

У роботі запропонований адаптивний до сигнально-завадової обстановки метод цифрової обробки сигналів на основі вейвлет перетворень у прийомних каналах систем радіодоступу МІМО. В цьому методі не потрібні в реальному часі розрахунки імпульсних характеристик високочастотних і низькочастотних вейвлет фільтрів та оптимальних параметрів фільтрації для різних значень ВСШ

Ключові слова: системи радіодоступу МІМО, вейвлет фільтрація

В работе предложен адаптивный к сигнально-помеховой обстановке метод цифровой обработки сигналов на основе вейвлет преобразований в приемных каналах систем радиодоступа МІМО. В этом методе не требуются в реальном времени расчеты импульсных характеристик высокочастотных и низкочастотных вейвлет фильтров и оптимальных параметров фильтрации для различных значений ОСШ

Ключевые слова: системы радиодоступа МІМО, вейвлет фильтрация

In this paper adaptive to signal-disturbance conditions a digital signal processing method on a wavelet transformations basis on the receiving channels of MIMO radio access systems is offered. This method are not required calculations of pulse responses high and low-frequency wavelet filters and optimum parametres of a filtering for various SNR values in real time

Key words: MIMO radio access systems, wavelet filtering

АДАПТИВНИЙ К СИГНАЛЬНО- ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКЕ МЕТОД ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ПРИЕМНЫХ КАНАЛАХ СИСТЕМ РАДИОДОСТУПА МІМО

А. В. Марчук

Аспирант

Кафедра телекоммуникационных систем
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники

пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактний тел.: 702-13-20

E-mail: tsm-01-2@ukr.net

В LAN и MAN системах радиодоступа МІМО сигнально - помеховая обстановка определяется влиянием множества распределенных в пространстве объектов, которые отражают, рассеивают, поглощают и дифрагируют лучи, а также состоянием атмосферы. Для мобильных систем связи МІМО влияние флуктуации параметров отражения, рассеяния, поглощения, дифракции на объектах в пространстве между антеннами передатчика и приемника возрастает с увеличением скорости движения терминалов абонентов. Возможно также воздействие на систему связи сосредоточенных помех от внешних источников, что дополнительно усложняет задачу различения сигналов на приемной

стороне систем МІМО. Поэтому является весьма актуальной разработка методов обработки сигналов в системах МІМО на приемной стороне, которые обеспечивают малый уровень ошибок в условиях реальной помеховой обстановки.

Традиционно для решения задач фильтрации в системах связи применяются методы Фурье. Однако эффективность таких методов применительно к цифровым сигналам, содержащих скачки, резкие переходы во временной области и, кроме того, имеющих сложную спектральную структуру часто оказывается весьма низкой. Это свидетельствует о целесообразности использования методов анализа, выявляющих

локализованные по времени частотные свойства. К таким методам относятся методы частотно-временного анализа, в частности, вейвлет анализ [1,2]. В отличие от методов Фурье при вейвлет анализе можно подобрать вейвлет функции, при использовании которых элементы разложения имеют информативность приближающуюся к собственному базису. Использование более эффективного разложения Карунена-Лоева не оправдано из-за вычислительной сложности.

При использовании вейвлет преобразований декомпозиция сигнала позволяет получить доступ к детализирующим коэффициентам. Задав определенный порог для их уровня и «отсекая» коэффициенты ниже этого порога, можно значительно снизить уровень шума. Возможны различные типы порогов ограничения: мягкий или гибкий и твердый или жесткий. При этом устанавливаются различные правила выбора порога: адаптивный порог, эвристический, минимаксный и др. Но самое главное состоит в том, что пороговый уровень можно устанавливать для каждого коэффициента отдельно. Это позволяет строить адаптивные к изменениям сигнално - помеховой обстановки методы цифровой обработки сигналов.

