

**Пропонується використовувати найбільш конструктивний метод визначення числа сигналів активованих абонентських станцій у безпроводових широкосмугових телекомунікаційних системах, заснований на аналізі спектру власних значень вибіркової коваріаційної матриці, яка містить всю інформацію на момент формування вибірки про сигнали та шуми**

**Ключові слова:** абонентська станція, виявлення, запит, просторово-часовий доступ, вибіркова коваріаційна матриця

**Предлагается использовать наиболее конструктивный метод определения числа сигналов активированных абонентских станций в беспроводных широкополосных телекоммуникационных системах, основанный на анализе спектра собственных значений выборочной ковариационной матрицы, содержащей всю информацию на момент формирования выборки о сигналах и шумах**

**Ключевые слова:** абонентская станция, обнаружение, заявка, пространственно-временной доступ, выборочная ковариационная матрица

# ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА АКТИВИРОВАННЫХ АБОНЕНТСКИХ СТАНЦИЙ

**Ю. А. Василенко**  
 Соискатель, заместитель директора по техническим вопросам  
 Филиал ЗАО «Киевстар Дж.Эс.ЭМ»  
 Кафедра «Телекоммуникационные системы»  
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
 пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166  
 Контактный тел.: 050-183-98-05  
 E-mail: sunright@yandex.ru

Для решения задач пространственно-временного доступа (ПВД) абонентских станций (АС) в качестве предварительной процедуры необходимо решить проблему обнаружения наличия заявки АС на связь и оценить их количество с тем, чтобы рационально распределить пространственно-временной ресурс, образованный многолучевой антенной решеткой (МЛАР). Решению этой проблемы посвящено достаточно много работ [1-3], однако там решения даются применительно к конкретной сигнально-помеховой обстановке. Условия функционирования сотовых систем связи отличается значительным уровнем априорной неопределенности как в отношении полезных сигналов  $\bar{x}(k)$ , так и действующих помех  $\bar{v}(k)$ . Следует отметить, что в области верхней части дециметрового диапазона, выделенных для мобильных систем, кроме типично внутренних шумов приемников, имеют место и значительные уровни внешних шумов, обусловленных спецификой функционирования этих систем, что усложняет решение поставленной задачи. Рассмотрим более подробно процедуры обнаружения и оценки числа активных абонентских станций в различных условиях сигнально-помеховой обстановки.

**Содержание задачи обнаружения и оценки числа активных АС**

В качестве основной используем процедуру анализа структуры выборочной ковариационной матрицы:

$$M_{xx}(k) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}(k) \bar{x}^\dagger(k), \tag{1}$$

где  $\bar{x}(k) = (x_1(k); x_2(k), \dots, x_n(k))$  – комплексный вектор полезных сигналов с выходов  $n$ -элементной антен-

ной решетки;  $x_i(k)$  – комплексный сигнал на выходе  $i$ -го антенного элемента,  $k$  - размер выборки; “+” – знак комплексного сопряжения.

Следуя известным подходам [1-3] процедуру обнаружения и оценки числа активных станций будем строить на разложении матрицы  $M_{xx}(k)$  в спектр по собственным значениям  $\lambda_i$ , упорядоченных в порядке убывания и сравнении их с пороговыми значениями для шумовых значений. Данный подход, связанный с разделением сигнального и шумового подпространств в данном случае уместен в связи с предположением о том, что сама выборка  $\bar{x}(k)$  будет осуществляться на коротких временных интервалах  $T_u \leq \tau_{MO}$ , где  $\tau_{MO}$  – длительность мини-окна, формируемого заявкой на связь, и том, что за это время  $T_u$  шумовая обстановка существенно не изменится, остается стационарной. Исследования показывают [1-3], что спектр средних шумовых значений выборочной ковариационной матрицы может быть аппроксимирован экспонентой

$$\lambda_i = \rho_x e^{-(i-1)\alpha}, \tag{2}$$

где  $\alpha = (12/nk)^{1/2}$  – параметр экспоненты;  $\rho$  – параметр распределения,  $n$  – число антенных элементов. Среднее значение  $\lambda_i$  используется для формирования векторного порога и вычисляется по стандартной формуле:

$$\lambda_{cp} = \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i \lambda_i. \tag{3}$$

Спектр собственных значений матрицы  $R_{xx}$  состоит очевидно из  $n$  величин, среди которых первые  $m$  – соответствуют сигнальным компонентам, оставшиеся  $n-m$  – шумовыми. При этом первые  $m$  значений содержат как сигнальные, так и шумовые составляющие. Для их разделения построим функцию прогноза для

средних шумовых собственных значений. Используя критерий минимального среднеквадратического отношения (МСКО)

$$\sigma^2 = \left\{ \sum_{i=m+1}^n [\rho_x \exp\{(i-1)\alpha - \lambda_i\}]^2 \right\} \frac{1}{\rho_\lambda} \min, \quad (4)$$

где  $\sigma^2$  - дисперсия ошибок аппроксимации шумовых собственных значений.

