



## РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР КНИГИ "СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ"

Н.И. Аристова (Журнал "Автоматизация в промышленности")

В 2004 г. в издательстве Техносфера вышла книга И. Шахновича "Современные технологии беспроводной связи". В книге рассматриваются современные технологии беспроводной связи - от пико- и микросетей (Bluetooth, DECT) до сети стандартов IEEE 802.11 a/b/g, IEEE 802.16/802.16a. Рассмотрены системы сотовой связи в исторической ретроспективе. Описаны принципы работы аппаратуры в стандартах GSM и CDMA (IS-95). Рассказано о направлениях создания сетей сотовой связи третьего поколения.

**Глава 1. Bluetooth: устройства всех стран, соединяйтесь! Без проводов**

Беспроводные технологии Bluetooth и HomeRF (SWAP) – технически очень близкие системы, появившиеся на базе стандарта IEEE 802.11. Спецификация Shared Wireless Access Protocol (SWAP) предложена группой HomeRF. Это беспроводной аналог домашней сети HomePNA, где все устройства взаимодействуют через компьютер. Идеология Bluetooth (стандарт IEEE 802.15.1) – это универсальный радиointерфейс, связывающий самые разные устройства друг с другом и не требующий дорогой аппаратной поддержки.

Спецификация Bluetooth описывает пакетный способ передачи информации с временным мультиплексированием. Радиобмен происходит в полосе частот 2400...2483,5 МГц. В радиотракте применены метод расширения спектра посредством частотных скачков и двухуровневая гауссова частотная модуляция.

Bluetooth работает как многоточечный радиоканал, управляемый, аналогично сотовой связи GSM, многоуровневым протоколом. В качестве мер защиты в Bluetooth предусмотрено кодирование передаваемых данных, а также выполнение процедуры авторизации устройств. При этом возможны три уровня защиты: минимальная (данные кодируются общим ключом и могут приниматься любыми устройствами без ограничений); защита на уровне устройств (непосредственно в чипе прописывается уровень доступа, в соответствии с которым устройство может получать определенные данные от других устройств); защита на уровне сеанса связи (данные кодируются 128-битными случайными числами, хранящимися в каждой паре устройств, участвующих в конкретном сеансе связи).

В стандарте Bluetooth предусмотрена дуплексная передача на основе разделения времени. Основное устройство передает пакеты в нечетные временные сегменты, а подчиненное устройство – в четные. Пакеты в зависимости от длины могут занимать до пяти временных сегментов. При этом частота канала не меняется до окончания передачи пакета.

Протокол Bluetooth может поддерживать асинхронный канал данных, до трех синхронных (с постоянной скоростью) голосовых каналов или канал с одновременной асинхронной передачей данных и син-

хронной передачей голоса. Скорость каждого голосового канала – 64 Кбит/с в каждом направлении, асинхронного в асимметричном режиме – до 723,2 Кбит/с в прямом и 57,6 Кбит/с в обратном направлении или до 433,9 Кбит/с в каждом направлении в симметричном режиме.

Достоинства новой технологии:

- небольшой радиус действия, что означает малую мощность передатчика и низкую потребляемую мощность;
- высокая устойчивость к интермодуляционным помехам и отсутствие влияния устройств Bluetooth на обычную бытовую электронику;
- недорогая программно-аппаратная реализация – менее 30 долл. США за устройство с последующей тенденцией к снижению до 10 долл. США.

Основное препятствие в распространении Bluetooth усматривают в том, что он действует в одной полосе частот (2,45 ГГц) со стандартами IEEE 802.11 и HomeRF. Теоретически, эти сети могут мешать друг другу. Насколько серьезным их взаимовлияние будет на практике, покажет время.

**Глава 2. Сверхширокополосная связь – второе рождение**

Коммерческие сверхширокополосные системы UWB (стандарт IEEE 802.15.4a – Ultra Wideband) добавили к достоинствам широкополосной связи CDMA (высокой помехозащищенности и адаптивности к реальной эфирной обстановке, низкому (шумоподобному) уровню сигнала, экономичному использованию частотного ресурса, сложности перехвата и поставки прицельных помех) выдающуюся особенность: изделия на ее основе технически проще большинства аналогичных систем.

