

Одноканальные измерения

WiMAX Wave 2 (MIMO/STC)

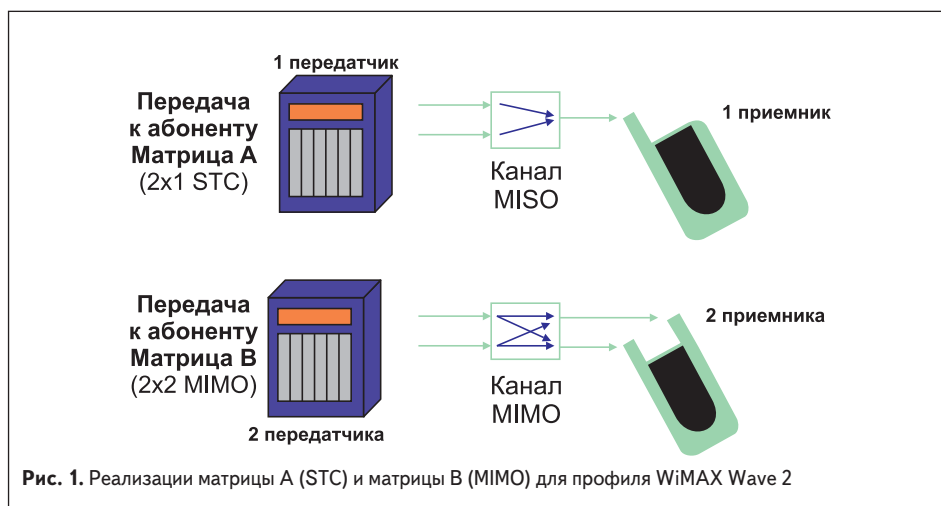
В профиль WiMAX Wave 2 добавлены многоканальные схемы передачи двух видов: пространственно-временное кодирование (Space Time Coding, STC) и технология множественного приема и передачи (Multiple Input Multiple Output, MIMO). Считается, что для определения характеристик таких схем передачи требуется многоканальность. На самом деле многие полезные и важные параметры, такие как межканальное ослабление или АЧХ, а также большинство традиционных радиочастотных показателей можно измерить с помощью одноканального анализатора. Значительное число пилотных несущих (пилот-сигналов) и особенно их уникальная привязка к каждому передатчику позволяют выполнить многие одноканальные измерения, в том числе описанные в этой статье.

Бен Зарлинго (Ben Zarlingo)

Петер Кейн (Peter Cain)
Tmo_russia@agilent.com

В профиле WiMAX Wave 2 применяются две схемы передачи сигналов к абоненту — матрица A (STC) и матрица B (MIMO), которые обеспечивают пространственное разнесение и пространственное мультиплексирование соответственно. Как показано на рис. 1, матрица A реализует технологию передачи на разнесенных антеннах 2×1 STC. Данная технология использует две трассы передачи данных (Tx0 и Tx1) от базовой станции (BS) и одну — для приема (Rx0) на абонентской станции (SS). Устройства, построенные по схеме матрицы A, передают каждый символ данных через обе антенны с разным кодированием, что повышает способность приемника, которому известна схема кодирования, в сложных условиях правильно демодулировать сигнал. Для повышения скорости передачи данных WiMAX матрица B использует схему MIMO с двумя и более передатчиками как на стороне BS (базовой станции), так и на стороне SS (абонентской станции). Например, версия MIMO 2×2 схемы матрицы B распределяет отправляемые пользователем данные по двум передающим

антеннам, одновременно работающим на одной и той же частоте. Как показано на рис. 1, две антенны (или более, в случае применения схем разнесения) используются и на приемной стороне, а результирующие сигналы получают после прохождения сигнала по четырем возможным трассам распространения. В практических ситуациях эти четыре пути распространения сигнала будут отличаться степенью корреляции, а корреляция зависит от частоты или поднесущей, хотя для правильной работы MIMO нужна определенная независимость от этих значений. Основная задача обработки сигнала в системах 2×2 MIMO — измерение или определение характеристик четырех путей распространения, чтобы можно было, выполнив «обратное» преобразование, разделить сигналы, поступающие от двух передающих антенн. Аналогичную конфигурацию MIMO можно использовать и в восходящем канале (UL) — в том случае, когда одноканальная передача координируется в соответствии со схемой MIMO. Но обсуждение такого объединенного MIMO в восходящем канале выходит за рамки данной статьи [1].



