

# АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ В ТРАКТАХ РЛС

Егоров А.В, Конопелько Я.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Матюшков А.Л. – к.т.н., доцент

В работе рассматриваются основные принципы функционирования адаптивных антенных решеток. Изучаются алгоритмы пространственной фильтрации сигналов в приемных трактах РЛС с адаптивной антенной решеткой. Расчет весовых коэффициентов осуществляется на основе рекурсивного алгоритма наименьших квадратов (RMS). В работе решается задача математического моделирования с целью подтверждения эффективности рассмотренного метода адаптивной фильтрации шумовых помех.

Антенная решетка (АР) – в общем виде представляет собой набор антенных элементов определенным образом размещенных в пространстве.

Адаптивной антенная решетка становится благодаря алгоритмам пространственной обработки сигнала (рисунок 1). Эти алгоритмы анализируют принимаемый сигнал и рассчитывают весовые коэффициенты, значение которых позволяют менять форму диаграммы направленности АР.

Адаптивная пространственная фильтрация позволяет эффективно решать задачи подавления помех в приемных трактах. Это достигается путем адаптивного формирования диаграммы направленности АР с провалами в направлениях на источники помех и поддержания требуемого уровня отношения сигнал/шум.

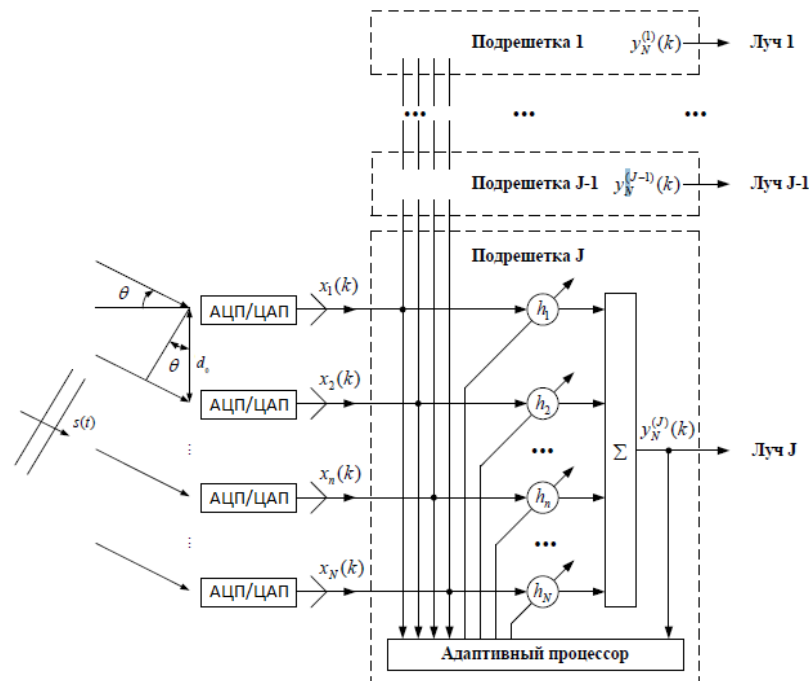


Рисунок 1 – Структура адаптивной антенной решетки

В адаптивных АР для упрощения процесса формирования опорного сигнала для фильтров применяется входной сигнал с константным значением модуля информационных символов (СМ-сигнал). [4]

В общем случае адаптивная обработка СМ-сигналов основывается на минимизации многоэкстремальной целевой функции:

$$J(p, q) = E[|s^p - |y(k)|^p|^q], \quad (1)$$

где  $s = |a_i| = \sqrt{a_i^* a_i} = \text{const}$  – значение модуля информационных символов  $a_i$ . [3];

$y(k) = h_N^H(k)x_N(k)$  - выходной сигнал АР;

$k$  – номер итерации алгоритма адаптивной фильтрации;

$p$  и  $q$  – параметры, используемые в обозначении СМ-алгоритмов и их целевых функций;

Из работы [4] следует, что если  $p = q = 2$ , то: многоэкстремальную функцию (1) можно

преобразовать в квадратичную унимодальную функцию:

$$J'(2,2) = E \left[ |s^2 - h_N^H(k)z_N(k)|^2 \right], \quad (2)$$

где  $z_N(k) = x_N(k)x_N^H(k)h_N(k-1) = x_N(k)y^*(k)$ , (3)

Совместное применение целевой функции (2) и линейных ограничений (LC), широко используются в алгоритмах адаптивной обработки сигналов в цифровых АР, рассмотренных в этой работе.