По определению Федеральной комиссии связи США к UWB-устройствам относятся все системы с шириной спектра не менее 1,5 ГГц, а также устройства, у которых ширина спектральной полосы по уровню – 10 дБ составляет 25% от значения центральной частоты. UWB-системы используют ортогональные псевдослучайные последовательности не для расширения спектра сигнала, а только для сглаживания его спектральной характеристики, формирования отдельных каналов связи и защиты от помех.

Одно из существенных достоинств UWB-системы – отсутствие интерференции прямораспространяющегося сигнала с его отражениями от различных объектов. Из-за высокого эффективного усиления UWB-системы могут работать с очень малой средней мощностью передатчика. Например, компанией Time Domain разработана полнодуплексная 1,3 ГГц система передачи со скоростью 39...156 Кбит/с на дистанции до 16 км. Средняя мощность ее передатчика – 250 мкВт.

UWB-системам не требуется выделенный частотный диапазон, они могут использовать уже занятые участки спектра. Благодаря низкой мощности излучения UWB-устройства не мешают существующим радиотехническим системам, работая в одном с ними диапазоне. Поскольку UWB-сигнал распространен по широкому спектру, обнаружить его, а тем более перехватить или заглушить, – весьма проблематично. UWB-системы способны передавать данные со скоростями свыше 20 Мбит/с внутри помещений и объектов со сложной архитектурой.

Любая UWB-система включает антенную систему, формирующую короткие импульсы электромагнитного излучения; мощный импульсный ключ, управляющий антенной системой; устройство модуляции/демодуляции; прецизионный высокочастотный опорный генератор, приемный детектор и коррелятор. Один из важнейших элементов для UWB-технологии – мощные импульсные ключи, особенно актуальные для локационных систем. Требования к коммутирующим элементам достаточно жесткие – они должны открываться/закрываться за сотни пикосекунд (или по крайней мере иметь фронты открывания/закрывания длительности порядка 10...100 пс) с мегагерцевой частотой повторения при очень высокой стабильности. При этом коммутируемое напряжение измеряется сотнями вольт и киловольтами<sup>1</sup>.

### Глава 3. Стандарт DECT – единство разнообразия

Стандарт DECT (Digital European Cordless Telecommunication) – это набор спецификаций, оп-

ределяющих радиointерфейсы для различных видов сетей связи и оборудования; объединяет требования, протоколы и сообщения, обеспечивающие взаимодействие сетей связи и оконечного оборудования. Организация самих сетей и устройство оборудования в стандарт не входят. Важнейшая задача DECT – обеспечить совместимость оборудования различных изготовителей. Для этого был разработан ряд профилей взаимодействия различных систем, профили взаимодействия DECT и GSM, DECT и ISDN, взаимодействия абонентов с ограниченной мобильностью с сетями общего пользования, со средствами абонентского радиодоступа и т.д.

Радиointерфейс DECT – диапазон шириной 20 МГц (1880...1900 МГц), где выделено 10 несущих частот с интервалом 1,728 МГц. В DECT применяется технология доступа с временным разделением каналов – TDMA (Time Division Multiple Access), а для синхронизации – 32-битная последовательность "101010...". В DECT предусмотрено сжатие речи в соответствии с технологией адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции со скоростью 32Кбит/с (рекомендация ITU-T G. 726).

Существенно, что в радиотракте аппаратуры DECT мощность сигнала весьма мала – 10...250 мВт. Причем 10 мВт – практически номинальная мощность для микросотовых систем с радиусом соты 30...50 м внутри здания и до 300...400 м – на открытом пространстве. Передатчики мощностью до 250 мВт используют для радиопокрытия больших территорий (до 5 км при направленной антенне). Столь низкая мощность делает устройство DECT наиболее безопасными для здоровья. Кроме того, при мощности 10 мВт возможно располагать базовые станции на расстоянии 25 м. В результате достигается рекордная плотность одновременных соединений – до 10000 Эрл./км<sup>2</sup> (около 100 тыс. абонентов) при условии расположения базовых станций по схеме шестиугольника в одной плоскости (на одном этаже). Это лучший показатель и с точки зрения эффективности использования радиоспектра (в пересчете на 1 МГц полосы).