Измерения с помощью одноканального и двухканального анализаторов

С помощью одноканальных и двухканальных анализаторов можно выполнять множество важных измерений в системах WiMAX, реализованных по схемам матриц A и B. Основные радиочастотные характеристики, такие как частота, мощность и параметры синхронизации, можно измерять в различных точках радиочастотного тракта на пути от передатчика к приемнику. Большинство измерений выполняется с помощью прямого подключения к цепи (а не через антенну), как это делается в традиционных одноканальных системах. Например, качество любого канала передатчика можно оценить с помощью одноканального анализатора, подключенного непосредственно к выбранному выходу передатчика. Конечно, двухканальный анализатор может измерять радиочастотные характеристики двух каналов передатчика одновременно, но на практике в ряде случаев проще переключить вход анализатора и повторить измерение.

Возможно, это покажется неочевидным, но одноканальный анализатор, подключенный непосредственно к выходу передатчика, можно использовать для измерения основных параметров MIMO/STC, таких как АЧХ или канальная развязка (межканальное ослабление за счет перекрестных помех), даже если оба канала активно передают данные. Еще более оригинальный способ — объединить сигналы передатчика и затем точно измерить временной и фазовый сдвиг между каналами. Такие измерения стали возможны благодаря неперекрывающимся пилот-сигналам WiMAX, которые описаны ниже.

Неперекрывающиеся пилот-сигналы

Во всех системных конфигурациях STC и MIMO данные в нисходящем канале восстанавливаются на абонентской станции на основе некоторых знаний о канале. Оценка эффективности канала передачи (он представлен двумя комплексными функциями передачи в матрице A и четыремя — в матрице B 2x2) выполняется на основе анализа пилот-сигналов, распределенных по всей ширине канала. В отличие от других схем OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), таких как IEEE 802.11a/g/n (беспроводная сеть LAN), в рассматриваемой схеме число пилот-сигналов значительно больше, и обычно частоты их несущих меняются с каждым символом. Важно понять, что каждый из двух передатчиков использует только половину пилот-сигналов, не передавая энергию (в идеальном случае) на частотах пилот-сигналов другого передатчика. Иногда говорят, что они передаются в «чистом виде». С другой стороны, несущие, на частотах которых передаются данные, используются одновременно обоими передатчиками.

Такая структура пилотных сигналов позволяет «отделить друг от друга» каналы передачи и измерить радиочастотные характеристики каждого из них даже с помощью одноканального анализатора, поскольку эти характеристики представлены соответствующим каждому из них

набором пилотных поднесущих. Все, что требуется от анализатора, — иметь информацию о соответствующем наборе пилот-сигналов для каждого из передаваемых символов и возможность выделять и измерять каждую несущую. Упрощенный концептуальный пример тактирования и распределения поднесущих двухканального передатчика показан на рис. 2. В момент времени передачи символа n+1 первый передатчик Tx0 передает пилотную поднесущую, две поднесущие данных и нулевую поднесущую. Одновременно с этим второй передатчик Tx1 передает нулевую поднесущую, две поднесущие данных и пилот-сигнал. В идеальном случае пилотная поднесущая одного канала передатчика не перекрывается ни с одной поднесущей другого канала. Если существуют некоторые перекрестные помехи каналов двух передатчиков, анализатор сигналов определяет этот смешанный сигнал как не нулевой пилот-сигнал, появившийся в момент времени и на частоте ожидаемой нулевой поднесущей.

На рис. 2 показано также распределение поднесущих при наличии перекрестных помех. В данном примере величина самой левой нулевой поднесущей для Tx1, измеренная в момент передачи символа n+1, включает в себя часть мощности пилотной поднесущей, ослабленной в результате перетекания энергии из канала Tx0. Такие неперекрывающиеся пилот-сигналы позволяют однозначно определить уровень перекрестной помехи между двумя каналами передатчика. Как показано в следующем примере, измерение сигнала передатчика на выходе Tx1 позволяет определить утечку пилотной поднесущей из канала Tx0 (и наоборот).

