

Смарт-антенны в системе WiMax

Михаил Парнес к. т. н.
resonance@mail.fi.ru

В статье рассказывается о последних достижениях в технике антенн для системы WiMax. Представлена информация о возможностях смарт-антенн для базовых станций и для пользовательских терминалов. Приводится сравнение однолучевых и адаптивных антенн по пропускной способности канала связи. Показаны преимущества адаптивных антенн.

Введение

В новом поколении системы связи WiMax оборудование будет содержать две основные категории антенн — это антенны базовых станций и антенны пользовательских терминалов. Работы по созданию смарт-антенн для базовых станций мобильных телефонов позволили использовать эти идеи и внедрить на практике сложные адаптивные антенны в аппаратуре четвертого поколения мобильной связи WiMax. Таким образом, кроме традиционных однолучевых, например, с сектором 120°, сегодня можно применять две новые группы базовых антенн: адаптивные антенны и антенны MIMO (multi-input, multi-output). Антенны для абонентских терминалов для начала можно разделить на две группы: для фиксированной связи и для мобильной связи с подвижными пользователями, расположенными

в автомобилях, поездах и т. д. Все эти основные типы использования показаны на рис. 1.

Для уточнения терминологии приведем определения различных вариантов антенн.

- 1. Антенны с переключаемыми лучами** — это набор излучателей с неподвижной диаграммой направленности и ключи для управления этими лучами. Для данного пользователя базовая станция или терминал выбирает наилучший луч. Переключение лучей позволяет уменьшать или увеличивать усиление, но только в направлении, где эти лучи существуют.
- 2. Антенны со сканированием** луча. Антенная решетка содержит фазовращатели и аттенюаторы, подключенные к антенному сигнальному процессору. Луч внутри сектора ориентируется с помощью процессора в нужном направлении. Плавное сканирование дает существенные преимущества для точного наведения на пользователя или на базовую станцию. Такие антенны используют различные математические методы для создания оптимального луча с максимумом в направлении пользователя и с минимумом в направлении помехи.

Антенна для неподвижного пользовательского терминала

При развертывании системы ставится задача надежного покрытия зон беспроводной связи и ликвидации мертвых зон. Как это всегда бывает, скорости передачи данных для Интернета и быстрой передачи аудио- и видеoinформации недостаточно. Есть два пути увеличения скорости передачи данных в беспроводных сетях — это улучшение эффективности кодирования данных на несущей частоте и снижение количества повторных передач данных, которое обычно происходит при слабом радиоприеме. Улучшить качество сигнала можно за счет увеличения мощности передатчика и повышения чувствительности приемника. Для этого нужно добавить новые усилители мощности и маломощные усилители в приемной части. Но это не только увеличивает цену для роутеров и портов, но и противоречит нормативным документам.

Но есть другой, более эффективный и недорогой путь улучшения качества сигнала. Можно сконструировать антенну, которая передает основную мощность в заданном направлении. Такие антенны могут также принимать сигналы с заданного направления гораздо лучше, чем из всех других направлений. Теперь представим уст-