<sup>1</sup> Семейство IEEE 802.15 содержит не рассмотренные в книге стандарты IEEE 802.15.3 и IEEE 802.15.4.

**Протокол беспроводной связи IEEE 802.15.3** предназначен для беспроводных частных сетей (WPAN) и является прямым наследником Bluetooth (частота 2,4 ГГц), обеспечивает скорость передачи данных до 55 Мбит/с на расстоянии до 100 м, в такой сети одновременно могут работать до 245 пользователей. При возникновении помех со стороны других бытовых устройств или иных сетей, сети на основе IEEE 802.15.3 будут автоматически переключать каналы. Также поддерживаются скорости передачи данных – 11, 22, 33 и 44 Мбит/с. Шифрование данных в сетях IEEE 802.15.3 может осуществляться по стандарту AES 128.

**Стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee)** ориентирован на использование в качестве средства связи между автономными приборами и оборудованием; определяет спецификации физического слоя (PHY) и протокол управления доступом (MAC), предлагая поддержку различных топологий сетей. Схемы сетевой маршрутизации призваны обеспечить сохранение энергии и кратчайшие задержки, укладываемые в гарантированный временной интервал, а за счет наличия нескольких маршрутов к каждому узлу в сетях ZigBee предполагается предотвратить возможность "сбоя в одной точке". Ключевые функции PHY включают контроль за энергией и качеством звеньев, а также оценку каналов для более успешного сосуществования с сетями других беспроводных операторов. MAC определяет автоматическое подтверждение получения пакетов, обеспечивает возможность передачи данных в определенные временные интервалы и поддерживает 128 битные функции безопасности AES. Если в пределах досягаемости ZigBee-устройств окажется оборудование Wi-Fi или Bluetooth, их каналы могут быть использованы как туннель для трафика ZigBee. Стандарт IEEE 802.15.4 предусматривает небольшую дальность действия (около 10 м) и пропускную способность канала – до 250 Кбит/с. Передача на этой скорости ведется в диапазоне 2,4 ГГц. Небольшая мощность и скорость обусловлены малыми энергоресурсами связываемых устройств. Доступны также диапазоны 858 МГц (20 Кбит/с) и 902...928 МГц (40 Кбит/с).

Сравните – 500 Эрл./М Гц/км<sup>2</sup> для DECT против 100 Эрл./МГц/км в наиболее емких сотовых сетях GSM-1800 (DCS 1800).

В системах DECT проблема защиты от несанкционированного подключения и прослушивания решается посредством процедур аутентификации базовых станций и абонентских терминалов.

DECT – динамично развивающийся стандарт, совместимый с ISDN и GSM. Аппаратура DECT существенно дешевле сотовых систем, что позволяет строить коммерческие сети связи для абонентов с ограниченной мобильностью с тарифами в 2...3 раза более низкими, чем в сотовой телефонии.

#### Глава 4. Сотовая телефония

В различных регионах России действуют сети стандартов первого поколения NMT-450 и AMPS и второго поколения – GSM (900 и 1800 МГц), DAMPS (IS-136, TDMA/136) и CDMA (IS-95a, cdmaOne).

Самый массовый стандарт GSM действует в диапазонах 900 и 1800 МГц (в США – 1900 МГц). В Европе и России в диапазоне 900 МГц мобильный телефон передает (восходящий канал) в полосе 890...915 МГц, принимает (нисходящий канал) в интервале 935...960 МГц (для GSM1800 соответствуют интервалы 1710...1785 МГц и 1805...1880 МГц). Весь диапазон делится на частотные каналы по 200 кГц – в GSM900 всего 124 канала (124 восходящих и 124 нисходящих), разнос между восходящим и нисходящим каналом – 45 МГц. Базовая станция поддерживает 1...16 частотных каналов. В GSM использован принцип временного разделения канала (TDMA). Использован принцип медленных частотных скачков – прием/передача нового кадра может происходить на новой несущей частоте. При этом сохраняется дуплексный разнос в 45 МГц. Радиус соты в GSM – до 35 км – ограничен возрастающей временной задержкой распространения сигнала, к которой чувствительна технология TDMA.

