

Адаптивные антенны для системы связи WiMax

Михаил ПАРНЕС
resonance@mail.fi.ru

Введение

В новом поколении системы связи WiMax оборудование будет содержать две основные категории антенн — это антенны базовых станций и антенны пользовательских терминалов. Первая группа — это однолучевые антенны с сектором покрытия 60, 90, 120 градусов, они не будут ничем отличаться от аналогичных антенн предыдущего поколения систем связи. Но работы по созданию адаптивных антенн (в иностранной литературе можно часто встретить термин «смарт-антенна») для базовых станций мобильных телефонов позволили использовать эти идеи и наработки и применить на практике сложные адаптивные антенны в аппаратуре четвертого поколения мобильной связи WiMax. То есть, кроме традиционных однолучевых, сегодня можно использовать две новые группы базовых антенн:

- адаптивные;
- MIMO (Multi-Input-Multi-Output).

Пользовательские антенны можно разделить на две группы:

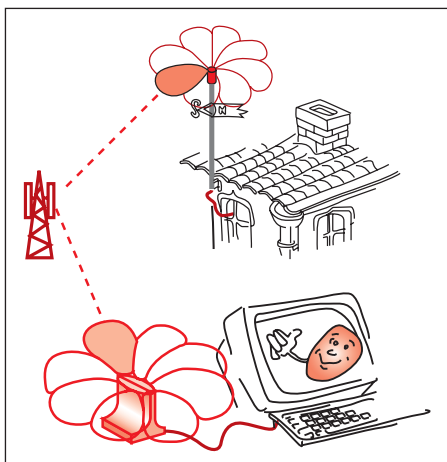


Рис. 1. Комнатная и наружная адаптивные антенны абонентского терминала

- комнатные и наружные для абонентских терминалов фиксированной связи по IEEE 802.16d (рис. 1);

- для мобильной связи с подвижными пользователями (компьютеры в автомобилях, поездах и т. д.) по стандарту IEEE 802.16e. Для уточнения терминологии приведем перечень различных вариантов антенн и их определения:

1. **Многолучевые антенны** с переключаемыми лучами — это набор элементарных излучателей с неподвижной диаграммой направленности. Антенны имеют несколько лучей на угловой сектор и содержат ключи для управления этими лучами. Для конкретного пользователя базовая станция или терминал выбирает лучший сигнал. Ключи переключения лучей позволяют уменьшать или увеличивать усиление, но только в направлении, где эти лучи существуют.
2. **Антенны со сканированием луча.** Антенная решетка содержит фазовращатели и ат-

тенюаторы, подключенные к антенному сигнальному процессору. Луч внутри сектора направляется с помощью процессора в нужную сторону. Плавное сканирование дает существенные преимущества для точного наведения на пользователя или базовую станцию. Такие антенны используют различные математические методы для создания оптимального луча с максимумом в направлении пользователя и с минимумом в направлении помехи.

3. **SDMA (Spatial Division Multiple Access)** — технология пространственного разделения и многократного доступа. Используется адаптивная антенна для пространственного мультиплицирования нескольких субканалов одновременно.

4. **MIMO (Multi-Input-Multi-Output) антенны.** Это система пространственно-временного кодирования. Эта технология создает выигрыш за счет разделения потока данных через две или более антенны по разным

