

*На основе установленных аналогий с адаптивной пространственной обработкой сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты предложена структурная схема адаптивных антенных решеток, обеспечивающая реализацию G-робастных алгоритмов адаптивной пространственно-временной обработки сигналов при наличии пространственно-мерцающих (оптимизированных) помех.*

## АДАПТИВНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПОМЕХ

*Л.А. Титаренко*

*Кандидат технических наук; старший научный сотрудник; докторант Харьковского национального университета радиоэлектроники, пр-т Ленина 14, г. Харьков, 61166,  
e-mail: tkc@kture.kharkov.ua*

При создании G-робастных алгоритмов адаптивной пространственно-временной обработки сигналов (АПОС) неявно предполагается, что помехи являются оптимизированными в том смысле, что их частотно-временные характеристики тождественны соответствующим характеристикам полезного сигнала. Вместе с тем возможны ситуации, когда помехи являются оптимизированными с учетом АПОС (пространственно-мерцающие помехи). По существующим взглядам, наличие таких помех достаточно маловероятно. Однако, как с теоретической, так и с прикладной точек зрения, оценка возможности осуществления адаптивной пространственной обработки сигналов с неточно известными параметрами в условиях мерцающих помех представляет безусловный интерес. Кроме того, при построении адаптивных пространственных разделителей, предназначенных для использования в условиях полной априорной неопределенности о характеристиках адаптивных антенных решеток (ААР), обычно используется гипотеза о негауссовости входных сигналов (существовании кумулятивных функций четвертого порядка). Следовательно, применительно к таким системам в определенном смысле оптимизированной является гауссовская помеха. Поэтому практически важным является также вопрос о возможности построения разделителей, способных осуществить выделение негауссовского сигнала на фоне пространственно-локальной гауссовской помехи.

### Адаптивная антенная решетка для подавления пространственно-мерцающих помех

Наличие помех, создаваемых источниками, пространственное положение которых изменяется во времени с интервалом  $\Delta\tau \leq \tau_0$  ( $\tau_0$  - время сходимости алгоритма АПОС), приводит к тому, что ААР постоянно находится в переходном режиме, то есть имеет место эффект "неподавления помехи". Очевидно, что указанный эффект в равной мере присущ ААР, реализующим как традиционные, так и G-робастные алгоритмы АПОС. Вместе с тем, известно, что точно такой же эффект "неподавления" имеет место в случае адаптивной пространственной обработки сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) на фоне "широкополосной" помехи [1]. Следовательно, для борьбы с мерцающими помехами

можно использовать подходы, применяемые при построении ААР, предназначенных для приема сигналов с ППРЧ. Единственное различие отмеченных ситуаций заключается в том, что на приемной стороне априори неизвестен момент скачкообразного изменения направления прихода помехи (поскольку одна из наиболее общих моделей формирования мерцающих помех заключается в попеременном включении источников помех с фиксированным пространственным положением). Однако из литературы известно большое число методов, позволяющих обнаруживать скачкообразные изменения параметров входных сигналов (сигналов и помех) [2,3]. Более того, в простейшем случае устройство, позволяющее обнаружить такие скачкообразные изменения, можно реализовать на основе экспресс-оценки обусловленности выборочной корреляционной матрицы входных сигналов [4].

Таким образом, исходя из отмеченных аналогий между АПОС в условиях пространственно-мерцающих помех и адаптивной пространственной обработки сигналов с ППРЧ, на основе результатов [1] приходим к представленной на рис. 1 модификации структурной схемы ААР. В случае такой ААР наличие пространственно-мерцающих помех приводит только к увеличению времени сходимости процесса адаптации. При этом увеличение времени сходимости процесса адаптации прямо пропорционально числу пространственных положений источников помех. Однако увеличение времени сходимости процесса адаптации не является обязательной платой за возможность подавления мерцающих помех. Действительно, поскольку помехи, создаваемые пространственно-разнесенными источниками, можно считать взаимно независимыми, то существует возможность оценивания соответствующих векторов  $\vec{V}_i$ ,  $i = 1, L$  ( $L$  - число пространственных положений источников помех). В частности, на основе методов, изложенных в [5, 6, 7], приходим к структурной схеме ААР, представленной на рис.2. Данная ААР может обеспечивать формирование как нескольких "нулей", так и одного "уплощенного" минимума характеристики направленности. Таким образом, наличие мерцающих помех не является условием, принципиально затрудняющим применение адаптивной пространственной обработки сигналов с неточно известными параметрами. При этом теория G-робастной АПОС позволяет получить совершенно нетрадиционные решения, например ААР, показанную на рис. 2.

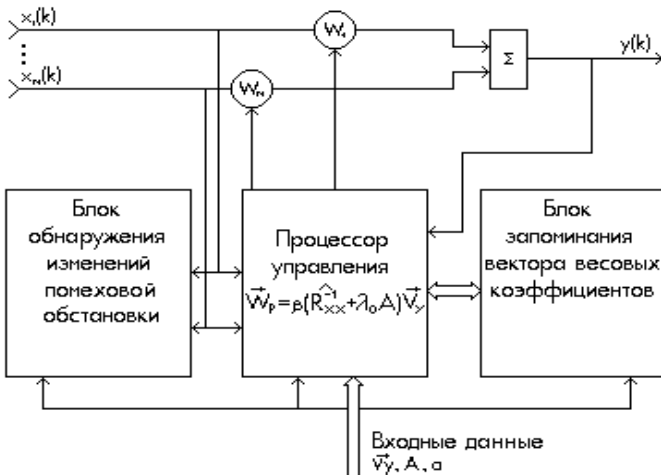


Рисунок 1.