Стандарт AMPS (Advanced Mobile Phone System) рассчитан на диапазон 824...840 и 869...894 МГц, каналы дуплексные с разномом на 45 МГц, ширина канала 30 кГц. На основе AMPS возник цифровой стандарт второго поколения DAMPS – Digital AMPS, действующий в том же диапазоне, что и предшественник, но здесь применено временное разделение каналов – циклически повторяющиеся кадры с тремя временными интервалами. Речевой кодек VCELP, 8 Кбит/с. Поскольку стандарт американский, его сетевая инфраструктура – ANSI-41. Размер соты – до 20 км.

С развитием микроэлектроники стало возможным создание недорогих портативных станций CDMA (множественный доступ с кодовым разделением каналов – Code-Division Multiple Access). Спецификация IS-95 (cdmaOne), разработанная компанией Qualcomm (США), IS-95 занимает частотный диапазон 824...840 и 869...894 МГц. Прямой канал (от базовой

станции к мобильному терминалу) всегда на 45 МГц выше обратного. Ширина канала – 1,25 МГц. Существует и более высокочастотная версия в диапазоне 1890...1930 и 1950...1990 МГц. Там дуплексный разнос – 80 МГц.

Основной недостаток систем мобильной связи второго поколения – низкая скорость передачи данных 9,6...14,4 Кбит/с. Перед разработчиками стояла задача достичь в сетях 3G скорости потока до 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и до 384 Кбит/с – для мобильных. Так появилась сеть с технологией широкополосной CDMA (WCDMA) с частотным и временным разномом прямого и обратного каналов (FDD WCDMA и TDD WCDMA) соответственно для парного (предполагается 2110...2170 и 1920...1980 МГц) и непарного спектра частот. Технология основывается на расширении спектра методом прямой последовательности в полосе 5 МГц на канал. Изначально определенная скорость потока чипов – 4,096 Mcps (Мчип/с) – для согласования с другими стандартами была снижена до 3,84 Mcps. Таким образом, система может поддерживать требуемые 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и 384 Кбит/с – для мобильных.

Сетевая инфраструктура WCDMA совместима с MAP/GSM и ориентирована на глобальные сети с пакетной коммутацией (IP, X.25).

Спецификация IS-95b (развитие IS-95) позволяет объединять до восьми логических каналов, реальная скорость обеспечивает передачу до 64 Кбит/с. Следующий шаг развития IS-95 – проект cdma2000 в трех стадиях – 1X, 3X и cdma2000 DS (прямая последовательность). Последний вариант технически аналогичен WCDMA, и потому работы над ним были прекращены. CDMA 1X позволяет увеличить число логических каналов до 128 в спектральной полосе 1,25 МГц. При этом реальная скорость – до 144 Мбит/с. В рамках этой стадии была предложена технология увеличения скорости HDR (High Data Rate).

Спецификация CDMA 3X – утроение спектральной полосы канала cdmaOne – 1,25x3=3,75 МГц. При этом в обратном канале происходит передача методом прямой последовательности в полосе 3,75 МГц. В прямом же канале данные передаются параллельно по трем стандартным IS-95 каналам шириной 1,25 МГц. В результате скорость может превышать 2 Мбит/с. Базовые станции в сетях cdma2000 требуют синхронизации. Существенно, что вполне возможно дальнейшее масштабирование – 6X, 9X и т.д. с соответствующим ростом производительности или емкости.

Важнейшая особенность cdma2000 – его полная совместимость с предыдущими фазами, вплоть до cdmaOne.

Плавный переход к сетям 3G крайне привлекателен и для операторов сетей с технологией TDMA – GSM и DAMPS. Изначальная скорость передачи данных в них составляла 9,6 Кбит/с. Однако по каждому каналу через 4,615 мс передается эквивалент 156-разрядного пакета – следовательно, максимально воз-

*Технология - это искусство переделать мир так, чтобы с ним уже можно было не сталкиваться.*

можная теоретическая скорость в GSM-канале — 33,8 Кбит/с. Существенную долю этой полосы съедают служебная информация, а также сигнализация, алгоритмы защиты от ошибок и криптозащиты. Изменив алгоритм защитного кодирования, удалось увеличить скорость до 14,4 Кбит/с.