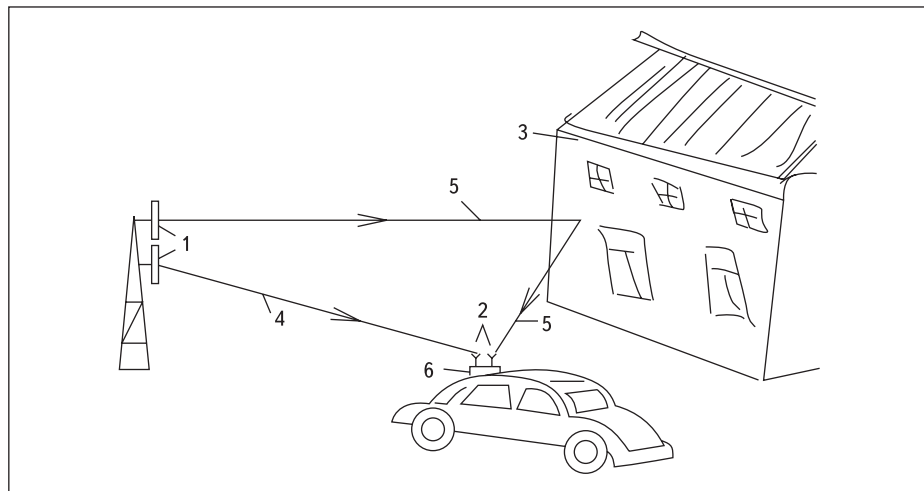


Рис. 2. Концепция MIMO по схеме 2×2 — две антенны на базовой станции, две антенны на абонентском терминале:
1 — антенны базовой станции, 2 — антенны абонентского терминала,
3 — здание — объект, создающий отраженный луч, 4 — прямой луч,
5 — переотраженный луч, 6 — абонентский терминал в автомобиле

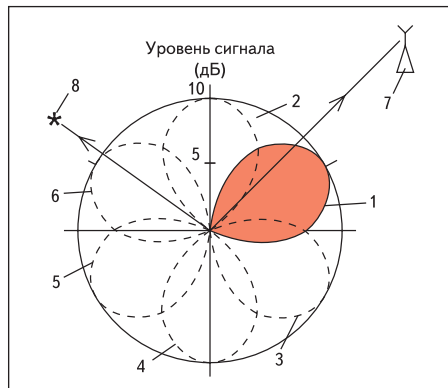


Рис. 3. Диаграмма направленности шестилучевой переключательной антенны: 1 — активный луч, 2–6 — отключенные лучи, 7 — базовая станция, 8 — источник помехи

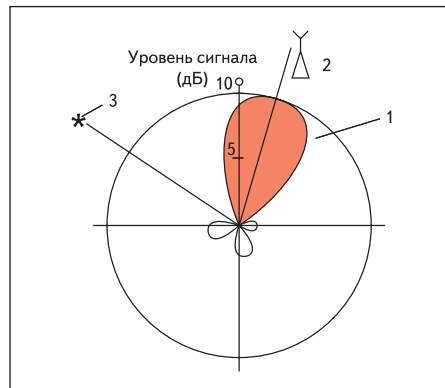


Рис. 4. Диаграмма направленности адаптивной антенны: 1 — адаптивно сформированный луч на базовую станцию, 2 — базовая станция, 3 — помеха



Рис. 5. Комнатная шестилучевая антенна диапазона 3,5 ГГц с автопоиском наилучшего направления внутри помещения в условиях отсутствия прямой видимости базовой станции

пространственным путям (рис. 2), переключаясь на лучшее направление или работающим одновременно. Этот способ предполагает пространственное разделение, а затем объединение потока данных, он эффективен для ослабления помех.

Антенны для пользовательских терминалов с наведением на станцию

Существует несколько типов антенн для пользовательских терминалов:

- встроенная всенаправленная антенна — это самая простая антенна с нулевым усилением;
- антенна всенаправленная в азимуте, с усилением 2–5 дБ, подключаемая к разъему «внешняя антенна»;
- многолучевая антенна (рис. 3), с усилением 7–10 дБ, которая обеспечивает увеличение сигнала, поступающего с базовой станции, и уменьшает помеховый сигнал со всех остальных направлений.

Многолучевая антенна может существенно улучшить скорость передачи данных. Важной особенностью многолучевой антенны является то, что она автоматически наводится на базовую станцию или на наилучшее направление, если нет прямой видимости, и работа проходит в условиях многолучевого распространения радиоволн (рис. 4). Этот режим называется «автопоиск», или самонастройка (self installable).

На рынке можно найти терминальные 4-, 6- и 8-лучевые антенны [1] для работы в диапазоне 2,5 и 3,5 ГГц, как комнатные (рис. 5), так и наружные (рис. 6). Такие антенны в максимальном направлении на базу имеют усиление до 10 дБ и подавление сигналов со всех других направлений 15–20 дБ. Это позволяет добиться увеличения пропускной способности радиоканала и иметь устойчивую связь в помещении, если происходит изменение условий радиобстановки (то есть при изменении положения компьютера, мебели и т. п.) Антенна постоянно проводит автопоиск наи-



Рис. 6. Наружная восьмилучевая антенна абонентского терминала, работающая в диапазоне 3,5 ГГц, с режимом автопоиска базовой станции

лучшего направления луча и дает максимальное усиление.