Минимизацию критерия (4) осуществим, взяв производную и приравняем ее к нулю:

$$\frac{d\sigma^2}{d\rho_\lambda} = 2\rho_x \sum_{i=m+1}^n \exp\{-2(i-1)\alpha\} - 2 \sum_{i=m+1}^n \lambda_i \exp\{-(i-1)\alpha\} = 0.$$

Отсюда получаем искомое значение

$$\rho_x = \frac{\sum_{i=m+1}^n \lambda_i \exp\{-(i-1)\alpha\}}{\sum_{i=m+1}^n \exp\{-2(i-1)\alpha\}}. \quad (5)$$

Средняя мощность шума, получаемая на  $i$ -отсчетах:

$$P_{m(ср)} \equiv \frac{1}{i} \sum_{i=1}^n \rho_\lambda \exp\{-(i-1)\alpha\}. \quad (6)$$

Основная цель: определение числа  $m$  - оценки и обнаружения числа работающих станций может быть решена в виде итерационной процедуры с проверкой на каждом очередном шаге гипотезы о наличии станции. Искомые оценки средних значений шумовых составляющих в первых  $m$  сигнальных собственных значениях находят с использованием подстановки полученного  $\rho_x$  в выражение (2). Эти значения в обнаружителе используются в качестве порога в критерии превышения. Проверка производится начиная с  $m=n-1$  и заканчивается когда  $m=M$ . Очевидно если порог не превышен, то считается, что станции нет. Количество превышений порога равно числу станций.

Структурная схема устройства обнаружения и оценки, реализующая предложенный алгоритм, представлена на рис. 1.

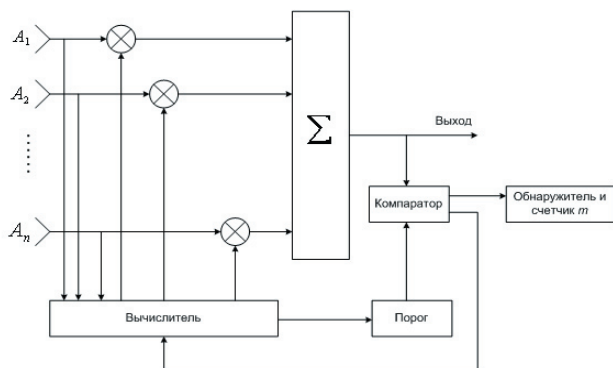


Рис. 1. Структурная схема устройства обнаружения и оценки

**Адаптивное решение задачи обнаружения и оценки числа АС**

В рассмотренном выше решении предполагается равенство собственных значений связанных с шумо-

выми компонентами. В реальности за счет отличий СПМ шума в одном или некоторых  $i$ -каналах приема возможно появление ложных обнаружений. Таким образом, задача приобретает свойства неопределенности, что требует соответствующих методов преодоления этой неопределенности. Известны различные методы: адаптивные параметрические или непараметрические, робастные, инвариантные и др. [1-3]. Наиболее рациональным является адаптивный вариант решения, поскольку идентификации подлежит лишь одна характеристика: след выборочной ковариационной матрицы  $t_r M_{xx}$ . Выравнивая соответствующие собственные значения, приходим к описанному выше алгоритму.