### Адаптивная антенная решетка для разделения негауссовских сигналов на фоне гауссовской помехи

Для наглядности рассмотрим 3-х элементную ААР, осуществляющую на основе G-робастных алгоритмов разделение двух негауссовских сигналов. При этом будем считать, что необходимые для осуществления разделения векторы  $\vec{V}_1, \vec{V}_2$  оцениваются с помощью процедуры, основанной на совместной диагонализации кумулянтных матриц. Положим также, что число выходов ААР равно числу входов (числу антенных элементов). Очевидно, что если на входе ААР присутствует третий сигнал (гауссовская помеха), то этот сигнал будет иметь место на всех трех выходах (кумулянтные функции четвертого порядка гауссовского случайного процесса равны нулю). Вместе с тем, ни на одном из выходов ААР не будут одновременно присутствовать разделяемые негауссовские сигналы. Следовательно, гауссовская помеха всегда может быть устранена на основе компенсационных методов (любой из выходов ААР можно считать основным каналом адаптивного компенсатора помех, а оставшиеся два выхода - использовать для формирования соответствующего опорного канала [8]).

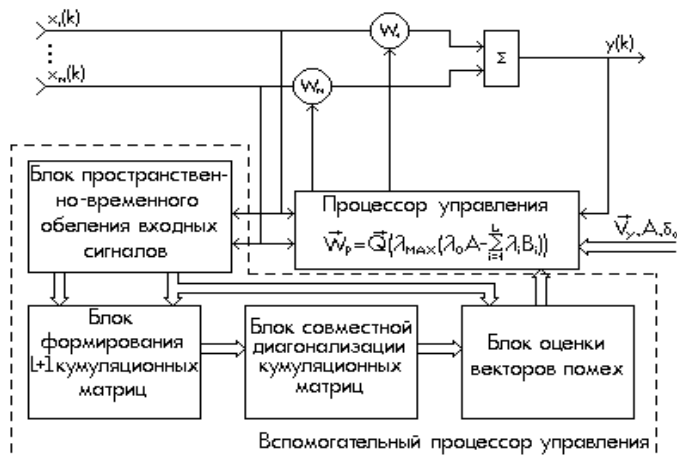


Рисунок 2.

Применяя компенсационный подход, приходим к структурной схеме ААР, представленной на рис. 2, которая обобщается на N-мерный случай и обеспечивает по-

давление двух и более гауссовских помех. В данном решении «платой» за возможность подавления гауссовской помехи является удвоение числа выходов. Однако с технической точки зрения такая «плата» не является существенным ограничением. Таким образом, возможность наличия гауссовских помех ни в какой мере не может рассматриваться как фактор, принципиально препятствующий использованию в линиях радиосвязи ААР, реализующих G-робастные алгоритмы адаптивного пространственного разделения сигналов.

В заключение можно сделать вывод, что на основе установленных аналогий с адаптивной пространственной обработкой сигналов с ППРЧ предложена структурная схема ААР, обеспечивающая реализацию G-робастных алгоритмов АПОС при наличии пространственно-мерцающих (оптимизированных) помех. В данном схемно-конструкторском решении реализуется метод запоминания весовых коэффициентов и устранение деструктивного воздействия мерцающих помех достигается за счет увеличения времени сходимости процесса адаптации. Вместе с тем, на основе метода непараметрического адаптивного пространственного разделения создана адаптивная антенная решетка, обеспечивающая одновременное формирование нулей характеристики направленности в направлениях, соответствующих всем возможным направлениям прихода мерцающей помехи. Кроме того, на основе комбинирования метода G-робастного адаптивного пространственного разделения и традиционного компенсационного метода разработана структурная схема ААР, обеспечивающая решение задачи разделения негауссовских сигналов на фоне шума и гауссовских помех.

### Литература

1. Титаренко Л.А. Особенности адаптивной пространственно-временной обработки сигналов с ППРЧ // Радиотехника. - Харьков. - № 123. - 2001. - с. 191-195.
2. Мальцев А.А., Силаев А.И. Синтез алгоритмов настройки адаптивных систем при нестационарной помеховой обстановке с импульсными и скачкообразными возмущениями. // Известия вузов. Радиофизика. - 1985, т. 28. - № 11. - с. 1413 - 1420.
3. Wu H. - T., Yang J. - F., Chen F. - K. Source number estimators using transformed Gershgorin Radii. // IEEE Trans. Signal Processing. - 1995. - Vol. 43. - № 6, pp. 1325 - 1333.
4. Лукин В.Н., Мищенко И.Н., Молочко С.В. Основные направления создания интегрированной бортовой аппаратуры системы связи, навигации и опознавания в США. // Зарубежная радиоэлектроника. - 1987, № 8.
5. Марчук Л.А., Титаренко Л.А., Ефимов А.В. Синтез алгоритмов с обратной связью для адаптивного пространственного разделения сигнала и помех // Радиотехника. - Харьков. - № 107. - 1998. - с. 68-71.
6. Марчук Л.А., Нохрин О.А., Титаренко Л.А., Савельев А.Н. A robust adaptive antenna array for signal separation, Proc. of 3rd Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, Sevastopol, Ukraine, 1999, p. 290-292.
7. Титаренко Л.А. Method of robust algorithm synthesis for separation signals and interference in adaptive antenna arrays // Радиотехника. - Харьков. - № 120. - 2001. - с. 64-66.
8. Лосев Ю.И. и др. Адаптивная компенсация помех в каналах связи. - М.: Радио и связь, 1988. - 208 с.