Антенны мобильных терминалов

Возможности автопоиска и непрерывного слежения за лучом чрезвычайно важны и для другого класса аппаратуры — мобильных абонентских терминалов. При расположении компьютера с блоком WiMax в автомобиле



Рис. 7. Шестилучевая наружная следящая антенна, установленная на легковом автомобиле. Диапазон частот — 2,3 ГГц

встроенная ненаправленная антенна дает сигнал связи с малой пропускной способностью, а дополнительная внешняя многолучевая антенна с усилением 10 дБ значительно увеличивает зону уверенного приема, улучшает качество связи и скорости передачи данных. На рис. 7 показана шестилучевая наружная следящая антенна, установленная на автомобиле и работающая в диапазоне 2,3 ГГц. Следует учесть, что в городах связь с мобильными терминалами происходит преимущественно без прямой видимости базовой станции и именно в этих сложных условиях распространения лучей адаптивные антенны реализуют свои основные преимущества.

Антенны базовых станций

Концепция использования антенных решеток и сигнальных процессоров в беспроводных системах связи известна уже много лет. Например, несколько достаточно дорогих

смарт-антенн используется в военных системах. Но в последние годы, благодаря снижению цены на цифровые сигнальные процессоры (DSP), а также на полупроводниковые процессоры ASIC и программируемые сигнальные процессоры, адаптивные антенные системы стали использоваться все чаще. Адаптивные антенные решения необходимы, так как число пользователей быстро растет, и в то же время растут трудности при распространении радиоволн, ухудшается помеховая обстановка.

Адаптивные антенны — это объединение антенной решетки и DSP для формирования оптимальной диаграммы направленности в пространстве. Это позволяет системе менять направление излучения, адаптируясь к условиям передачи сигнала, что приводит к существенному улучшению характеристик радиосвязи. Существуют две основные категории адаптивных антенн (смарт-антенн) в соответствии с их функциями:

- с переключением луча — с фиксированным количеством лучей определенной формы или их объединением в разных комбинациях по секторам (рис. 3);
- адаптивные решетки — с неограниченным количеством форм ДН, которые настраиваются во время работы на нужное направление, как показано на рис. 8.

Обе системы предназначены для увеличения (усиления) сигнала в месте расположения пользователя, однако адаптивные системы создают максимальное усиление, так как они одновременно отслеживают и минимизируют интерференцию сигналов.

Технология антенн с переключаемым лучом очень простая. Такие антенны стоят значительно меньше по сравнению с адаптивными системами, но малоэффективны при помехах. Адаптивная антенная технология более современна. Используя новейшие алгоритмы, реализованные в сигнальных процессорах, адаптивные системы позволяют эффективно находить и отслеживать сигналы от пользовательского терминала с минимальной интерференцией и максимальным качеством приема. Адаптивная антенна для сектора в 120 градусов содержит от 4 до 8 элементов, входы и выходы которых объединены фазовращателями и аттенуаторами для адаптивного управления [2]. Если обычная антенна с шириной луча 120 градусов для базовой станции WiMax с двумя элементами дает 15 дБ (рис. 9), то адаптивная антенна с 8 элементами имеет максимальное усиление 24 дБ. Диаграмма направленности адаптивной базовой антенны приведена на рис. 8. Такая антенна имеет 12 рядов излучателей, в каждом из которых по 8 элементов. Каждый ряд представляет собой решетку печатных диполей. Центральные 8 рядов — с активными элементами, а остальные 4 ряда — с пассивными. Узкий луч с высоким усилением образован за счет суммирования сигналов со всех рядов. Размер антенны для частоты 3,5 ГГц составляет 0,7×0,6 м.

