

## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ АЛГОРИТМОВ ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ СИГНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Е. А. Кожевников

НИИЦ (систем связи) ФГУ «27 ЦНИИ Минобороны России»

Получена 6 сентября 2011 г.

**Аннотация.** В известных адаптивных устройствах используется априорная информация о различиях в направлении прихода полезного сигнала и подавляемых помех, что приводит к невозможности обеспечения заданного отношения мощности полезного сигнала к мощности помех в условиях априорной неопределенности изменяющихся во времени направлений прихода полезного сигнала и помех. В предлагаемом алгоритме управление осуществляется по двухконтурной схеме по помехе и сверточному широкополосному сигналу по принципу экстремального регулирования с использованием ортогональных поисковых колебаний и синхронного детектирования. В режиме поиска и синхронизации управление ведется не по максимуму отношения сигнал/помеха+шум, как в известных системах, а по минимуму суммарной мощности сигнала и помех. После того, как отношение сигнал/помеха+шум достигнет порогового значения, управление ведется по сигналу «свертки» широкополосного сигнала.

**Ключевые слова:** Устройство, сигнал, информация, управление, помеха.

**Abstract.** Common adaptive circuits use priory information on difference in the direction of the desired signal and suppressed interferences arrival, which results in the inability to provide a required ratio of the desired signal strength to the interferences strength in the conditions of priory ambiguity of time-varying directions of the desired signal and interferences arrival.

In the suggested algorithm it is managed under the two-loop circuit for the interference and the high-precision broadband signal under the principle of peak-

holding (optimizing) control using orthogonal search oscillations and synchronous detection.

In the search and synchronization mode adjustment is carried out not under the maximal signal/interference +noise as in commonly used systems, but under the minimum of total signal strength and noise. After the ratio of signal/interference +noise at the output reaches threshold value the system is managed under the broadband signal convolution.

**Keywords:** Circuits, signal, information, direction, interference.

Исследованию проблем помехозащищенности посвящено огромное количество работ, в которых проанализированы практически все физически осуществимые способы адаптивной обработки сигналов, в том числе комбинированные. Все они основаны на критериях максимума отношения сигнал/шум или минимума среднеквадратической ошибки при воздействии помех по боковым или задним лепесткам диаграммы направленности системы [1, 2].

Выбор алгоритмов управления пространственной селекцией определяет сложность построения адаптивных систем, в частности антенной системы, а также потенциально достижимое значение степени подавления помех.

При выборе алгоритма были учтены следующие показатели:

- степень подавления помех;
- время сходимости процесса адаптации;
- быстродействие алгоритма в сеансных режимах короткими пакетами;
- чувствительность к динамизму сигнально-помеховой обстановки.

В последние 15-20 лет большое внимание уделяется алгоритму Калмана [1], который считается оптимальным в нестационарных условиях. Одна из основных проблем алгоритма Калмана – процедура ортогонализации входных колебаний. Эта проблема частично решается использованием процедуры Грамма-Шмидта [1], однако реализация данной процедуры требует резкого

увеличения весовых коэффициентов петель адаптации, что серьезно увеличивает аппаратные и вычислительные затраты, особенно при реализации устройств весовой обработки на сверхвысоких частотах (СВЧ). Вместе с тем, вынос устройств весовой обработки с промежуточных частот на СВЧ очень важен, т.к. позволяет избежать проблем, связанных с неидентичностью АЧХ и ФЧХ трактов приема на промежуточных частотах, малым динамическим диапазоном, сложностью реализации. Устройства весовой обработки на СВЧ работают в облегченном режиме, т.к. после подавления помех на их входе присутствует сигнал меньшего уровня (на величину коэффициента подавления). При этом можно получить минимальные фазовые сдвиги в приемных трактах, т.к. в цепях анализа присутствует только МШУ, что позволяет подавлять широкополосные помехи в широкой полосе частот.

Одним из алгоритмов, обеспечивающих реализацию в цифровой форме, является метод прямого вычисления весовых коэффициентов [1, 2], предполагающий непосредственное обращение ковариационной матрицы помех. Однако по времени сходимости процесса адаптации и быстрдействию этот алгоритм, как и алгоритм Калмана, не может быть реализован в спутниковых и тропосферных станциях, т.к. он предполагает априорные знания или измерение корреляционной матрицы, что невозможно в условиях динамичной сигнально-помеховой обстановки.

