейпона;

2) розрахунок вектору вагових коефіцієнтів (ВВК) АР;

3) зважування сигналів АР;

4) демодуляції просторово відселектованих сигналів.

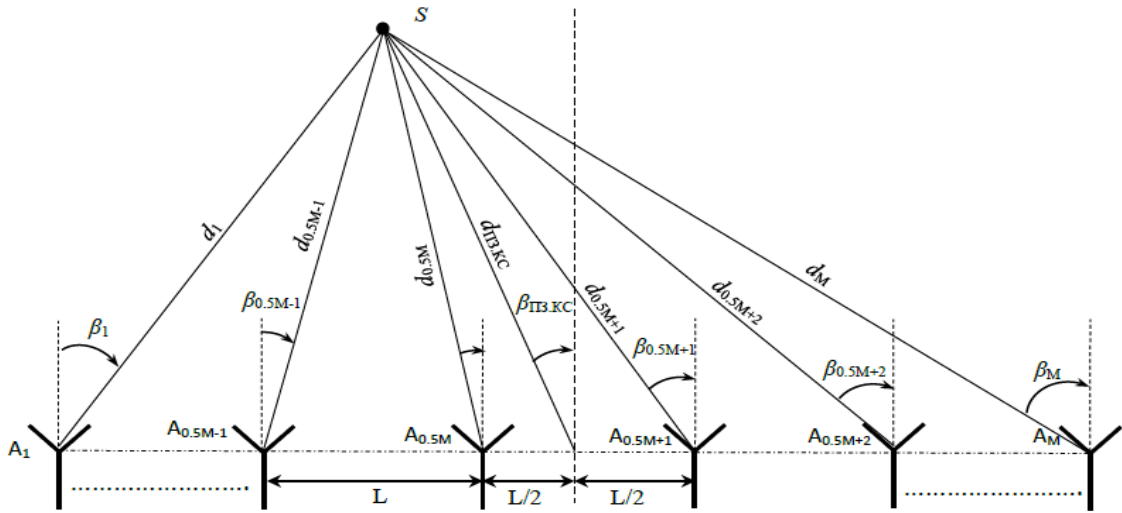


Рис. 1 Еквідистантна лінійна М-елементна АР.

Модифікований алгоритм Кейпона [2] для визначення кількості джерел передбачає обчислення функції вихідних сигналів лінійної АР (рис. 1), яка залежить як від кута приходу, так і від дальності і представляється у виді

$$V(\beta_0, d_0) = \frac{1}{F^2(\beta) \cdot \mathbf{S}_a^H(\beta_0, d_0) \cdot \mathbf{R}_{xx}^{-1}(\beta) \cdot \mathbf{S}_a(\beta_0, d_0)}, \quad (1)$$

де $F(\beta)$ – діаграма спрямованості (ДС) окремого елемента АР (вважатимемо всі елементи АР ідентичними); \mathbf{R}_{xx} – оцінка кореляційної матриці вхідних сигналів АР; $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_N(t)]^H$ – вектор-стовпець вхідних сигналів АР; $\mathbf{S}_a(\beta_0, d_0)$ – керуючий вектор-стовбець АР, рівний

$$\mathbf{S}_a(\beta_0, d_0) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(-jkd_1(\beta_0, d_0)) \\ \vdots \\ \exp(-jkd_N(\beta_0, d_0)) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Тому перший етап алгоритму починається з визначення за допомогою процесора оцінки прямої \mathbf{R}_{xx} та оберненої \mathbf{R}_{xx}^{-1} кореляційних матриць вхідних сигналів

$$\mathbf{R}_{xx} = \frac{1}{2K} \sum_{i=1}^K \mathbf{x}(t_i) \cdot \mathbf{x}^H(t_i) = \frac{1}{2K} [\mathbf{x}(t_1) \cdot \mathbf{x}^H(t_1) + \mathbf{x}(t_2) \cdot \mathbf{x}^H(t_2) + \dots + \mathbf{x}(t_K) \cdot \mathbf{x}^H(t_K)], \quad (3)$$

де K – кількість часових відліків.