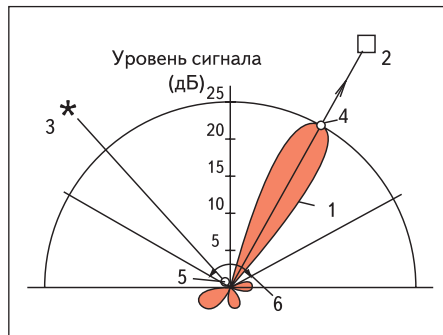


Рис. 8. Диаграмма направленности адаптивной антенны базовой станции с сектором сканирования 120°: 1 — главный луч, 2 — абонентский терминал, 3 — помеховый сигнал, 4 — уровень полезного сигнала, 5 — уровень помехового сигнала, 6 — сектор сканирования 120°

Специфика использования МИМО-системы

Технология МИМО (рис. 2) разработана для LAN (Local Area Net) и была рекомендована в декабре 2006 года для системы WiMax. Но WiMax-форум признал ее частью мобильного WiMax с примечанием — «как возможная опция». Руководство крупных фирм считает не очевидным использование системы МИМО в базовых станциях в ближайшие годы. Одним из главных недостатков МИМО является то, что при ее использовании повышается цена за пользовательский терминал, а также требуется дополнительное место и дополнительная энергия от источника питания. И если теоретически пропускная способность в МИМО-системах удваивается, то на практике, видимо, удвоения не будет, и это зависит от того, какую полосу частот будет использовать провайдер. Первоначально WiMax-системы с МИМО будут построены по схеме 2×2 (две антенны на базовой станции и две у пользователя), и это улучшит систему, но полоса может возрасти только за счет наращивания количества антенн. Некоторые компании обсуждают внедрение МИМО типа 4×4, однако цена и сложность являются сдерживающими факторами [3]. Одним из лидеров данного направления является фирма Bell Lab., руководство которой совместно с фирмой Nortell считает, что коммерческое внедрение МИМО произойдет в 2008–2009 годах. К недостаткам МИМО следует отнести то, что, во-первых, применение этой технологии не увеличивает дальность приема, во-вторых, требуется мощный сигнал и, в-третьих, система не эффективна на границе соты.

Адаптивные антенны делают сигнал мощнее, но только с МИМО [4]. Поэтому адаптивные антенны — это то, что можно будет увидеть в начале развертывания WiMax-сетей, когда операторы захотят добиться устойчивого покрытия сот, а уже на следующем этапе жизни сети они будут заниматься увели-

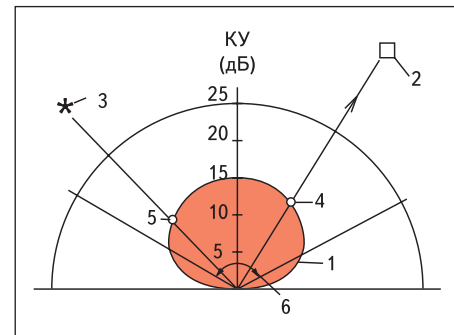


Рис. 9. Диаграмма направленности секторной однолучевой антенны базовой станции с сектором покрытия 120°: 1 — главный луч, 2 — абонентский терминал, 3 — помеховый сигнал, 4 — уровень полезного сигнала, 5 — уровень помехового сигнала, 6 — сектор обслуживания 120°

чением пропускной способности и скорости передачи. Это означает, что только тогда и будет внедряться МИМО.

Эффективность канала связи с адаптивными антеннами

Основным параметром беспроводной связи является спектральная эффективность канала. Для ее повышения необходимо многократное использование частоты и высокий порядок модуляции (16 QAM, 64 QAM). Эффективность измеряется в бит/с/Гц на соту. Вторым показателем емкости канала является пропускная способность на единицу площади соты — бит/с/Гц/миля². Адаптивные антенны в беспроводных сетях WiMax повышают эти параметры, а также увеличивают зону покрытия. Так, исследования Стэнфордского университета [4] показали, что при внедрении адаптивных антенн эффективность по спектру может подняться на 2,5 бит/с/Гц на соту, а эффективность на единицу площади зоны — на 0,8 бит/с/Гц/миля².

Заключение

Теоретически использование адаптивных антенн, как на базовых станциях, так и на абонентских терминалах, может увеличить спектральную эффективность от 3 до 10 раз. Задача инженеров-проектировщиков — производить и поставлять системы связи с адаптивными антеннами без существенного повышения сложности аппаратуры и, главное, ее цены.

Литература

1. www.mpa.co.il
2. www.mti-group.com
3. O'Shea D. MIMO on the March. Apr. 24, 2006
4. Shekh K., Gesbert D., Gore D., Paulraj A. Smart antennas for broadband wireless access networks // IEEE Communication Magazine. Nov. 1999.