Известен ряд практических вариантов построения адаптивных систем подавления помех, основанных на градиентных методах поиска оптимального значения вектора весовых коэффициентов, в основу которых положены алгоритмы Уидроу, Аппельбаума и Ширмана. Однако все они реализуются на частотах до 100 МГц для подавления узкополосных помех с шириной спектра до 1 МГц.

Проблема выбора алгоритма адаптивных систем применительно к линиям спутниковой и тропосферной связи дополнительно усложняется по следующим причинам:

- в этих линиях используются сигналы ФМ ШПС, ППРЧ, выбор оптимальной частоты (ОРЧ), автоматическая регулировка мощности, адаптация по скорости передачи информации, т.е. уровень принимаемого сигнала характеризуется большой нестабильностью. Постановщики помех часто размещаются на летно-подъемных средствах, т.е. уровень преднамеренных помех также нестабилен;
- при прохождении ФМ ШПС фаза сигнала сильно флуктуирует и становится мало информативной;
- при организации передачи информации возникает задача приема сигналов при непрерывных изменениях направления их прихода в условиях помех, т.е. в условиях динамизма сигнально-помеховой обстановки. При приеме сигналов с ППРЧ при малом времени стояния на частоте процесс адаптации завершится не успеваает.

Таким образом, возникают следующие задачи:

- разработать универсальный, технически реализуемый алгоритм подавления помех в системах с применением сигналов ФМ ШПС и ППРЧ и адаптивную систему приема этих сигналов;
- подавление помех должно осуществляться как при наличии сигнала, так и без сигнала, т.е. должны готовиться условия для приема полезного сигнала.

В отличие от многочисленных алгоритмов пространственной селекции, использующих априорную информацию о различиях в направлениях прихода полезного широкополосного сигнала и подавляемых помех, в предлагаемом алгоритме дополнительно используется информация о различиях в структуре полезного сигнала и помехи, а для управления используются результаты «свертки» полезного широкополосного сигнала. В результате за счет самофокусировки по полезному сигналу происходит преобразование исходной изотропной диаграммы направленности в диаграмму с максимумом в

направлении сигнала, в направлении помех автоматически формируются «нули».

При слишком малом отношении сигнал/шум на входе приемника максимальные амплитуды импульсов «свертки» могут соответствовать шумовым выбросам, т.е. достоверно измерить это отношение невозможно, однако можно определить, что оно мало по случайности получаемых результатов (величин и временных положений импульсов «свертки»).

В этом случае нужно изменить алгоритм адаптации и вести управление не по максимуму выходного отношения сигнал/помеха+шум, а по минимуму сигнал/помеха+шум принимаемой смеси сигнала и помех, т.к. эта мощность определяется в этом случае помехами. После того, как отношение сигнал/шум на выходе достигнет порогового значения, управление ведется по сигналу «свертки».

Управление в системе осуществляется по принципу экстремального регулирования с использованием поисковых ортогональных колебаний. В качестве критерия оптимальности выбран критерий максимума отношения сигнал/помеха+шум. Условием оптимальности является:

$$\frac{P_c}{P_n + P_{ш}} = \max \quad (1)$$

$$\left[ \frac{dP_c}{dw} (P_n + P_{ш}) - \frac{d(P_n + P_{ш})}{dw} P_c \right] = 0 \quad (w = w_1), \quad (2)$$

где  $P_c$  – мощность полезного сигнала на выходе,

$P_n$  – мощность помехи на выходе,

$P_{ш}$  – мощность собственных шумов приемного тракта,

$w$  – вектор весовых коэффициентов.

Из (1, 2) следует, что для настройки по максимуму отношения сигнал/помеха+шум необходимо разделить полезный сигнал и помеху с шумом, оценить мощности сигнала и смеси помехи с шумом, определить их производные и произвести нормирование.

Предлагаемый алгоритм реализуется в схеме на рисунке 1.