Аналогічно з процесора для обраного ДРВ запитується значення керуючого вектора-стовпця (2) при його знаходженні у БЗ і (2.а) – в в дальній зоні (ДЗ).

$$\mathbf{S}_a(\beta) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(-j(2\pi L \sin \beta)/\lambda) \\ \vdots \\ \exp(-j((N-1)\pi L \sin \beta)/\lambda) \end{bmatrix}. \quad (2.a)$$

Другий етап алгоритму пов'язаний з розрахунком оптимального ВВК АР виду (рис. 2)

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} \dot{w}_1 & \dot{w}_2 & \dots & \dot{x}_M \end{bmatrix}^T, \quad (4)$$

знаходження якого, наприклад, по критерію СКВ зводиться до відомого [3] рівняння Вінера-Хопфа

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{R}_{xd}. \quad (5)$$

В вирази (5) матриця \mathbf{R}_{xd} є взаємна кореляційна матриця вектора-стовпця вхідного сигналу АР і опорного сигналу. Вибір останнього це окрема задача.

Наприклад, у даному випадку, при розташуванні ДРВ в БЗ $\mathbf{R}_{xd} = \mathbf{S}_\alpha(\beta_0, d_0)$, а при розташуванні ДРВ в ДЗ $\mathbf{R}_{xd} = \mathbf{S}_\alpha(\beta)$.

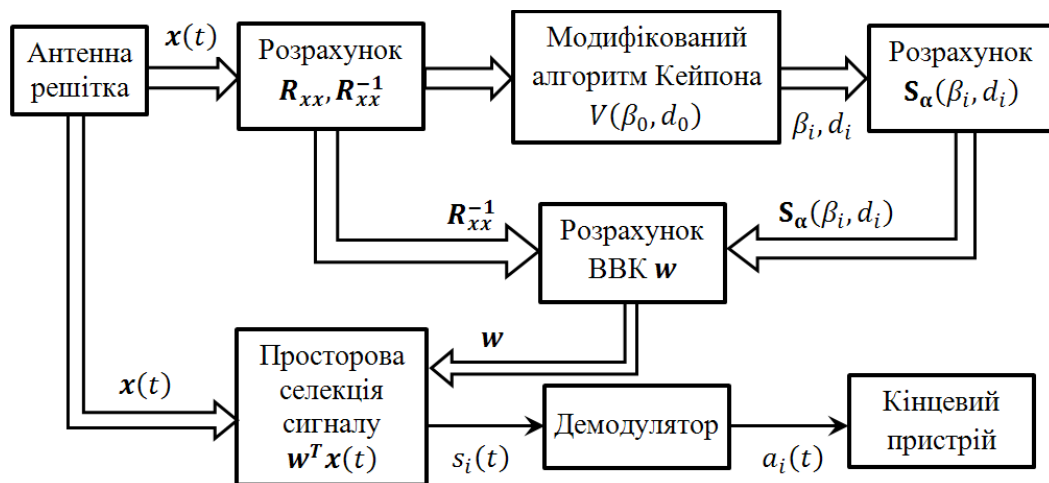


Рис. 2 Структурна схема способу просторової селекції сигналу від i -го ДРВ на базі модифікованого алгоритму Кейпона.

Для зважування сигналів АР отриманим ВВК необхідно перемноження процесором адитивної суміші сигналів в кожному каналі АР (рис. 2) на відповідний ваговий коефіцієнт і складання цих перемножених сигналів для формування ДС, яка просторово селектує досліджуваний сигнал від інших завадових. Для виділення кожного з сигналів необхідно сформувати різні вагові коефіцієнти і відповідно різні ДС.

Отриманий після селекції сигнал i -го ДРВ $s_i(t)$ (рис.2) надходить на демодулятор, на виході якого з'являється інформаційний сигнал $a_i(t)$, що поступає на кінцевий пристрій.

Література

1. Деклараційний патент на корисну модель № 113916 (Україна). Спосіб визначення місцезнаходження джерел радіовипромінювання в ближній зоні, кл. G01S5/08 //Авдеєнко Г.Л., Ільченко М.Ю., Якорнов Є. А. та інш. - Промисл. власність, 2017, № 4.
2. Авдеєнко Г.Л., Корсак В.В., Якорнов Є.А. Модифікація алгоритму Кейпона для визначення пеленгу на джерела радіовипромінювання при сферичних фронтах їх електромагнітних хвиль у місці прийому. Матеріали Десятої МНТК «Проблеми телекомунікацій» (ПТ-16) К.: НТУУ «КПІ», 2016, с. 529-531.
3. Б. Уидроу, С. Стирнз. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.