

УДК 621.391

В.В. Ольшанський, Є.М.Прокопенко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ

МЕТОД ОЦІНКИ 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 метод оцінки просторових параметрів джерел радіовипромінювань в умовах впливу завад та завмирань сигналів.

Ключові слова: псевдовипадкове перестроювання робочої частоти, антенна решітка, спектральний аналіз.

Вступ

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 можуть використовуватися просторово-кодовані сигнали [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 робіт свідчить, що на даний час розроблено достатньо методів оцінки просторових параметрів багаточастотних сигналів з використан-

ням 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 методу оцінки параметрів сигналів з ППРЧ в каналі зв'язку з навмисними завадами.

Результати досліджень

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

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

де $\vec{A}_L(t) = [a_1(t)a_2(t)\dots a_L(t)]^T$ – L -вимірний вектор;

$a_i(t)$ – комплексна обвідна сигналу i -го джерела;

$N = [\vec{h}_1(t), \vec{h}_2(t), \dots, \vec{h}_L(t)]^T$ – $(N \times L)$ -матриця;

$\vec{h}_i = [c_{1i}e^{j\phi_{1i}}, c_{2i}e^{j\phi_{2i}}, \dots, c_{Ni}e^{j\phi_{Ni}}]$ – 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, t – 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 векто-

ра сигналу \vec{h}_i і в цьому сенсі еквівалентно стрибко-подібній 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 (ВБК), які отримані для детермінованого значення вектора \vec{h}_i , не є оптимальними і відповідні алгоритми незасосовні. 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}_y . В результаті ВБК, що оптимізує вихідне відношення сигнал/шум приймає 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 ВБК, що оптимізує вихідне відношення сигнал/шум на виході просторового фільтра з метою усунення деструктивного впливу багаточастотних сигналів. Тоді, оптимізаційну задачу для обчислення ВБК, 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)×(NF); \mathbf{V}_{yF} – (N×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

$$\hat{\Theta}(i, f) = \text{extr} A_{if}(\vec{W}_f) = \text{extr}(\vec{W}_f^H \vec{W}_f), \quad (6)$$

$$i = \overline{1, L}, f = \overline{1, F}.$$

Оцінки $\hat{\Theta}(i, f)$ будуть однозначно визначати просторові параметри щодо широкосмугових L×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 реалізації запропонованого методу оцінки параметрів сигналів з ППРЧ подано на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм реалізації запропонованого методу

Вихідними даними для 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 $A_{if}(\vec{W}_f)$ в заданому діапазоні кутів і обчислення локальних максимумів, які визначають просторові параметри сигналів, що оцінюються.

Висновки

Таким чином, запропонований метод 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].

Список літератури

1. Голдсмит А. *Беспроводные коммуникации* / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011 – 904 с.

2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

3. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку : Підр. для вищ. навч. закл. / В.К. Стеклов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.

4. Коричнев Л.П. *Статистический контроль каналов связи* / Л.П. Коричнев, В.Д. Королев. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.

5. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов и др. . – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.

6. Теорія електричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації: Підручник / О.В. Кувшинов, С.П. Лівенцев, О.П. Лежнюк, А.І. Міночкін, Д.І. Могилевич. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 286 с.

7. Григорьев В.А. *Сети и системы радиодоступа* / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Раснаев. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.

8. Space-time synchronisation algorithms for UMTS/TDD systems with strong co-channel interference / K. Kopsa, G. Matz, H. Artes, P. Hlawatsch // Proc. IEEE Globecorn 2007, Taipei, Taiwan. – Nov. 2007. – P. 254 – 258.

9. Борисов В.И. *Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход* / В.И. Борисов, В.М. Зинчук. – М.: Радиософт, 2008. – 260 с.

10. Голяницкий И.А. *Математические модели и методы в радиосвязи* / И.А. Голяницкий; под ред. Ю.А. Грамакова. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.

11. Куприянов А.И. *Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие* / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.

12. Владимиров В.И. *Влияние параметров закона распределения отношения помеха-сигнал на входе приемника на вероятность подавления линии радиосвязи* / В.И. Владимиров, Б. Амруш // *Радиотехника*. – 2008. – № 11. – С. 15 – 20.

Надійшла до редколегії 18.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій, Київ.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫМ ПЕРЕСТРАИВАНИЕМ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

В.В. Ольшанский, Е.Н. Прокопенко

В работе рассматривается задача оценивания параметров сигналов с псевдослучайным перестраиванием рабочей частоты в зависимости от электромагнитной обстановки в канале связи. Разработан метод оценки пространственных параметров источников радиоизлучения в условиях влияния помех и замираний сигналов.

Ключевые слова: псевдослучайное перестроювання рабочей частоты, антенная решетка, спектральный анализ.

METHOD OF ESTIMATION OF PARAMETERS OF SIGNALS WITH PSEUDOCASUAL ALTERATION OF WORKING FREQUENCY

V.V. Olshanskiy, E.M. Prokopenko

The task of evaluation of parameters of signals is in-process examined with pseudo casual alteration of working frequency depending on an electromagnetic situation in a communication channel. The method of estimation of spatial parameters of sources of radiations worked out in the conditions of influence of hindrances and stopping beating of signals.

Keywords: pseudo casual alteration of working frequency, array, spectrology.