

УДК 004.728.4(045)

Искренко Ю.Ю., к.т.н.

## ПРОБЛЕМЫ КОРРЕКЦИИ И РЕКОНФИГУРАЦИИ ТРАКТОВ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Национальный авиационный университет

[iskra2008@gmail.com](mailto:iskra2008@gmail.com)

Для решения данной задачи наиболее рациональным является использование широкополосных WIMAX сетей. Для достижения максимальной эффективности, рассматриваются способы перенастройки и компоновки, многолучевых WIMAX антенн

**Ключевые слова:** мультимедийный трафик, сеть WIMAX, цифровая антенная решётка

### Вступление

При передаче мультимедийного трафика данные должны передаваться равномерным потоком. При этом важными параметрами является задержка пакета и дисперсия задержки, в то время как допускается частичная потеря данных. Это объясняется тем, что передаваемая информация должна воспроизводиться незамедлительно, то есть в реальном времени. Если при передаче аудио или видео трафика был потерян один пакет за секунду, пользователь этого, скорее всего не заметит, если же пакеты будут иметь высокую задержку или высокую дисперсию задержки, то на приёмной стороне звук или видео будет прерываться, и качество окажется неудовлетворительным.

Требуемой производительности, может достичь система WiMAX, основываясь на широкополосной беспроводной передаче, в основе которой две формы передачи: беспроводная и широкополосная.

### Широкополосная сеть WIMAX

WiMAX проектировался, прежде всего, для обеспечения IP-based сервиса - это информация, голос, видео, передача сообщений или мультимедиа. Потребность поддержки мультимедиа и другое обслуживание со строгими требованиями QoS привела к новым изменениям в протоколах IP и WIMAX архитектуре.

Для практических систем, это возможно только посылая некоторую форму оцифрованной информации в спутнико-

вый канал связи или с помощью структуры множественного соединения типа вход/выход (MIMO) с обратной связью в IEEE 802.16e-2005 [1,2]. При этом используются разнообразные конфигурации антенн: разомкнутая антенная система MIMO из двух передающих антенн и двух приемочных антенн, связанных с замкнутой системой MIMO с предварительным линейным кодированием, используя четыре передающих антенны и две приемочные антенны.

### Увеличение скорости передачи данных

Техника разнесенного радиоприема очень эффективна при усреднении плавного регулирования уровня сигнала канала, таким образом, увеличивается надежность системы. Методы получения разности также, в основном линейно, увеличивают среднее значение отношения сигнал/шум благодаря преимуществу массива антенной решетки. Полная формула Шеннона дает возможность достигнуть максимальной скорости передачи данных отдельного звена коммуникации в аддитивном белом Гауссовском шуме (AWGN) как:

$$C = B \log_2(1 + \gamma),$$

где  $C$  - пропускная способность, или максимальная безошибочная скорость передачи данных;  $B$  - ширина полосы канала; и  $\gamma$  снова является отношением сигнал/шум (или SINR). Благодаря достижениям в кодировании, и достаточному разнесу, становится возможным приблизи-

тельное получение предела Шеннона в некоторых беспроводных каналах.

Так как разнообразные антенны увеличивают отношение сигнал/шум линейно, то относительно числа антенн методы разнеса увеличивают производительность только логарифмически. Другими словами, при добавлении антенны, преимущество скорости передачи данных быстро уменьшается. Однако это справедливо тогда, когда отношение сигнал/шум является небольшим, увеличение производительности близко к линейному отношению сигнал/шум, так как  $\log(1+x) \approx x$  для малых  $x$ . Следовательно, в каналах с низким отношением сигнал/шум, методы разнеса увеличивают производительность линейно, но полная пропускная способность является низкой вследствие низкого отношения сигнал/шум.

Чтобы получить более существенное увеличение скорости передачи данных в верхнем отношении сигнал/шум, для передачи множества независимых потоков может использоваться мультиантенный канал. Пространственное мульти-

плексирование может достигать линейного увеличения скорости передачи данных с числом антенн с умеренно высоким отношением сигнал/шум ( $SINRs$ ) с помощью сложных алгоритмов обработки сигналов. Определенно, производительность может быть увеличена как кратное число  $\min(N_b, N_s)$  то есть, производительность ограничена минимальным числом антенн или в передатчике, или в приемнике [3].