Возможности использования вейвлет фильтрации в каналах системы связи MIMO исследовались в среде программирования MATLAB. Оценивалась вероятность битовой ошибки при различных значениях отношения энергии бита полезного сигнала к спектральной плотности шума E_b/N_0 без использования и с применением вейвлет фильтрации для различных алгоритмов обработки вейвлет коэффициентов, с использованием модуляция QAM-16.

Результаты моделирования для случаев E_b/N_0 до фильтрации равных 0 и 10 дБ ... приведены на рис. 1.

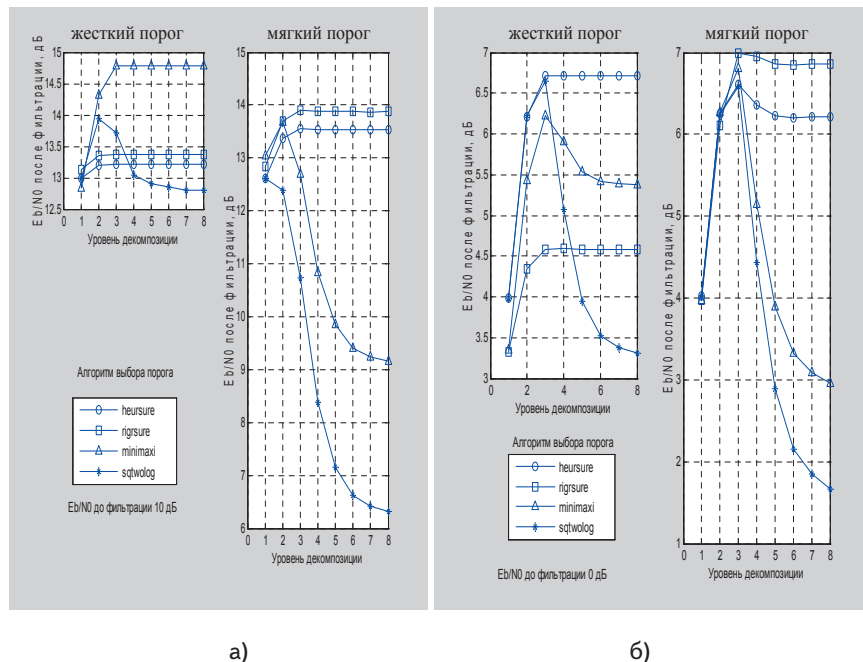


Рис. 1. Зависимости E_b/N_0 от уровня декомпозиции для различных алгоритмов вейвлет фильтрации

Из приведенных графиков следует, что при малых уровнях сигнала, когда отношение E_b/N_0 до фильтрации принимает значения от 0 до 5 дБ эффекти-

вен алгоритм вейвлет обработки RIGSURE с порогом SOFT и глубиной декомпозиции 3 и больше, а для сильных сигналов, когда E_b/N_0 до фильтрации равно 5 дБ и выше (в исследованиях до 20 дБ), - эффективен алгоритм MINIMAXI с порогом HARD и глубиной декомпозиции 3 и больше. Для выбранных алгоритмов цифровой вейвлет обработки использование глубины декомпозиции выше 3-х практически не дает прироста эффективности обработки. Использование других алгоритмов в ряде случаев очень критично к глубине декомпозиции. Применение глубокой декомпозиции во всех алгоритмах не дает после 3-го уровня существенного прироста E_b/N_0 , но приводит к существенному росту объемов вычислений.

Уровень исходного $E_b/N_0 = 5$ дБ имеет две характерные особенности: 1) три алгоритма (HEURSURE и RIGRSURE с типом порога SOFT и MINIMAXI с типом порога HARD) при уровне декомпозиции свыше 3-х почти равноценны по эффективности фильтрации; 2) исходное значение E_b/N_0 до фильтрации равное 5 дБ является границей, на которой происходит смена между алгоритмами с типами порогов HARD и SOFT, обеспечивающих эффективную фильтрацию.

