

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ З ПСЕВДОВИПАДКОВИМ ПЕРЕСТРОЮВАННЯМ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ

В роботі розглядається задача оцінювання параметрів сигналів з псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти в залежності від електромагнітної обстановки в каналі зв'язку. Розроблено алгоритм оцінки просторових параметрів джерел радіовипромінювань в умовах впливу завад та завмирань сигналів.

Ольшанский В.В., Петрова Д.В. Алгоритм оценки пространственных параметров сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. В работе рассматривается задача оценивания параметров сигналов с псевдослучайным перестроением рабочей частоты в зависимости от электромагнитной обстановки в канале связи. Разработан алгоритм оценки пространственных параметров источников радиоизлучений в условиях воздействия помех и затуханий сигналов.

V. Olshanskiy, D. Petrova An algorithm for estimating the spatial parameters of signals with a pseudo-random tuning of the operating frequency. The paper deals with the problem of estimating the parameters of signals with a pseudo-random rebuilding of the operating frequency depending on the electromagnetic environment in the communication channel. A algorithm has been developed for estimating the spatial parameters of radio emission sources in the presence of interference and fading signals.

Ключові слова: завадозахищеність, псевдовипадкове перестроювання робочої частоти, спектральний аналіз.

Постановка завдання.

В останні роки увагу фахівців привертають проблеми приймання радіосигналів з безперервною оцінкою їх якості, а також розробки адаптивних методів і алгоритмів їх обробки. Адаптивні методи дозволяють на основі результатів оцінки реально існуючих у каналі зв'язку завад забезпечувати близькі до оптимальних режими функціонування системи за рахунок автоматичної перебудови алгоритму роботи системи, зміни надмірності повідомлень і сигналів, структури кодерів і декодерів тощо [1 – 4].

Одним з ефективних методів підвищення завадозахищеності систем і засобів радіозв'язку (ЗРЗ) при впливі навмисних завад є застосування псевдовипадкового перестроювання робочої частоти (ППРЧ) [5 – 7]. У ЗРЗ з ППРЧ розширення спектра в межах заданої смуги частот здійснюється за допомогою стрибкоподібної зміни частоти сигналу за псевдовипадковим законом, який невідомий постановнику завад. При цьому сигнал займає смугу частот Δf_c значно ширшу в порівнянні зі смугою ΔF_c , яка мінімально необхідна для передачі інформації. Поряд з використанням сигналів ППРЧ в перспективних засобах зв'язку може використовуватися технологія просторово-кодованих сигналів МІМО, яка передбачає використання багатоантенних систем (антенних решіток) [1, 2, 8]. Слід зазначити, що спільне використання частотного та просторового кодування в системах радіозв'язку не тільки підвищує завадозахищеність і пропускну здатність, але й істотно ускладнює радіоконтроль даних систем. Зокрема оцінку просторових параметрів сигналів в даному випадку доводиться здійснювати в умовах завад, які співпадають за частотою і співставні за рівнем. Крім того, в даному випадку кожен із сукупності прийнятих сигналів послідовно виступає в ролі корисного, а решта розглядаються як завади. У цьому зв'язку виникає задача оцінки просторових параметрів багатовимірних за частотою і простором сигналів.

Аналіз останніх публікацій.

Аналіз останніх робіт свідчить, що на даний час розроблено достатньо методів оцінки просторових параметрів багаточастотних сигналів з використанням багатоканальних за частотою приймачів [1, 9, 10]. Однак вони непрацездатні за наявності на вході антенної системи сигналів тотожних за частотним спектром. Відомі методи просторового спектрального аналізу сигналів з ППРЧ не дозволяють проводити оцінку параметрів джерел радіосигналів в умовах реальної електромагнітної обстановки при впливі різного роду завад та завмирань сигналів [11, 12].