Пример межканальных измерений

Как описывалось выше, структура пилотных поднесущих для сигнала WiMAX профиля Wave 2 позволяет за один раз выполнять достаточно

точное одноканальное измерение перекрестной помехи между каналами передатчика. На рис. 3 показаны два примера такого измерения в виде таблицы “OFDM MIMO Info” программного обеспечения Agilent 89600 VSA. Измерения сигнала для схемы матрицы B выполнялись анализатором, который был настроен как одноканальный приемник Rx0 (например, с помощью ПО одноканального анализатора спектра/сигналов) и подключен непосредственно к выходу передатчика Tx0. В данном случае одноканальный анализатор показал мощность пилотной поднесущей Tx0 (строка таблицы “PilotPwr”), измеренную на Rx0 (мощность реально передаваемой поднесущей), равной +15,6 дБм, а мощность пилотной поднесущей Tx1, измеренную на Rx0 (паразитная мощность, возникающая из-за утечки), — равной -25,4 дБм. Разность между этими величинами дает нам значение перекрестного ослабления около -41 дБ.

На рис. 3 показан также второй пример с перекрестным ослаблением каналов в -29 дБ, которое было рассчитано путем измерения мощности пилотной поднесущей Tx1 (равной -13,4 дБм) и мощности пилотной поднесущей Tx0, равной, как и в прошлом примере, +15,6 дБм. Мощность выбранной пилотной несущей и мощность, возникшая в результате утечки, сравниваются в строке “PilotPwr”. Аналогичные результаты можно получить, подключив анализатор непосредственно ко второму передатчику Tx1 и измерив мощность пилотной поднесущей Tx0. Не забывайте, что анализатор «знает», какой передатчик должен передавать сигнал на частоте данной поднесущей в данный момент передачи символа. Обратите внимание, что при наличии второго входа анализатора в таблице появляются дополнительные столбцы для других комбинаций Tx/Rx (здесь показан только один из них, “Tx-/Rx-”).

Результат взаимовлияния каналов передатчика дает характерную конфигурацию созвездия