Проведено также моделирование применения вейвлет фильтрации в системе MIMO с сигналами QAM-N, где N целые числа от 2 до 64. Получено, что в качестве приближенного решения можно использовать те же алгоритмы, что и для системы с модуляцией QAM – 16.

При практическом использовании системы MIMO отношение сигнал/шум на приеме может изменяться и, соответственно, будут изменяться параметры вейвлет фильтрации, обеспечивающие оптимальную фильтрацию. Выбор оптимальных параметров фильтрации в зависимости от сигнално - помеховой обстановки в точке приема приобретает особое значение для мобильных абонентов.

Проведенные исследования позволили предложить адаптивный к сигнално - помеховой обстановке алгоритм вейвлет фильтрации сигналов на приеме в системах радиодоступа MIMO. Схема, поясняющая метод адаптивной фильтрации показана на рис. 2.

В системах радиодоступа MIMO для решения задачи разделения пространственных каналов и управления распределением мощностей на передающей стороне используются периодически посылаемые пилотные сигналы. Эти сигналы в предложенном методе используются также для измерения отношения сигнал/шум. Принятый после прохождения радиоканала пилотный сигнал подается на измеритель отношения сигнал/шум и ОСШ (рис. 2), в котором хранится копия исходного пилотного сигнала. Значение ОСШ подается на программное решающее устройство РУ. В программе РУ хранятся наборы оптимальных параметров вейвлет фильтрации для различных значений

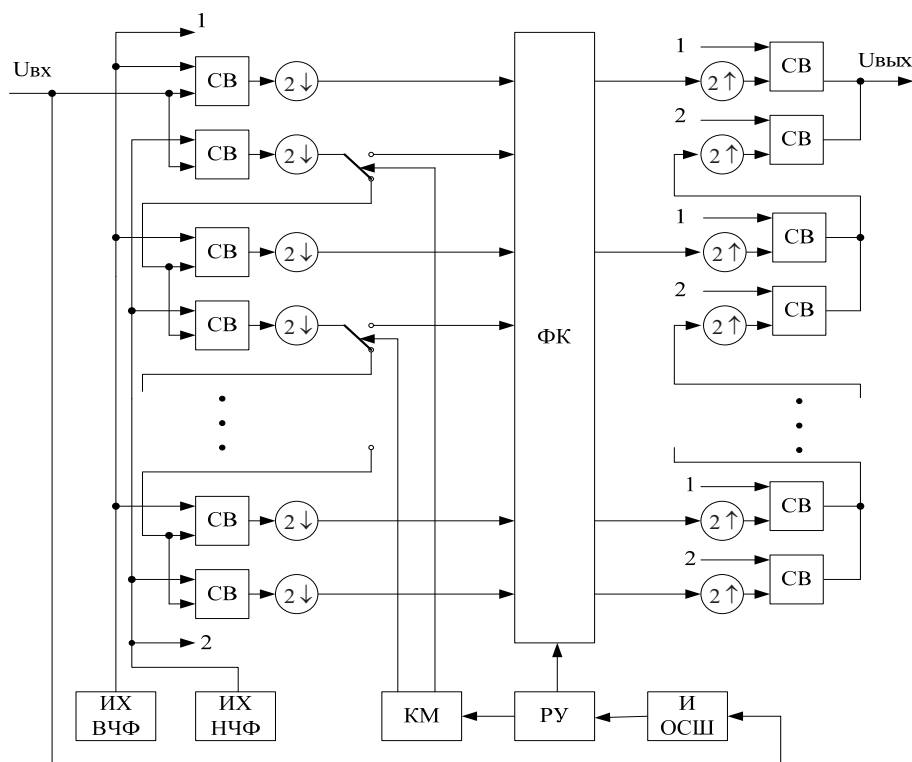


Рис. 2. Схема адаптивной вейвлет фильтрации

ОСШ и различных видов модуляции сигналов, рассчитанные заранее по приведенной выше методике. Из базы данных параметров оптимальной вейвлет фильтрации считывается набор оптимальных значений уровней фильтрации, вида порога и алгоритма обработки вейвлет коэффициентов для измеренного ОСШ. Значение уровня фильтрации подается на коммутатор КМ, включающий заданное число уровней программной вейвлет декомпозиции по схеме 2, а остальные параметры вейвлет фильтрации подаются на программный фильтр вейвлет коэффициентов ФК для включения программы оптимального алгоритма обработки вейвлет коэффициентов, поступающих на входные порты ФК.