Тому метою роботи є розробка алгоритму оцінювання просторових параметрів джерел сигналів з ППРЧ в умовах складної радіоелектронної обстановки.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо N -елементну антенну решітку (АР) довільної конфігурації (N -вимірний просторовий фільтр), що здійснює приймання L ($L \leq N$) незалежних вузькосмугових в просторово-часовому сенсі сигналів на фоні Гаусівського шуму. Якщо не враховувати взаємних зв'язків антенних елементів, сумарний N -вимірний вектор сигналів і шумів на виході АР можна подати у вигляді

$$\vec{X}(t) = \hat{I} \vec{A}_L(t) + \vec{A}(t), \quad (1)$$

де $\vec{A}_L(t) = [a_1(t)a_2(t)\dots a_L(t)]^{\text{p}}$ – L -вимірний вектор; $a_i(t)$ – комплексна обвідна сигналу i -го джерела; $H = [\vec{h}_1(t), \vec{h}_2(t), \dots, \vec{h}_L(t)]^{\text{p}}$ – $(N \times L)$ -матриця; $\vec{h}_i = [c_{1i}e^{j\varphi_{1i}}, c_{2i}e^{j\varphi_{2i}}, \dots, c_{Ni}e^{j\varphi_{Ni}}]$ – N -вимірний вектор, що характеризує просторову структуру i -го сигналу; c_{ki} – нормований коефіцієнт посилення k -го антенного елементу у напрямку приходу Θ_i i -го сигналу; φ_{ki} – фазовий зсув, обумовлений запізненням i -го сигналу на виході k -го антенного елементу по відношенню до точки, прийнятої за фазовий центр АР; $\vec{B}(t)$ – N -вимірний вектор шумів, τ – позначення операції транспонування. Можна показати, що для сигналів з ППРЧ модель $\vec{A}_L(t) = a_i(t)\vec{h}_i$ справедлива тільки для деякого конкретного значення несучої частоти. При цьому кожна зміна частоти призводить до зміни вектора сигналу \vec{h}_i і в цьому сенсі еквівалентно стрибкоподібній зміні напрямку приходу сигналу. Іншими словами, протягом часового інтервалу Δt_f (Δt_f – тривалість f -ої частотної позиції) на виходах N антенних елементів спостерігається вектор

$$\vec{A}(t, \Delta t_f) = a(t)\vec{h}_i(\Delta t_f), \quad (2)$$

де $h_i(\Delta t_f) \in G_h$; $G_h = [h_{a1}, h_{a2}, \dots, h_{aF}]$; F – кількість частотних позицій (значень несучих частот ω_{0f}); $h_{sf} = h(\Theta_a, \omega_{0f}) = h(\Theta_{af}, \omega_0)$.

Зауважимо, що оскільки частоти (а в загальному випадку і величина Δt_f) змінюються за псевдовипадковим законом, то в виразі (2) $h_i(\Delta t_f)$ можна інтерпретувати як реалізацію відповідної випадкової величини (випадкову вибірку з множини G_h). Природно, що для моделі (2) вектори вагових коефіцієнтів (ВВК), які отримані для детермінованого значення вектора \vec{h}_i , не є оптимальними і відповідні алгоритми незастосовні. Однак у випадку, коли на вході АР відсутні завади, узгоджена фільтрація корисного сигналу може бути забезпечена за рахунок синхронної зі зміною несучої частоти зміни вектора \vec{h}_i . В результаті ВВК, що оптимізують вихідне відношення сигнал/шум, приймають вигляд [1]:

$$\vec{W} = \mu \vec{h}_i(\Delta t_f), h_i(\Delta t_f) = h_a(\Delta t_f). \quad (3)$$

Для реалізації (3) необхідно точно знати всі параметри, що визначають вектор \vec{h}_i , і крім того – значення несучої частоти, момент зміни несучої частоти і величину Δt_f .

Разом з тим в більшості практичних випадків дана інформація відсутня. Тоді виявляється невизначеність щодо просторових і частотних параметрів сигналів, що призводить до неправильної ідентифікації сигналів до джерел радіовипромінювань.