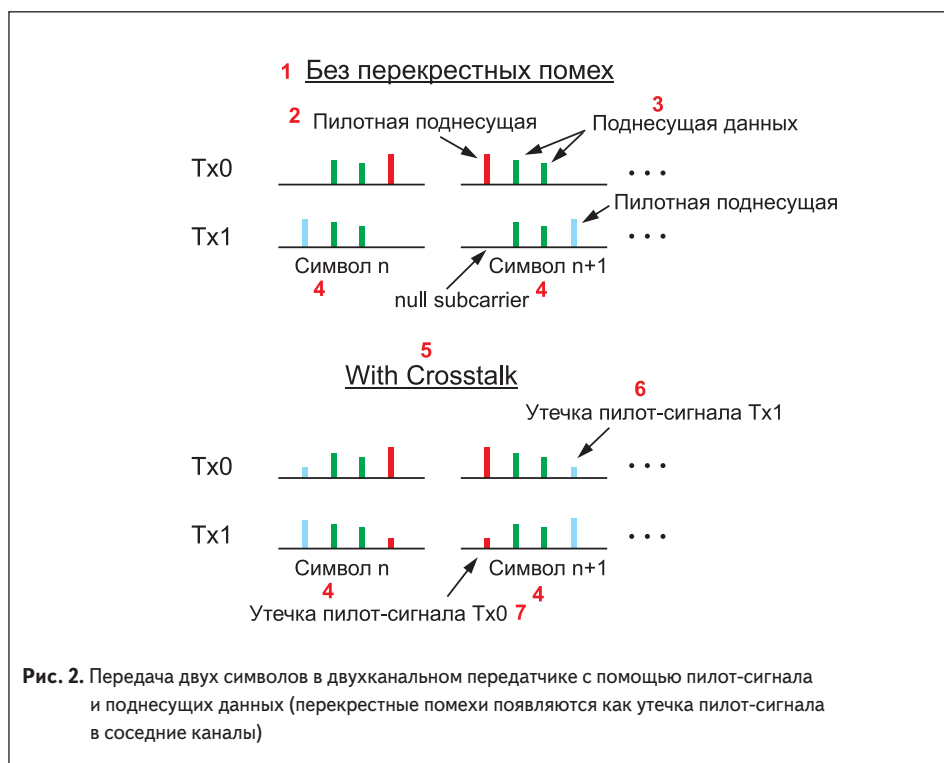
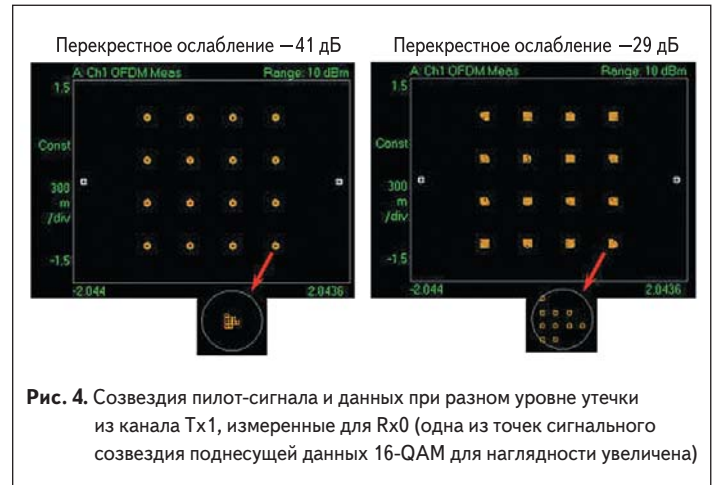


Рис. 2. Передача двух символов в двухканальном передатчике с помощью пилот-сигнала и поднесущих данных (перекрестные помехи появляются как утечка пилот-сигнала в соседние каналы)



(ансамбля) демодулированных IQ-сигналов WiMAX и заметнее всего проявляется при измерении непосредственно на выходе передатчика. Поскольку оба канала передатчика (и отдельные поднесущие OFDM) синхронны по времени и когерентны по фазе и частоте, то при сложении каналов передатчика поднесущие данных будут когерентно суммироваться.

Для проверки этого эффекта были измерены те же два сигнала, использованные в предыдущем примере. При наличии утечки с низким перекрестным ослаблением почти в -41 дБ, как показано на рис. 4, сигнальный ансамбль выглядит так, как и ожидалось, причем поднесущие данных и пилот-сигналы выглядят как сигналы с модуляцией 16-QAM и BPSK соответственно. С ростом помехи (разделение сигналов уменьшается) до -29 дБ точки поднесущих данных на диаграмме становятся все более разбросанными (диаграмма как бы расширяется) в результате когерентного сложения с сигналом утечки. В результате возникает малое созвездие 16-QAM вместо каждой точки диаграммы, как ожидалось увидеть.

Такое «созвездие созвездий» практически уникально (особенно когда миниатюрные ансамбли имеют вид регулярной ортогональной решетки) для технологий STC и MIMO, поскольку для них характерно межканальное взаимодействие двух активных каналов передатчика.

Эти результаты измерения I/Q сильно отличаются от тех, которые наблюдались бы для большинства систем OFDM при ослаблении сигналов. Обычно при ослаблении в системах OFDM сигнальное созвездие из-за различных помех сигнала выглядит как точки случайного распределения [2]. На этих диаграммах ясно видны и отличительные черты сигналов STC/MIMO в WiMAX OFDMA: обратите внимание, что взаимовлияние каналов не сильно искажает положение пилот-сигналов BPSK (показаны белым цветом), поскольку эти поднесущие расположены так, что не перекрываются.