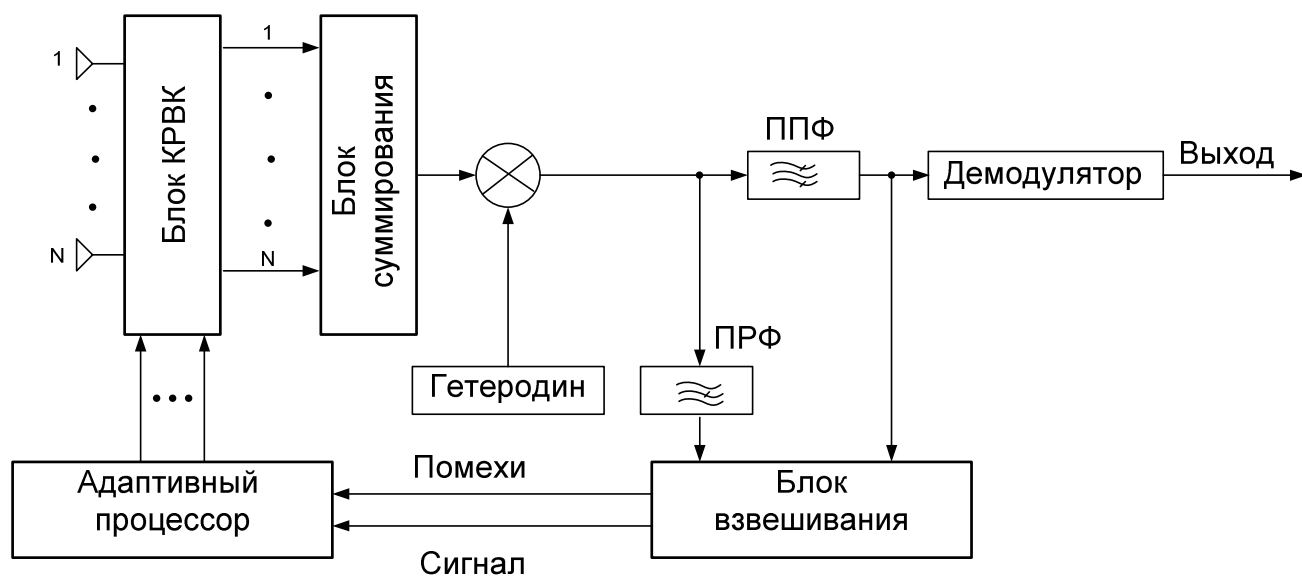


Рис.1.

Рисунок 1 – Схема обработки сигнальных методов и методов пространственно-временной обработки широкополосных сигналов.

В этой схеме на выходе смесителя происходит «свертка» широкополосного сигнала.

Далее подключены две цепи: в одной установлен полосовой перестраиваемый фильтр, обеспечивающий пропускание свернутого ШПС, в другой включен перестраиваемый режекторный фильтр, пропускающий помеху с вырезанной полосой свернутого сигнала, его выходное напряжение пропорционально уровню помех.

Напряжение помехи и сигнала обрабатываются адаптивным процессором, который управляет весовыми коэффициентами с использованием градиентного метода по принципу экстремального регулирования с использованием поисковых ортогональных колебаний и синхронного детектирования.

Таким образом, предложен простой алгоритм подавления помех в системах с применением сигналов ФМ ШПС и ППРЧ и адаптивная система

приема этих сигналов, в котором подавление помех осуществляется как при наличии сигнала, так и без сигнала.

### **Литература**

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986.-448 с.
2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.-440с.
3. Блинов И.Н., Голуб В.М., Аносов А.М. , Тузов Г.И. Устройство для компенсации помех. Авт. свидетельство № 296974 от 03.07.1989г.
4. Блинов И.Н., Голуб В.М., Аносов А.М. Адаптивная система приема широкополосных сигналов. Авт. свидетельство № 1781826 от 15.08.1992г.
5. Блинов И.Н., Аносов А.М., Голуб В.М. Адаптивная система приема широкополосных сигналов для низкоорбитальных систем спутниковой связи. Труды НТК. Проблемные вопросы сбора, обработки и передачи информации в сложных радиотехнических системах. – Спб., 1994 г.
6. Е.Е.Исаков. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. -Спб., 2009 г.,400с.