### MIMO

Рис. 1 демонстрирует структуру MIMO, которая состоит из идентичной стадии кодирования места/времени для системы открытой петли и стадии предварительного кодирования MIMO [3,4]. Предварительное кодирование сложной матрицы MIMO, с числом строк равных числу передающих антенн и числу столбцов, равных выводам блока кодирования места/времени. Линейная матрица предварительного кодирования пространственно смешивает различные параллельные потоки среди различных антенн, с соответствующей настройкой амплитуды и фазы.

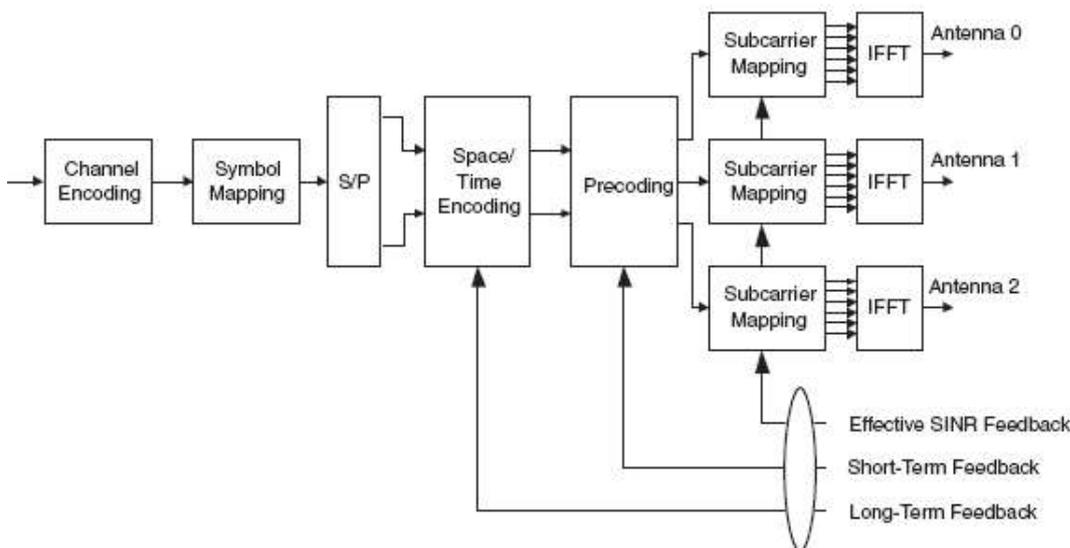


Рис. 1. Структура MIMO с обратной связью в IEEE 802.16e-2005

Чтобы определить соответствующую амплитуду и фазы различной размерности, передатчик требует некоторой обратной связи от мобильной станции (МС). В случае MIMO с обратной связью, обратная связь широко разделяется в две

категории: долгосрочная обратная связь и краткосрочная обратная связь. Долгосрочная обратная связь обеспечивает информацией, связанной с максимальным числом параллельных потоков: ранг матрицы предварительного кодирования, ко-

торая используется для передачи нисходящей линии связи. Краткосрочная обратная связь обеспечивает информацию о предварительно кодированных матричных весах. *IEEE 802.16e-2005* стандарт определяет следующие пять механизмов так, что БС мог оценить оптимальную матрицу предварительного кодирования для операций *MIMO* с обратной связью.

Данные решётки являются двухполяризованными, что позволяет повы-

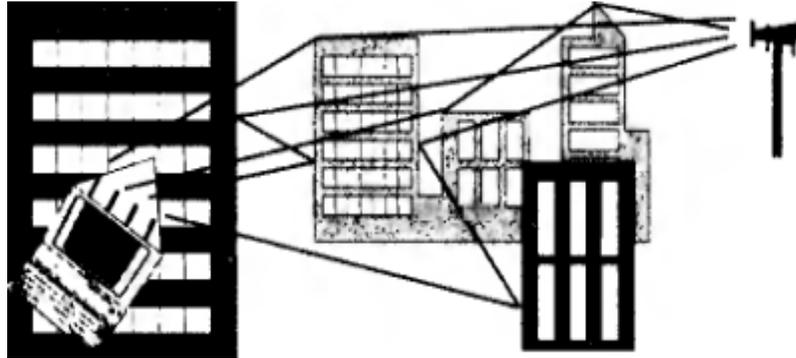


Рис. 2. Многолучевое распространение волн в системе *MIMO*

Однако при отсутствии ортогональности сигналов по частоте и времени прихода для работы процедур сверхрелевского разрешения источников требуется столь значительное отношение сигнал-шум, что дальность связи резко сокращается. Двухэлементный вариант, в том числе полученный из четырёхканальной цифровой антенной решётки (ЦАР) попарным объединением её элементов, создаёт более простые условия для разрешения сигналов. Позволяет значительно увеличить дальность связи и даже выйти на ту же пропускную способность, что и в четырёхэлементной ЦАР, за счёт меньших ошибок измерения квадратурных составляющих амплитуд сигналов и, как следствие, возможности использования более высокоразрядной *QAM*-модуляции.