Одноканальные измерения можно выполнять и с помощью антенны, используя ее вместо прямого подключения к передатчику. Это дает возможность исследовать влияние канала передачи и глубже изучить системы с разнесенными антеннами. Для схемы матрицы A, как показано на рис. 1, характеристики системы зависят от реальной мощности, получаемой ею по каналу от каждого

передатчика. В идеальном случае измеренные мощности пилотной несущей, скажем, Rx0, от каждого передатчика (Tx0 и Tx1) должны быть примерно одинаковы. Если же принимаемая мощность одного передатчика будет существенно ниже, такой канал не обеспечит достаточного пространственного разнесения и общие характеристики системы могут ухудшиться до уровня одноканальной схемы приема/передачи (Single Input Single Output, SISO). Такой одноканальный подход к измерению пилот-сигналов может использоваться и в схемах матрицы B (MIMO) со стабильным каналом передачи, если измерения проводятся последовательно на каждой принимающей антенне.

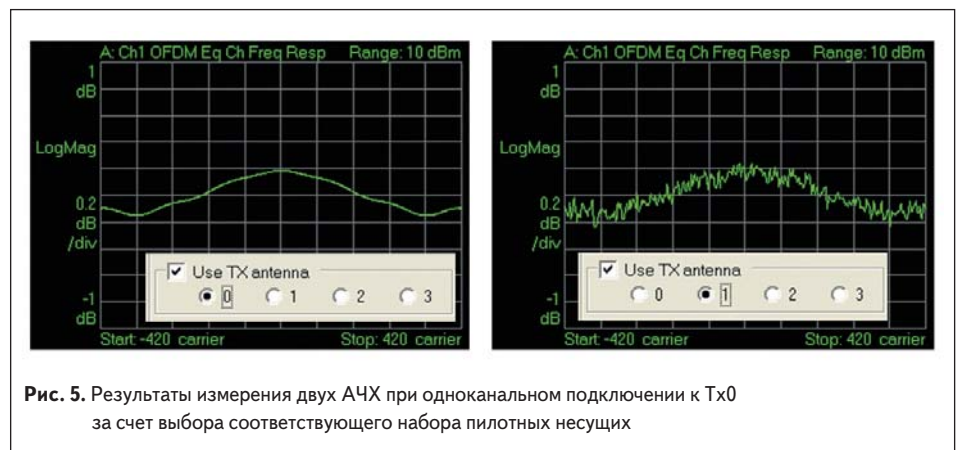
Одноканальные частотные измерения

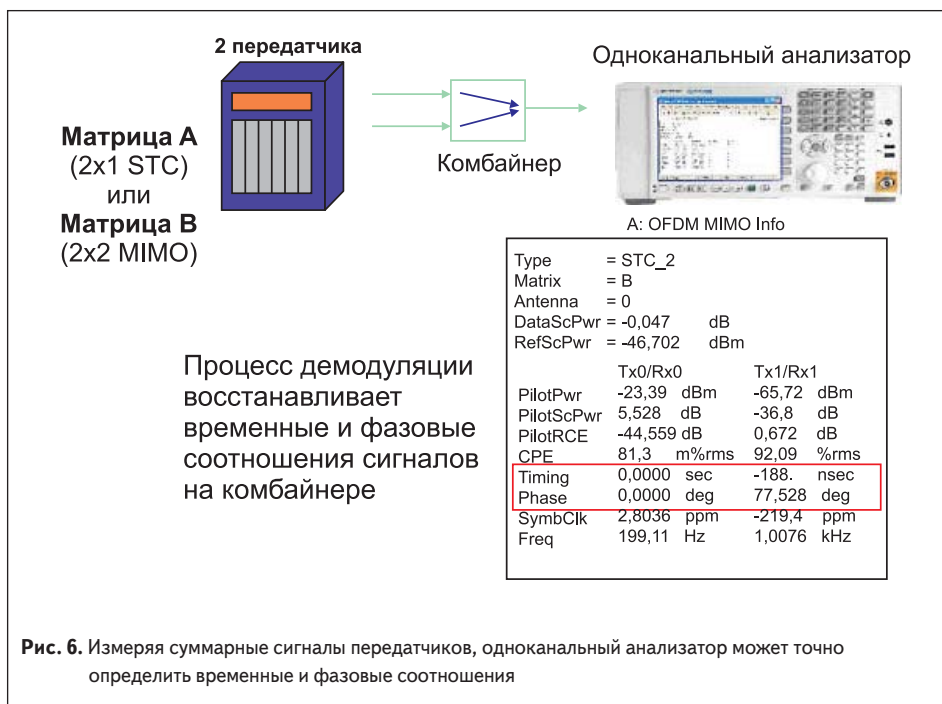
Большое число пилотных несущих и их перекрывающаяся структура в совокупности со способностью анализатора определять канал передачи, связанный с конкретной несущей, — все это открывает прямой путь к измерению АЧХ передатчика и (или) канала с помощью одноканального анализатора. Полученная частотная характеристика дает возможность глубже взглянуть на природу проблем, возникающих в передатчике или канале. Измеряемая амплитудно-частотная характеристика изображается вместе с номером несущей и обычно показывает изменение амплитуды, фазы или групповой задержки.