У даному випадку є доцільним модифікувати оптимізаційну задачу для обчислення ВВК, що оптимізує вихідне відношення сигнал/шум на виході просторового фільтра з метою усунення деструктивного впливу багаточастотних сигналів. Тоді, оптимізаційну задачу для обчислення ВВК, що забезпечує оцінку параметрів багаточастотних сигналів, сформулюємо у вигляді задачі з лінійним обмеженням [3]

$$\min_{\vec{W}} \vec{W}^H \mathbf{R}_{xx} \vec{W}, \mathbf{V}_{yF}^H \vec{W} = \vec{F}, \quad (4)$$

де \vec{W} – N -вимірний вектор вагових коефіцієнтів; \mathbf{R}_{xx} – кореляційна матриця (КМ) вхідних сигналів розмірності $(NF) \times (NF)$; \mathbf{V}_{yF} – $(N \times F)$ матриця обмежень; \vec{F} – F -вимірний вектор обмежень, що визначає необхідний вид комплексної частотної характеристики.

Рішення оптимізаційної задачі (5), за аналогією з [4], представимо у вигляді

$$\vec{W}_f = \beta \mathbf{R}_{xxf}^{-1} \vec{V}_{yf}, \quad (5)$$

де \vec{V}_{yf} – f -й стовпець матриці \mathbf{V}_{yF} , що інтерпретується як вектор фазирування антеною решітки в заданому напрямку на f -ій частоті; \mathbf{R}_{xxf} – кореляційна матриця, яка відповідає f -ій частотній позиції.

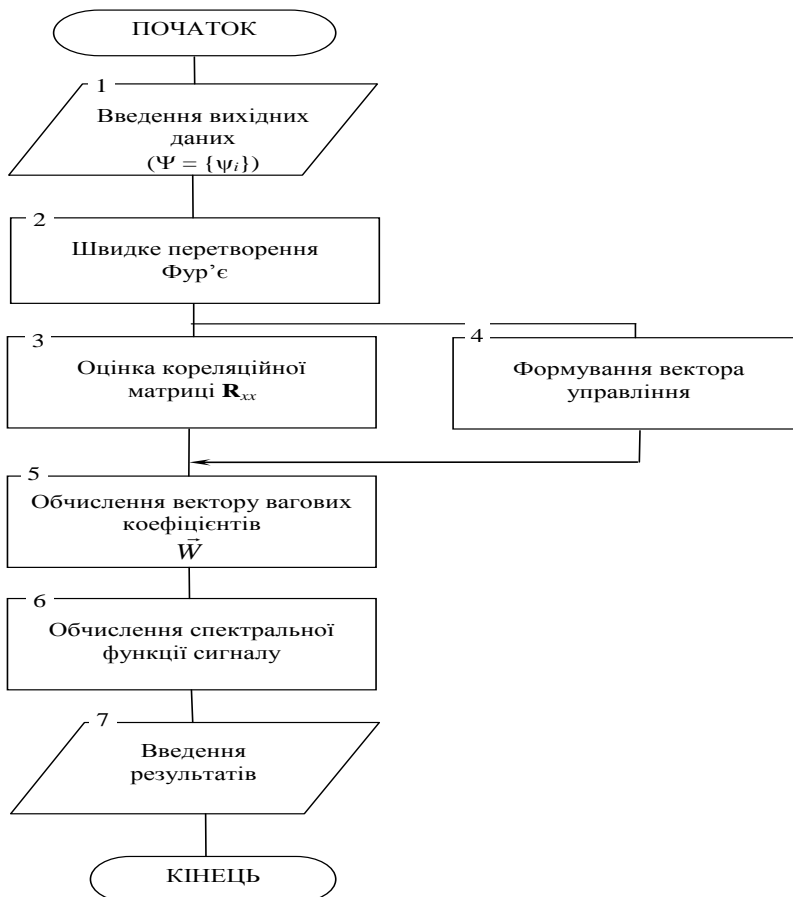
Тоді, просторові параметри визначаються шляхом пошуку екстремумів спектральної функції A_{if} , як функції ВБК (5) в заданому діапазоні кутів і частотних позицій

$$\hat{\Theta}(i, f) = \text{extr}_{A_{if}}(\vec{W}_f) = \text{extr}(\vec{W}_f^H \vec{W}_f), i = \overline{1, L}, f = \overline{1, F}. \quad (6)$$