Следующим шагом стало введение схемы HSCSD (высокоскоростная передача данных по коммутируемым каналам). Она предусматривает объединение нескольких канальных интервалов. Так, при объединении двух интервалов возможна скорость 19,2 (9,6x2) и 28,8 (14,4x2) Кбит/с. Для этого в основном необходимы изменения в программах поддержки протоколов, не затрагивающие аппаратной части и инфраструктуры сети. Более высокие скорости (например, 9,6x4=38,4 Кбит/с) требуют модернизации аппаратуры мобильных телефонов. Дальнейшее увеличение скорости, например до 76,8 Кбит/с (9,6x8), ограничено сетевой инфраструктурой.

Технология пакетной передачи GRPS — дальнейшее развитие HSCSD. Введение пакетной коммутации делает мобильные сети легко совместимыми с IP- и X.25-сетями, создавая тем самым прекрасную платформу для перехода к WCDMA. При пакетной коммутации данные передаются через свободные от речевого трафика канальные интервалы. Совершенно реальными становятся скорости свыше 100 Кбит/с (теоретический предел — 33,8x8=270,4 Кбит/с). Одно из важнейших достоинств пакетной коммутации — быстрое установление соединения. Абонент занимает канал только в момент передачи. Поэтому тарификация может происходить на основе реально переданной информации, а не пропорционально времени нахождения в сети.

Чтобы внедрить технологию GRPS на существующие сети GSM, их инфраструктуру достаточно дооснастить оборудованием пакетной передачи, а каждый GSM-контроллер — блоками управления пакетной связью.

Развитием пакетной передачи стала технология EDGE (Enhanced Data for Global Evolution), основанная на изменении метода модуляции несущей и адаптивная схема защитного кодирования. В EDGE предусмотрена модуляция 8PSK с тремя битами на символ, и скорость передачи утраивается. Предусмотрено два режима EDGE — с коммутацией пакетов (EGRPS, Enhanced GRPS) и с коммутацией каналов (ECSD, Enhanced Circuit Switched Data). Скорости в одном канале передачи увеличиваются соответственно до 69,2 и 38,4 Кбит/с. Режим пакетной передачи предусматривает девять скоростей, отличающихся схемой защитного кодирования и видом модуляции несущих. Скорость автоматически изменяется от пакета к пакету в зависимости от условий в эфире.

На физическом уровне протокол EDGE совпадает с GSM, включая структуру кадров и мультикадра. При этом общая скорость на несущую — до 384 Кбит/с, что позволяет рассматривать EDGE как технологию сетей третьего поколения.

М. Фриш

что позволяет рассматривать EDGE как технологию сетей третьего поколения.

Таким образом, определилась технология эволюции сетей на основе TDMA — GSM и DAMPS. Поскольку эти сети преобладают на территории России, именно EDGE может стать безальтернативной основой дальнейшего развития отечественной сотовой связи.

**В главе 5** рассмотрена проблема развития элементной базы, поддерживающей стандарты сотовой связи.

**В главах 6 и 7** рассмотрены стандарты цифрового телевидения и радиовещания.

Основные стандарты в области цифрового телевидения: европейский стандарт DVB (Digital Video Broadcasting), американский ATSC (Advanced Television Systems Committee) и японский ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting).

Основные стандарты в области цифрового радиовещания: европейский стандарт цифрового вещания DAV (Digital Audio Broadcasting или Eurka-147), американский IBOC ("в полосе совмещенного канала"). Основная идея — сделать переход от аналогового вещания к цифровому плавным, без выделения дополнительных каналов).

## Глава 8. Беспроводные локальные сети.

### Анатомия стандартов IEEE 802.11

Первая версия стандарта IEEE 802.11 — "Спецификация физического уровня и уровня контроля доступа к каналу передачи беспроводных локальных сетей" (Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications) на физическом уровне определяла два радиочастотных и оптический способы работы. В инфракрасном диапазоне предусматривалась импульсно-позиционная модуляция, в диапазоне 2,400...2,4835 ГГц — режимы модуляции с расширением спектра методом частотных скачков (FHSS) и методом прямой последовательности (DSSS). Скорости устанавливались на уровне 1 и 2 Мбит/с.