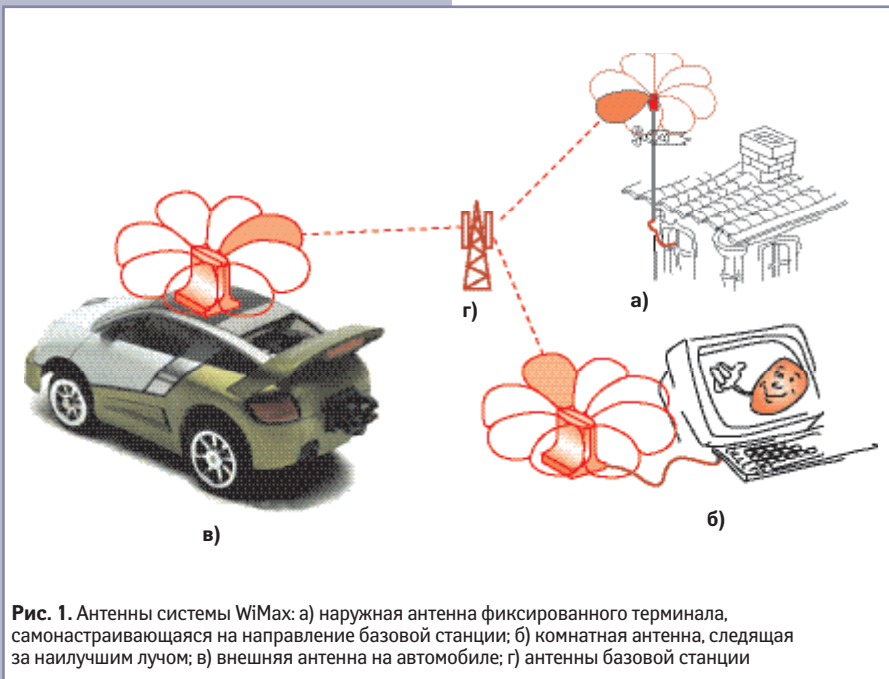


Рис. 1. Антенны системы WiMax: а) наружная антенна фиксированного терминала, самонастраивающаяся на направление базовой станции; б) комнатная антенна, следящая за наилучшим лучом; в) внешняя антенна на автомобиле; г) антенны базовой станции

ройство с несколькими направленными антеннами, которые автоматически выбирают заданное направление, оптимизированное для передачи данных. Это и есть адаптивная антенна.

Традиционные антенны, такие как «диполь» или «пэтч», используемые в роутерах и резидентных портах, излучают энергию равномерно в горизонтальной плоскости, то есть имеют всенаправленную диаграмму направленности. Переключаемые антенны [1] имеют 25 лучей в горизонтальной плоскости, каждый из которых дает 7 дБ усиления в пике, то есть уровень сигнала в три раза выше, чем у стандартного диполя с усилением 2 дБ. Испытания такой многолучевой антенны проводились по трем категориям:

- высокое пропускание на скорости 20–30 Мбит/с;
- средние скорости 10–20 Мбит/с;
- малые скорости 0–10 Мбит/с.

Используя статистические измерения в каждой категории (при 95-процентной надежности) терминал с многолучевой антенной давал по сравнению с дипольным на 6,7 Мбит/с большее пропускание на средних скоростях и на 90% выше пропускание в областях с малым радиосигналом.

Антенны для пользовательских терминалов с автопоиском сигнала

Для фиксированных наружных терминалов можно применить многолучевую антенну с усилением 7–10 дБ, которая обеспечивает увеличение сигнала на направлении от базовой станции и уменьшает помеховый сигнал со всех остальных направлений. Схема построения такой антенны и диаграммы направленности приведены на рис. 2. Антенна состоит из излучателей (дипольных или микрополосковых) с фиксированной диаграммой направленности и переключателя.

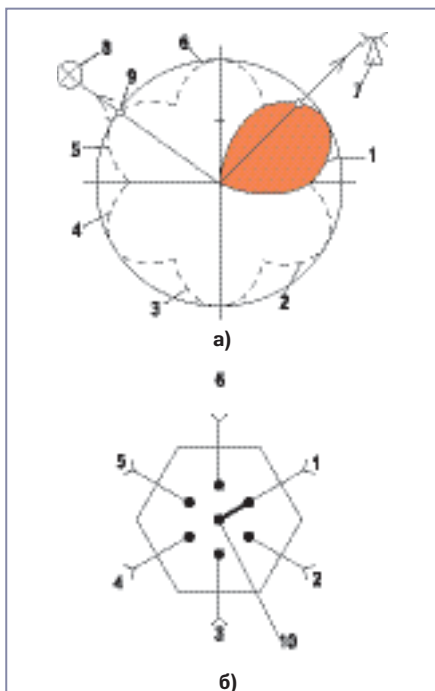


Рис. 2. Многолучевая переключаемая антенна с сектором обслуживания 360°: а) диаграмма направленности; б) структура антенны: 1 — активный луч; 2–6 — отключенные лучи; 7 — базовая станция; 8 — источник помехи; 9 — уровень сигнала в направлении на базовую станцию; 10 — переключатель лучей

Многолучевая антенна может существенно улучшить скорость передачи данных. Важной особенностью многолучевой антенны является то, что она автоматически наводится на направление базовой станции или на наилучшее направление, если нет прямой видимости, а работа происходит в условиях многолучевого распространения радиоволн. Этот режим называется автопоиск или самонастройка (self installable).