Декомпозиция входного сигнала $U_{вх}$ на временном интервале между пилотными сигналами выполняется программно по древовидному алгоритму. Блоки СВ выполняют операцию свертки отсчетов функции исходного сигнала и отсчетов импульсной характеристики высокочастотного ИХ ВЧФ и низкочастотного ИХ НЧФ фильтра для выбранного типа вейвлет функции. Для QAM сигналов выбирается вейвлет Хаара, так как форма этой вейвлет функции близка к форме полезного сигнала.

Операция свертки для отсчетов сигнала S с импульсной характеристикой q фильтров выполняется по формуле [3]

$$y(k) = \sum_{m=0}^{2n-1} S(m)q(k-m),$$

где $2n$ – число отсчетов импульсной характеристики q фильтра.

На выходе фильтров будут ВЧ и НЧ компоненты сигнала

$$D_1 = y_H(k), \quad A_1 = y_L(k).$$

Для уменьшения времени и объема текущих вычислений значения отсчетов импульсных характеристик рассчитываются заранее и хранятся в памяти вычислителя.

Так как фильтры пропускают только половину всех частотных компонентов сигнала, то не попавшие в полосу прозрачности составляющие могут быть удалены. Поэтому на следующем этапе выполняется децимация $2\downarrow$, т.е. прореживание в два раза (рис. 2). Дециматоры отбрасывают каждый второй отсчет.

Полученные отсчеты результатов вейвлет декомпозиции сигнала поступают на фильтр вейвлет коэффициентов ФК (рис. 2). Переключатели в левой части схемы служат для управления уровнем декомпозиции сигнала. В горизонтальном положении переключателя сигналы подаются на фильтр ФК, и процесс декомпозиции завершается. Положение переключателя „вниз” приводит к последующему этапу декомпозиции на втором уровне. В этом случае полоса частот после первого верхнего низкочастотного фильтра на втором уровне разложения вновь делится на две части: высокочастотную ВЧ и низкочастотную НЧ, а затем выполняются операции аналогичные первому уровню декомпозиции. В случае проведения дальнейшей декомпозиции третьего уровня включается последующий – второй, расположенный вниз по вертикали переключатель. При необходимости операции повторяются на последующих уровнях декомпозиции.

После выполнения фильтрации вейвлет коэффициентов в блоке ФК они подаются на схему реконструкции сигнала обратную декомпозиции. Вначале (рис. 2) в блоках восстановления $2\uparrow$ между поступившими отсчетами вставляются поочередно нули и число отсчетов увеличивается вдвое до исходного, которое было перед блоками децимации $2\downarrow$, а затем полученные отсчеты подвергаются операциям свертки СВ с отсчетами соответствующих импульсных характеристик высокочастотного и низкочастотного вейвлет фильтров. Операции свертки выполняются последовательно снизу вверх по древовидной схеме обратного процессу декомпозиции. После всех операций на выходе получаем отфильтрованный сигнал $U_{вых}$.

Для анализа эффективности данного адаптивного алгоритма составлена программа на языке MATLAB, в которой для каждого исходного E_b/N_0 находится оптимальный алгоритм вейвлет обработки по уменьшению уровня шумов и рассчитывается вероятность битовых ошибок в канале BER.