Применяемые в данной работе адаптивные фильтры основаны на работе LC RLS (Recursive Least Square).

Вектор комплексных весовых коэффициентов  $h_N(k)$ , вычисляемый на базе таких алгоритмов имеет вид:

$$h_N(k) = \hat{R}_N^{-1}(k)r_N(k) + \hat{R}_N^{-1}(k)C_{NJ}[C_{NJ}^H\hat{R}_N^{-1}C_{NJ}]^{-1}[f_j - C_{NJ}^H\hat{R}_N^{-1}(k)\tilde{r}_N(k)] \quad (4)$$

Работоспособность и функциональная эффективность алгоритмов были подтверждены моделированием адаптивной АР с числом радиоэлементов  $N = 8$ , расстоянием между ними  $d_0 = 0.5 \lambda_0$ . 3 луча АР были ориентированы  $0^\circ, 20^\circ$  и  $40^\circ$  в направлении источников сигналов. Помеха, представленная в виде белого гауссова шума моделировалась с направления  $-40^\circ$

Результаты моделирования представлены на рисунках 2,3

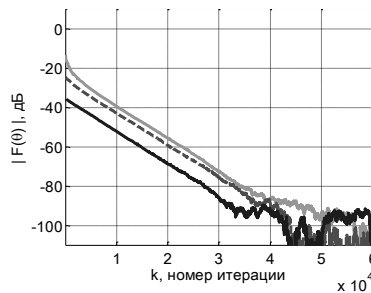


Рисунок 2 – Подавление уровня не коррелируемой помехи

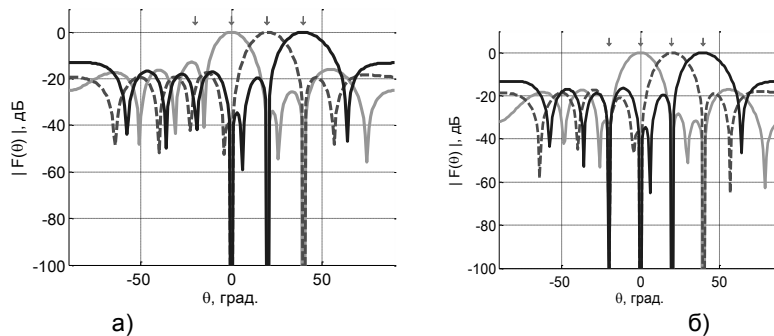


Рисунок 3 – Формирование провалов ДН на источник помехи: а) – в начальном состоянии; б) – после адаптивной фильтрации

Из рисунков мы можем увидеть, что применение алгоритмов адаптивной пространственной фильтрации в АР позволяет эффективно подавлять некоррелируемые помехи в приемном тракте, путем формирования провалов в ДН, при сохранении необходимого уровня основного лепестка.

**Список использованных источников:**

1. Григорьев, Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках/ Л.Н. Григорьев. – М.: Радиотехника, 2010 – 144 с.
2. Активные фазированные антенные решетки/ Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 408с.
3. Benvenuto N, Cherubini G. Algorithms for communication systems and their applications, Hoboken: John Wiley and Sons, Inc., 2002. – 1285 p.
4. Chen Y., Le-Ngoc T., Champagn B., Xu C. Recursive least squares constant modulus algorithm for blind adaptive array // IEEE Trans. Signal Processing. – 1985. – Vol. 33. – No. 2. – P. 1452–1456.
5. Джиган В.И. Вычислительно эффективный линейно-ограниченный комплексный RLS-алгоритм в арифметике действительных чисел // Доклады 14-й Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применения (DSPA-2012)» (Российская академия наук: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 28 – 30 марта 2012 г.). – Москва, 2012. – Том 1. – С. 77–81.