Рис. 3. Наружная восьмилучевая антенна абонентского терминала фиксированной связи в диапазоне 3,5 ГГц с режимом самоинсталляции



Рис. 4. Комнатная шестилучевая антенна диапазона 3,5 ГГц с автопоиском наилучшего направления внутри помещения в условиях отсутствия прямой видимости

На рынке можно найти комнатные 6-лучевые и 8-лучевые антенны для работы в диапазоне 2,5 и 3,5 ГГц. Пример такой антенны приведен на рис. 3 [2]. Антенны этого типа имеют в максимальном направлении на базу 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 наилучшего направления луча и дает максимальное усиление. Внешний вид комнатной антенны, располагаемой в непосредственной близости от персонального компьютера, показан на рис. 4.

Антенны мобильных терминалов

Возможность автопоиска и непрерывного слежения за лучом чрезвычайно важны и для другого класса аппаратуры — мобильных абонентских терминалов. При размещении компьютера с блоком WiMax в автомобиле встроенная ненаправленная антенна дает сигнал связи с малой пропускной способностью, а дополнительная внешняя многолучевая антенна с усилением 10 дБ значительно увеличивает зону уверенно-



Рис. 5. Шестилучевая наружная следящая антенна, установленная на легковом автомобиле. Диапазон частот 2,3 ГГц

го приема, улучшает качество связи и скорости передачи данных. Для обеспечения высокого усиления антенна крепится на крыше автомобиля, как показано на рис. 5. Следует учесть, что в условиях города связь с мобильными терминалами происходит преимущественно без прямой видимости на базовую станцию, и именно в этих сложных условиях распространения адаптивные антенны реализуют свои основные преимущества.

Антенны базовых станций

Концепция использования антенных решеток и сигнальных процессоров в беспроводных системах связи известна уже много лет. А в последние годы из-за снижения цены на цифровые сигнальные процессоры (DSP), а также на программируемые сигнальные процессоры стало возможным использование на практике адаптивных антенных систем. Адаптивные антенны необходимы, так как число пользователей быстро растет, а с другой стороны — затрудняется распространение 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.

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° содержит, как правило, от 4 до 8 элементов, входы и выходы которых объединены в диаграммообразующей схеме с фазовращателями и аттенюаторами для адаптивного управления [3]. Если обычная антенна с шириной луча 120° с двумя элементами дает 15 дБ, то адаптивная антенна с 8 элементами имеет максимальное усиление 24 дБ. Диаграмма направленности такой сканирующей антенны изображена на рис. 6а. Основные элементы, образующие антенну, показаны на рис. 6б. 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, 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. На базовых станциях фирмы «Алкател» также используются 2- и 4-элементные антенны с диаг-

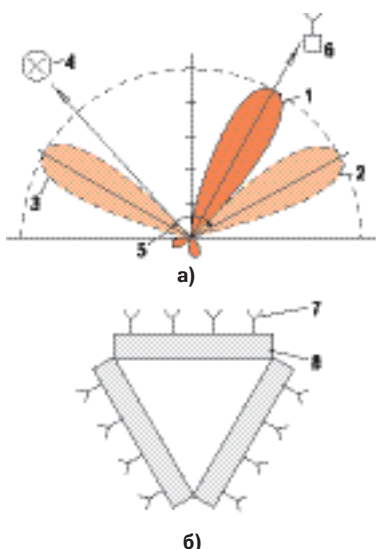


Рис. 6. Адаптивная антенна базовой станции: а) диаграмма направленности с сектором сканирования 120°; б) построение антенны, состоящей из трех сканирующих панелей: 1 — адаптивно сформированный луч; 2–3 — крайние положения луча в секторе перекрытия; 4 — помеховый сигнал; 5 — сектор сканирования 120°; 6 — абонентский терминал; 7 — диаграммообразующая схема

раммообразующими схемами и алгоритмами, увеличивающими пропускную способность каналов на 40% и уменьшающими на 80% влияние помехи [4].