Стандарт IEEE 802.11 рассматривает два нижних уровня модели взаимодействия открытых систем (OSI) — физический и уровень звена данных (Data Link layer). Последний подразделяется на два подуровня: Logical Link Control (LLC) — описан в стандарте IEEE 802.2 и Medium Access Control (MAC), т.е. управление доступом к каналу (среде передачи) — описан в стандарте IEEE 802.11. На физическом уровне стандарт определяет способ работы со средой передачи, скорость и методы модуляции, на MAC-уровне — принцип, по которому устройства используют общий канал, способы подключения и аутентификации устройств к точкам доступа, механизмы защиты данных. Стандарт IEEE 802.11 предусматривает пакетную передачу с 48-битовыми адресами пакетов, как и любая

сеть Ethernet. Существенно, что все, находящееся в модели OSI "выше" среды передачи, одинаково для всех спецификаций семейства IEEE 802. В результате проводные и беспроводные сети группы IEEE 802 легко сопрягаются друг с другом.

В основу стандарта 802.11 положена сотовая архитектура, причем сеть может состоять как из одной, так и нескольких ячеек. Каждая сота управляется базовой станцией, называемой точкой доступа, которая вместе с находящимися в пределах радиуса ее действия рабочими станциями пользователей образует базовую зону обслуживания. Точки доступа многосотовой сети взаимодействуют между собой через распределительную систему, представляющую собой эквивалент магистрального сегмента кабельных ЛС. Для обеспечения перехода мобильных рабочих станций из зоны действия одной точки доступа к другой в многосотовых системах предусмотрены специальные процедуры сканирования (активного и пассивного прослушивания эфира) и присоединения, однако строгих спецификаций по реализации роуминга стандарт 802.11 не предусматривает.

На MAC-уровне предусмотрен механизм защиты данных, включающий аутентификацию станций и собственно шифрование передаваемых данных. Этот механизм должен обеспечивать такой же уровень защиты, как и в обычных сетях Ethernet, поэтому его назвали WEP (Wired Equivalent Privacy – эквивалент проводной конфиденциальности). Алгоритм WEP основан на использовании четырех общих для одной сети секретных ключей длиной 40 бит.

Отличия стандарта IEEE 802.11 от других спецификаций семейства IEEE 802 начинаются на MAC-уровне. Как известно, основной принцип Ethernet – это множественный доступ к каналу связи с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Станция может начать передачу, только если канал свободен. Если станции обнаруживают, что на одном канале пытаются работать несколько станций, все они прекращают передачу и пытаются возобновить ее через случайный промежуток времени. Таким образом, даже при передаче устройство должно контролировать канал, т.е. работать на прием.

Спецификация IEEE 802.11b рассматривает работу в диапазоне 2,4 ГГц только методом DSSS и расширяет диапазон скоростей до 5,5 и 11 Мбит/с. Для этого используется ССК-модуляция (Complementary Code Keying – кодирование комплементарным кодом), не лишенная некоторых недостатков. Поэтому также прорабатывался другой способ модуляции – пакетное бинарное сверточное кодирование PBCC (Packet Binary Convolutional Coding), который вошел в стандарт IEEE 802.11b как дополнительная опция.

Стандарт IEEE 802.11a ориентирован на работу в диапазоне 5 ГГц и основывается на механизме кодирования данных – частотном мультиплексировании посредством ортогональных несущих (OFDM), который предполагает параллельную передачу полезного

сигнала одновременно по нескольким частотам диапазона, в то время как технологии расширения спектра передают сигналы последовательно. В результате повышается пропускная способность канала и качество сигнала. В IEEE 802.11a каждый пакет передается посредством 52 ортогональных несущих, каждая с шириной полосы порядка 300 кГц (20 МГц/64). Ширина одного канала – 20 МГц. В совокупности с различными скоростями кодирования образуется набор скоростей передачи 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 и 54 Мбит/с.

К недостаткам 802.11a относятся более высокая потребляемая мощность радиопередатчиков для частот 5 ГГц, а также меньший радиус действия (оборудование для 2,4 ГГц может работать на расстоянии до 300 м, а для 5 ГГц – около 100 м).