Оцінки $\hat{\Theta}(i, f)$ будуть однозначно визначати просторові параметри щодо широкосмугових $L \times F$ сигналів (завад).

Відмінною особливістю виразу (6) є те, що формування кореляційної матриці прийнятих сигналів і обчислення ВБК здійснюється на кожній частотній позиції виявленого широкосмугового сигналу.

Алгоритм оцінки параметрів сигналів з ППРЧ подано на рис. 1. Вихідними даними для



Блок схема реалізації алгоритму оцінки параметрів сигналів з ППРЧ

оцінки є параметри антенної решітки і сигналу ППРЧ (кількість антенних елементів, коефіцієнт розширення спектру сигналу, швидкість ППРЧ тощо).

Над сигналами з виходу антенних елементів здійснюється швидке перетворення Фур'є (блок 2). Після цього здійснюється відповідна корекція керуючого вектора, що забезпечує виконання обмеження $\mathbf{V}_{yF}^H \vec{W} = \vec{F}$ для кожного елементарного частотного каналу і фактично виконує функцію визначення комплексної частотної характеристики (блок 4).

Для кожного сигналу оцінюється вибіркова кореляційна матриця (блок 3) у відповідності з виразом $\mathbf{R}_{xx} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-1} \vec{Z}(t) \vec{Z}^H(t)$ (T – кількість вибірових відліків), обчислюється вектор вагових коефіцієнтів в f -му елементарному частотному каналі відповідно до виразу 5 (блок 5). Після цього обчислюється спектральна функція $\hat{A}_f(\vec{W}_f)$ в заданому діапазоні кутів і обчислення локальних максимумів, які визначають просторові параметри сигналів, що оцінюються.

Висновки. Таким чином, запропонований алгоритм дозволяє оцінювати просторові параметри джерел радіовипромінювань з псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти в реальній електромагнітній обстановці. Подальша ідентифікація випромінювань і визначення їх джерел, радіомереж і радіонапрямками може проводитися відомими способами [1, 4, 9].

Напрямоком подальших досліджень є розробка удосконаленого методу оцінки передаточної характеристики каналу зв'язку в радіо засобах з ППРЧ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011 – 904 с.
2. Вишневикий В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Стеклов В. К. та ін. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: Підр. для вищ. навч. закл. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
4. Коричнев Л. П., Королев В. Д. Статистический контроль каналов связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
5. Борисов В. И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
6. Кувшинов О. В., Лівенцев С. П., Лежнюк О. П., Міночкін А. І., Могилевич Д. І. Теорія електричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації: Підручник. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 286 с.
7. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.
8. Kopsa K., Matz G., Artes H., Hlawatsch P. Space-time synchronisation algorithms for UMTS/TDD systems with strong co-channel interference // in Proc. IEEE Globecom 2007, Taipei, Taiwan. – Nov. 2007. – pp. 254 – 258.
9. Борисов В. И., Зинчук В. М. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход. – М.: Радиософт, 2008. – 260 с.
10. Голяницкий И. А. Математические модели и методы в радиосвязи. под ред. Ю. А. Громакова. – М: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
11. Куприянов А. И., Сахаров А. В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
12. Владимиров В.И., Амруш Б. Влияние параметров закона распределения отношения помеха-сигнал на входе приемника на вероятность подавления линии радиосвязи // Радиотехника. – 2008. – № 11. – С. 15 – 20.