Получим значения выравнивающих коэффициентов  $w_j(k)$ , образующих матрицу

$$W(j) = \begin{pmatrix} w_1(j) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2(j) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_n(j) \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $j$  - номер шага процедуры выравнивания. Выборочная ковариационная матрица с учетом (7) принимает вид:

$$M_{xx}(j) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k W(i)X(k)X^+(k)W(j). \quad (8)$$

След матрицы (8) приобретает вид:

$$t_r M_{xx}(j) = w_1^2(j)m_{11}(1) + w_2^2(j)m_{22}(1) + \dots + w_m^2(j)m_{mm}(1), \quad (9)$$

где  $m_{ii}$  - начальные значения диагональных элементов выборочной ковариационной матрицы т.е.

$$t_r M_{xx}(1) = \sum_{i=1}^n z_{ii}(1). \quad (10)$$

Перегруппировав (9) и (10), получаем:

$$w_m^2(j)m_{mm}(1) + K \sum_{i=1}^n w_i^2(j)m_{ii}(1) = t_r M_{xx}(1), \quad (11)$$

где  $K = \frac{t_r M_{xx}(1) - w_m^2(j)m_{mm}(1)}{\sum_{i=1}^n w_i^2(j)m_{ii}(1)}$  - нормирующий множитель, предназначенный для сохранения неизменности следа  $t_r M_{xx}$  при изменении весовых множителей  $w_m(j)$ .

Очевидно, область определения весовых множителей  $w_m(j)$  находится в интервале

$$0 \leq w_m(j) \leq \sqrt{\frac{t_r M_{xx}(1)}{M_{mm}(1)}}. \quad (12)$$

Адаптивное выравнивание уровней шумов по  $n$ -каналам приема будет осуществляться путем решения оптимизационной задачи максимизации минимального собственного значения

$$\max\{\lambda_n(w_1, w_2, \dots, w_n)\}. \quad (13)$$

Процедура выравнивания (11) при этом выступает в роли одного из ограничений оптимизационной задачи.



Рис. 2. Алгоритм адаптивного обнаружения и вычисления количества активных АС

Алгоритм адаптивной задачи по обнаружению и вычислению количественных АС представлен на рис. 2

Максимизация значения критерия оптимальности (13) может быть выполнена методом координатного спуска. При этом максимумы  $\lambda_i$  должны находиться на интервале (12) по каждому из весовых множителей  $w_m(j)$ .

### Выводы

1. Среди различных методов определения числа сигналов АС наиболее конструктивным представля-

ется метод, основанный на анализе спектра собственных значений выборочной ковариационной матрицы, поскольку она содержит всю информацию на момент формирования выборки о сигналах и шумах участвующих в создании спектра.

2. Предложена процедура модернизации параметров выборочной ковариационной матрицы для случая неравновесного по каналам приема уровня сигналов и помех.

3. Предложена оптимизационная процедура, позволяющая адаптивно выравнивать значения уровней шумовых компонент, что приводит данную ситуацию к стандартному виду.

### Литература

1. Радзиевский, В. Г. Алгоритмы обнаружения и пеленгования совокупности частотно-неразделимых сигналов [Текст] / В.Г. Радзиевский, В.А. Уфаев // Радиотехника. – 2005. – № 9. – С.71–77.
2. Сычев М.И. Пространственно-временная обработка радиосигналов на основе параметрического спектрального анализа [Текст] / М.И. Сычев // Антенны. – 2001. – №1. – С. 70 – 77.
3. Обшитиков А.И. Оценка эффективности быстрокоммутируемых многолучевых кольцевых решеток подвижной радиосвязи на основе метода Монте-Карло [Текст] / А.И. Обшитиков // Радиотехника. – 2008. – №3. – С. 96 –101.

### Abstract

*While solving the spatio-temporal access problems of abonent stations in the modern wireless broadband telecommunication systems it is necessary, as an advanced procedure, to solve the problem of detecting of the abonent station application to get the necessary channel resource for communication and further evaluation of the number of such stations. This provides an efficient distribution of spatio-temporal resource, formed by multibeam array used at the system base station.*

*Among different methods of detecting of abonent stations applications, the most constructive is based on the analysis of the spectrum of proper values of selective covariance matrix, which contains all necessary information for the moment of formation of sample about signals and noise, involved in the creation of a spectrum.*

*The article focuses on the procedures of detecting and evaluation of the active abonent stations in different conditions of signal jamming environment.*

*The modernization of parameters of selective covariance matrix is suggested for the unbalanced signal and noise receipt.*

*Solutions to this problem are given in relation to a particular signal-jamming environment, and conditions of operation of wireless broadband communication systems differ by a considerable level of prior uncertainty regarding the useful signals as well as operating noise.*

*An optimization procedure that helps to equalize adaptively the value of the noise components levels, that makes the examined situation typical, was suggested*

**Keywords:** abonent station, detecting, application, spatio-temporal access, selective covariance matrix