### Глава 9. Стандарт IEEE 802.11g

IEEE 802.11g – высокоскоростной (до 54 Мбит/с) стандарт в диапазоне 2,4 ГГц, где происходит перенос. Н схемы модуляции OFDM из 5 ГГц диапазона в область 2,4 ГГц при сохранении возможностей устройств стандарта 802.11b. Это возможно, поскольку в стандартах 802.11 ширина одного канала в диапазоне 2,4 и 5 ГГц схожа – 22 МГц по уровню 30 и 20 дБ соответственно. Правда по уровню -28 дБ маска канала в 802.11a допускает полосу спектра шириной 40 МГц, что может создать проблемы.

Одним из основных требований к спецификации 802.11g была обратная совместимость с устройствами 802.11b. Разработчики 802.11g предусмотрели ССК-модуляцию для скоростей до 11 Мбит/с и OFDM – для более высоких скоростей. Но сети стандарта 802.11 при работе используют принцип множественного доступа к каналу связи. В связи с этим при передаче данных могут возникнуть коллизии. Чтобы не допустить этой ситуации, предусмотрена возможность работы в смешанном режиме – ССК-OFDM, кроме того, возможно использование необязательно режима – PBSS. Это приводит к падению пропускной способности сети.

Для предотвращения конфликтов в подобной ситуации в 802.11 введен защитный механизм, предусматривающий перед началом информационного обмена передачу короткого пакета "запрос на передачу" (RTS) и получения пакета подтверждения "можно передавать" (CTS). Механизм RTS/CTS применим и к смешанным сетям 802.11b/g – естественно, эти пакеты должны транслироваться в режиме ССК, который обязаны понимать все устройства. Однако защитный механизм существенно снижает пропускную способность сети. Таким образом, перед производителями ИС для сетей 802.11g стоит задача разработать специальные механизмы, способные в рамках действующих стандартов повысить скорость передачи и избежать коллизий.

Исследовательские группы IEEE 802.11i и 802.11q занимаются совершенствованием защиты информации и качества сервиса (QoS) в сетях. Если удастся решить

Таблица 1. Сравнение скоростей передачи данных для разных стандартов 802.11

Стандарт беспроводных сетей IEEE	Эфирная (ОТА), ожидаемая, Мб/с	Пропускная способность точки доступа MAC, ожидаемая, Мб/с
802.11b	11	5
802.11g	54	25 (без .11b)
802.11a	54	25
802.11n	200+	100

Источник: Лаборатория Intel <http://www.intel.com>

эти вопросы, сети 802.11 могут оказаться той универсальной платформой, на которой будут развиваться беспроводные услуги, включая мобильную связь<sup>2</sup>.

### Глава 10. Стандарт IEEE 802.16

Широкополосная беспроводная связь уже давно рассматривается в качестве реальной альтернативы традиционным способам высокоскоростного абонентского доступа, в том числе и новым "проводным" технологиям, таким как DSL и кабельные модемы. Местные и многоканальные многоточечные распределительные системы LMDS и MMDS в последнее время все чаще используются для организации широкополосной беспроводной передачи данных на "последней миле". Радиус действия передатчиков MMDS, работающих в диапазоне 2,1...2,7 ГГц, может достигать 40...50 км, в то время как максимальная дальность передачи сигнала в системах LMDS, использующих значительно более высокие частоты в области 27...31 ГГц, составляет 2,5...3 км. Массовому распространению этих систем до сих пор мешает отсутствие промышленных стандартов и, как следствие, несовместимость продуктов разных производителей.

Комитет IEEE организовал рабочую группу 802.16, отвечающую за разработку стандарта для диапазона 10...66 ГГц (802.16.1), для диапазона 2...11 ГГц (802.16.3), а также стандарта, регламентирующего совместную работу различных систем широкополосного беспроводного вещания (802.16.2). В стандартах этой группы идет речь о радиоинтерфейсах, методах модуляции и доступа к каналам, о системе управления потоками, о структурах передаваемых данных, о механизмах связи протоколов передачи данных верхних уровней (прежде всего – ATM и IP) с протоколами физического уровня IEEE 802.16 и др. Структурно MAC-уровень IEEE 802.16 подразделяется на три подуровня – преобразования сервиса CS (Convergence Sublayer), основной подуровень CPS (Common Part Sublayer) и подуровень защиты PS (Privacy Sublayer).