Дополнительное улучшение качества связи оборудования «Алкател» дает система MIMO. Эта технология используется совместно и дополняет возможности смарт-антенн, поэтому кратко опишем эту систему.

Специфика использования системы MIMO

MIMO — это система пространственно-временного кодирования, которая создает выигрыш за счет разделения потока данных через две или более антенны по разным пространственным путям, переключающимся на лучшее направление или работающим одновременно. Этот способ пространственного разделения, а затем объединения, эффективен для подавления помех.

Технология MIMO была рекомендована для системы WiMax в декабре 2006 года, форум WiMax признал ее частью мобильного WiMax с примечани-

Таблица. Сравнение различных вариантов построения смарт-антенн

Схема построения антенны	Переключательная многолучевая антенна	Адаптивная диаграммообразующая схема	MIMO
Достоинства	Простота реализации Низкая цена	Высокая пропускная способность и подавление помех Наилучшим образом подходит для работы в условиях отсутствия прямой видимости	Высокая скорость передачи данных Наилучшим образом подходит для условий многократных переотражений
Недостатки	Ограниченные возможности по формированию луча Всего один элемент в направлении прихода сигнала	Средняя сложность Высокая цена Должен быть хоть один элемент в направлении прихода сигнала	Высокая сложность Высокая цена На стадии разработки

ем — как возможная опция. Руководство крупных фирм не считает очевидным использование системы MIMO в базовых станциях в ближайшие годы [5]. Одним из главных недостатков является то, что при этом повышается цена за пользовательский терминал, требуется дополнительное место и дополнительная энергия от источника питания. И если теоретически пропускная способность в MIMO системах удваивается, то на практике, видимо, удвоения не будет, и это зависит от того, какую полосу частот будет использовать провайдер.

Эффективность канала связи с адаптивными антеннами

Основным параметром беспроводной связи является спектральная эффективность канала. Для повышения спектральной эффективности нужно 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 зоны — на 0,8 бит/с/Гц/миля². Адаптивные антенны в беспроводных сетях WiMax повышают об этих параметра, а также увеличивают зоны покрытия. Так, исследования Стэнфордского университета [6] показали, что 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. Использование адаптивных антенн как на базовых станциях, так и на абонентских терминалах может увеличить спектральную эффективность от 3 до 10 раз.

Заключение

Технология адаптивных антенн предполагает наличие антенных решеток на базовой станции и на абонентском терминале, объединенных с модуляторами и цифровыми сигнальными процессорами для улучшения следующих параметров беспроводной системы:

- увеличения зоны покрытия;
- емкости системы;
- пропускной способности.

Адаптивные антенны могут использоваться как на базовой станции, так и в абонентском терминале. Преимущества такого подхода:

- когерентное сложение сигнала, увеличивающее отношение сигнал/шум;
- пространственное разнесение излучателей в решетке помогает бороться с замиранием;
- подавление помех благодаря адаптивному объединению элементов решетки в диаграмму направленности с максимумом в направлении прихода полезного сигнала и минимумом в направлении помехи;
- пространственное мультиплицирование каналов.

Литература

1. www.airgain.com
2. www.mpa.co.il
3. www.mti-group.com
4. Boano F. Alcatel WiMax. Enhanced Radio Features. CAMAD 2006 Trento.
5. O'Shea D. MIMO on the March. 2006
6. Shekh K., Gesbert D., Gore D., Paulraj A. Smart antennas for broadband wireless access networks // IEEE Communication Magazine. Nov. 1999.