Поскольку расстояние между излучателями в антенных решётках, как правило, не превышает нескольких длин волн несущей частоты, используемой для передачи, при решении задачи измерения параметров сигналов, одновременно формируемых каждым антенным элементом

шатель эффективность работы средств связи в условиях многолучевого распространения радиоволн, проиллюстрированных на рис. 2, а при независимой передаче сигналов по каждой из поляризационных составляющих – дополнительно удвоить пропускную способность канала связи. При этом в антенной решётке достигнуто подавление кроссполяризационной помехи на 34-39 дБ.

передающей ЦАР, угловое разрешение источников в достаточно большом диапазоне дальностей в рэлеевском смысле неприменимо. Для их же сверхрелевского разрешения по угловой координате при таком разном источниках требуется слишком большое отношение сигнал-шум. Именно по этой причине дальность действия *MIMO*-систем с одновременным независимым излучением сигналов по парциальным каналам является крайне незначительной и ограничивается обычно сотней метров [4].

Чтобы повысить точность оценивания квадратурных составляющих амплитуд, предложено использовать в передающих каналах ортогональные по частоте сигналы по аналогии с концепцией метода *OFDM* (рис. 3). При этом для всех передающих модулей задаётся одинаковая длительность фрейма *OFDM*, а допустимое количество сигналов  $T$  в каждом из них определяется отношением количества точек  $K$  быстрого преобразования Фурье (БПФ), используемого для формирования в приёмной ЦАР сетки частотных фильтров, к количеству задействованных про-

странственных каналов передачи  $N$ , т.е.  $T = K/N$ .

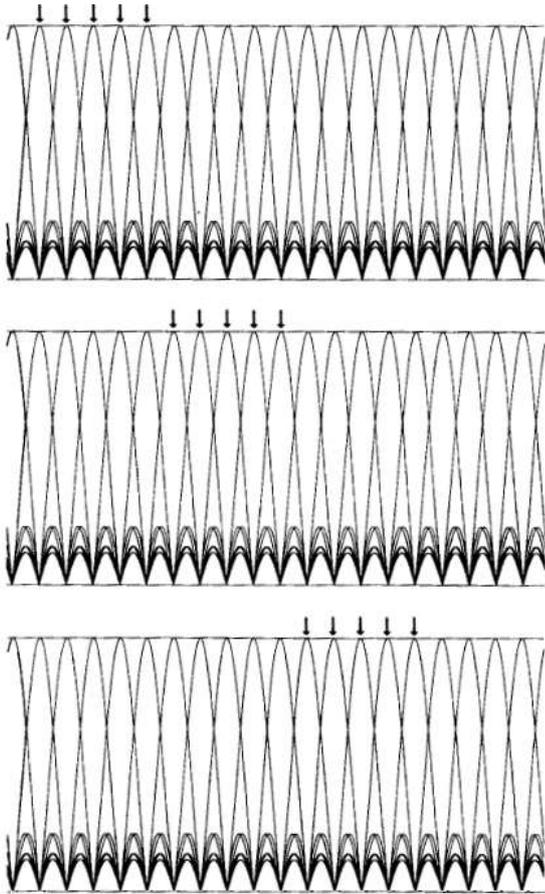


Рис. 3 Ортогональное расположение частот сигналов в передающих каналах ЦАР

Существенно, что для такого метода связи номиналы частот сигналов в каналах передающей ЦАР не должны повторяться (рис. 3). Это позволяет отдельно измерять в приемной ЦАР квадратурные составляющие амплитуд сигналов, сформированных парциальными излучателями активной решетки, при сильном сближении антенных элементов передающей ЦАР по обобщенной угловой координате. В результате приемные и передающие ЦАР, образующие *MIMO*-канал, можно весьма значительно разносить в пространстве. Данный разнос ограничен лишь требуемой точностью отношения сигнал-шум.