Для измерения Tx0 анализатор можно подключить прямо к Tx0, который передает преамбулу для

выравнивания и синхронизации канала. Чтобы измерить оба канала (в системе с двумя передатчиками), можно подключить выходы обоих передатчиков к анализатору через комбайнер и, воспользовавшись параметром анализатора «Использовать передающую антенну», указать пилотные несущие нужного канала, которые будут использоваться для расчета частотной характеристики.

Надежность информации, полученной от перекрывающихся пилотных несущих, показывает способность одноканального анализатора, непосредственно подключенного только к Tx0 (без комбайнера), в некоторых ситуациях измерять частотную характеристику обоих передатчиков. Зерно метода — в умении воспользоваться преимуществами межканального взаимодействия, при котором незначительная доля мощности пилот-сигнала Tx1 присутствует в сигнале Tx0, подключенном к входу одноканального анализатора. Если анализатор настроен только на пилотные несущие Tx1 (установка — «Использовать передающую антенну»), то будет получена АЧХ Tx1, показанная на рис. 5. В правом окне показана АЧХ, измеренная при подключении одноканального анализатора к каналу Tx0 только по пилот-сигналу, который присутствует в канале Tx0 из-за межканального взаимодействия с Tx1. Обратите внимание, что АЧХ Tx1 напоминает АЧХ Tx0, но значительно более зашумлена из-за ограниченного уровня сигнала, проникающего в Tx1 от Tx0 (в данном примере перекрестное ослабление -41 дБ).





Одноканальные измерения временных и фазовых характеристик

Эти новые измерения стали возможными благодаря использованию пилот-сигналов. Временные и фазовые соотношения пилотных несущих

каждого передатчика строго определяются в процессе генерации модулирующего сигнала. Для восстановления временных и фазовых соотношений радиочастотных сигналов можно использовать процесс демодуляции сигнала, поданного на вход одноканального анализатора

после комбайнера, на который поступают сигналы обоих передатчиков. Как показано на рис. 6, это можно сделать с очень высоким разрешением.

Заключение

Технологии STC и MIMO, использующие несколько передатчиков, могут в некоторых случаях существенно улучшить характеристики системы, но присущая им многоканальность создает дополнительные трудности для инженеров-разработчиков. Однако, несмотря на многоканальную природу этих сигналов, многие важные и полезные измерения можно выполнять с помощью одноканального анализатора. При выполнении таких измерений анализатор использует преимущества пространственных характеристик сигнала MIMO OFDMA и, в некоторых случаях, даже дефекты сигнала, такие как взаимные помехи каналов.

Литература

1. Тестирование WiMAX Wave 2 — MIMO и STC. Интернет-трансляция Agilent, 17 января 2008 г. <http://www.techonline.com/learning/livewebinar/204203534>
2. Катлер Б. Влияние ослабления сигнала на физическом уровне на системы OFDM. http://rfdesign.com/mag/radio_effects_physical_layer/
3. Измерение и диагностика сигналов IEEE 802.16e WiMAX OFDMA. Рекомендации по применению 1578. № 5989-2382EN. Июнь 2006.