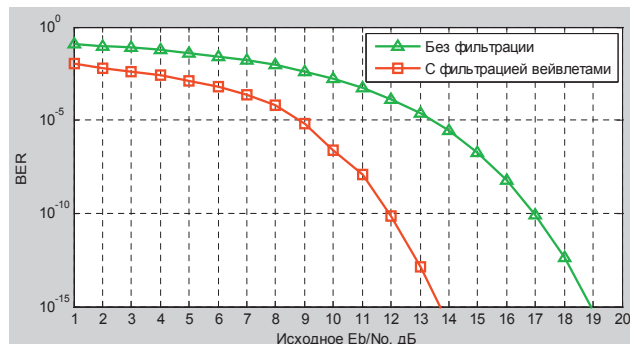


Рис. 3. Возможности уменьшения BER с помощью адаптивной вейвлет фильтрации в канале системы радиодоступа MIMO

На рис. 3 представлены результаты расчетов зависимостей BER при использовании адаптивной вейвлет обработки, обеспечивающей оптимальную фильтрацию шумов и расчетный график BER без вейвлет фильтрации для системы MIMO с модуляцией QAM-16. Эффективность вейвлет фильтрации возрастает при росте отношения сигнал/шум. При больших уровнях сигнала выигрыш по уменьшению битовых ошибок BER за счет фильтрации значительно больше, чем при малых уровнях.

Для сравнения были рассчитаны значения битовых ошибок с Фурье фильтрацией. Результаты расчетов подтвердили эффективность вейвлет фильтрации. Так при $E_b/N_0 = 10$ дБ вероятность битовых ошибок при вейвлет фильтрации снижается до $2,4 \cdot 10^{-7}$ с $1,8 \cdot 10^{-4}$, при $E_b/N_0 = 7$ дБ снижается до $2,42 \cdot 10^{-4}$ с $3,7 \cdot 10^{-3}$.

Выводы

1. Предложен адаптивный к сигнально-помеховой обстановке метод цифровой обработки сигналов на основе вейвлет преобразований в приемных каналах систем радиодоступа MIMO. В алгоритме не требуются в реальном времени расчеты импульсных характеристик высокочастотных и низкочастотных вейвлет фильтров и оптимальных параметров фильтрации для различных значений ОСШ. При увеличении уровня разложения выполняются те же операции над массивами отсчетов, что и на низших уровнях, по одинаковым для всех уровней вейвлет разложения программам.

2. Для цифровых сигналов систем радиодоступа MIMO в качестве базиса вейвлет-преобразования обеспечивающего эффективное подавление шумов, следует рекомендовать базис Хаара.

3. Существует пороговое значение исходного E_b/N_0 при котором происходит смена эффективных алгоритмов цифровой вейвлет обработки. Показано, что при малых уровнях сигнала и отношении E_b/N_0 до фильтрации от 0 до 5 дБ, эффективен алгоритм вейвлет обработки RIGSURE с порогом SOFT. При увеличении уровня сигнала, когда E_b/N_0 до фильтрации от 5 дБ и выше, - эффективен алгоритм MINIMAXI с порогом HARD и глубиной декомпозиции 3 и больше для обоих алгоритмов.

4. Применение глубокой декомпозиции во всех алгоритмах не дает после 3-го уровня существенного прироста E_b/N_0 , но приводит к существенному росту объемов вычислений.

5. Применение цифровой вейвлет обработки сигналов в каналах MIMO систем связи снижает уровень битовых ошибок, например, при малом уровне сигнала $E_b/N_0 = 7$ дБ с $1,7 \cdot 10^{-2}$ до $2,42 \cdot 10^{-4}$, а при увеличении уровня сигнала, например, для $E_b/N_0 = 10$ дБ - с $1,7 \cdot 10^{-3}$ до $2,4 \cdot 10^{-7}$.

6. В сравнении с фильтрацией на основе преобразований Фурье цифровая вейвлет обработка снижает уровень битовых ошибок почти на три порядка для сильных и на один порядок для слабых сигналов.

Литература

1. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. - М.: Солон-Р, 2002. - 448 с.
2. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. - С.-Петербург: ВУС, 1999. - 204 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб.: Питер, 2002. - 608 с.