### Выбор антенны

Когда число передающих антенн,  $N_t$  является большим, чем число параллельных потоков  $N_s$  - ранг матрицы предварительного кодирования, основанной на долгосрочной обратной связи - обратной связи выбора антенны, сообщает базовой станции (БС), какие из доступных антенн являются оптимальными для передачи нисходящей линии связи. Мобильная станция обычно вычисляет способность канала *MIMO* для каждой возможной комбинации антенн и выбирает комбинацию, которая развертывает способность канала. Мобильная станция указывает свой выбор антенн, используя вторичный канал быстрой обратной связи. Первичные и вторичные каналы быстрой обратной связи могут быть распределены индивидуально мобильными станциями. Мобильная станция может использовать метод одноадресной передачи, послать сообщение *FASTFEEDBACK*. Каждый первичный канал быстрой обратной связи состоит из одного слота *OFDMA*. Мобильная станция использует 48 параметров поднесущей подканала *PUSC*, чтобы нести информационно полезный груз в 6 битов.

Вторичный подканал быстрой обратной связи использует 24 экспериментальные поднесущие подканалы *PUSC*, чтобы нести полезный 4-битовый груз. Из-за такой высокой степени избыточности, первичная радиопередача и вторичное сообщение быстрой обратной связи в базовой станции менее склонны к ошибкам.

Выбор антенны - очень эффективный механизм обратной связи пропускной способности, что на более высоких скоростях является очень полезной особенностью, когда скорость обратной связи весьма высока. Выбор антенны имеет дополнительное преимущество в отличие от других режимов *MIMO* с обратной связью - число необходимых цепочек радиочастоты (*RF*) равно числу потоков  $N_s$ . Другие схемы *MIMO* с обратной связью независимо от того, сколько параллель-

ных потоков передано, требуют общее число  $Nt$  цепочек радиочастоты в передатчике.

### Компоновка антенны

Компоновка антенн - понятие, которое позволяет базовой станции переставлять логический порядок передающих антенн. Как показано в выражении ниже, если  $A1$  рассматривается как естественный порядок,  $A2$  подразумевает, что логический порядок передающих антенн 2 и 3 переключен. Точно так же  $A3$  подразумевает, что сначала, переключается логический порядок антенн 2 и 4, и затем переключается логический порядок антенн 3 и 4. Мобильная станция указывает точную перестановку и число передающих антенн, которые используются первичным каналом быстрой обратной связи. Компоновка антенны может также быть выполнена со всеми матрицами кодирования места/времени, как описано в предыдущем разделе для двух, трех, и четырех антенн.

$$A1 = \begin{bmatrix} S_1 & -S_2^* & 0 & 0 \\ S_2 & S_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_3 & -S_3^* \\ 0 & 0 & S_4 & S_3^* \end{bmatrix}$$

$$A2 = \begin{bmatrix} S_1 & -S_2^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_3 & -S_3^* \\ S_2 & S_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_4 & S_3^* \end{bmatrix}$$

$$A3 = \begin{bmatrix} S_1 & -S_2^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_3 & -S_3^* \\ 0 & 0 & S_4 & S_3^* \\ S_2 & S_1^* & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

### Вывод

Для улучшения пространственного разрешения сигналов передающего сегмента *MIMO* при отсутствии их ортогональности по каким-либо параметрам могут использоваться особенности естественного либо искусственно распространения радиоволн и создания отражений. В итоге на приёмную решётку сигналы бу-

дут приходиться с увеличенным угловым разнесением.

Обработка сигналов *MIMO*-системами переживает сегодня активное развитие. Появилось достаточно много методов обработки сигналов *MIMO*, которые базируются на разложении корреляционной сигнальной матрицы на собственные вектора и собственные числа, при этом кодирование информации может быть заложено в величине собственных чисел. Развитие *MIMO* систем ведёт к появлению специализированных микросхем для такой обработки, резко удешевляющих производство соответствующего оборудования из чего следует широкое внедрение *MIMO* технологий в средства связи.

### Список литературы

1. Шиллер И. Мобильные коммуникации // М.: Вильямс, – 2002. – 375 с.
  2. Andrews G., Chosh A., Muhamed R. Fundamentals of WIMAX // Understanding broadband Wireless Networking. – 2004. – 712 p.
  3. Viterbi A. CDMA: principles of spread spectrum communication // Addison Wesley Longman. – 1995. – 381 p.
- ET ST. High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN), Tgni-ETS, 300. – 1998. – 211 p.

Статью представлено к печати 23.12.2014