Основной механизм управления системой IEEE 802.16 – управляющие сообщения. Всего зарезервировано 256 типов управляющих сообщений, из них 30

описано в стандарте IEEE 802.16. Описание профилей пакетов, управление доступом, механизмы криптозащиты, динамическое изменение работы системы и т.д. – все функции управления, запроса и подтверждения реализуются через управляющие сообщения.

Ключевой момент в стандарте IEEE 802.16 – понятие "сервисного потока" и связанные с ним понятия "соединение" и "идентификатор соединения" (CID). Сервисным потоком в стандарте IEEE 802.16 называется поток данных, связанный с определенным приложением. В этом контексте соединение – это установление логической связи на MAC-уровнях на передающей и приемной стороне для передачи сервисного потока. Каждому соединению присваивается 16-разрядный идентификатор CID, с которым однозначно связаны тип и характеристики соединения.

В IEEE 802.16 используется принцип предоставления доступа к каналу по запросу Demand Assigned Multiple Access (DAMA): для каждого отдельного соединения (Grants per connection – GPC) и для всех соединений определенной абонентской станции (Grants per subscriber station – GPSS). Режим GPSS обязателен для всех устройств в диапазоне 10...66 ГГц. Очевидно, что первый механизм обеспечивает большую гибкость, однако второй существенно сокращает объем служебных сообщений и требует меньшей производительности от аппаратуры.

В 2003 г. был организован международный форум WMAX ([www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)), одна из главных целей которого – тестирование на совместимость аппаратуры стандарта IEEE 802.16 различных производителей.

Представленная книга знакомит с основными понятиями и принципами современных беспроводных технологий радиосвязи, с особенностями их элементной базы, раскрывает исторические аспекты появления тех или иных стандартов. Книга предназначена для широкого круга читателей – разработчиков аппаратуры, технических специалистов, связанных с телекоммуникациями, а также для студентов соответствующих специальностей и всех, интересующихся современными технологиями связи.

Книга увидела свет в 2004 г., когда во всем мире отмечалась тенденция стремительного распространения беспроводных компьютерных сетей. В соответствии с последними данными IDC, Европа занимает первое место в мире по темпам развития беспроводных сетей и мобильных технологий. 2005 г. имеет все основания стать своего рода европейским "годом мобильности", в

<sup>2</sup> Комитет по стандартам Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE-SA) во второй половине 2003 г. инициировал создание исследовательской группы IEEE 802.11 n (802.11 TGN), в задачи которой входит внесение изменений в спецификации протоколов физического уровня и уровня управления доступом к среде, которые позволят достичь пропускную способность точек доступа MAC (MAC SAP) минимум до 100 Мб/с (таблица 1). Эта минимальная пропускная способность должна быть примерно в четыре раза выше, чем у сегодняшних сетей стандартов 802.11a/g. Еще одна задача группы TGN состоит в том, чтобы подготовить сообщество к новому скачку производительности беспроводных сетей – повысить уровень использования существующих беспроводных сетей к тому времени, когда станут доступными новые приложения и секторы рынка. TGN предполагает плавный переход к новым технологиям благодаря обратной совместимости с действующими стандартами беспроводных сетей IEEE (802.11a/b/g). Источник: Лаборатория Intel <http://www.intel.com>.

Таблица 2.

	Стандарт	Использование	Производительность	Диапазон	Частота
Ультраширокополосный доступ (UWB)	802.15.3a	Персональные локальные сети для ультраширокополосного беспроводного доступа (WPAN)	Скорость передачи данных 110...480 Мб/с	До 10 м	7,5 ГГц
Bluetooth	802.15.1		До 720 б/с		2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11a	WLAN	До 54 Мб/с	До 100 м	5 ГГц
Wi-Fi	802.11b		До 11 Мб/с		2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g		До 54 Мб/с		
WiMAX	802.16d	Фиксированная беспроводная городская сеть	До 75 Мб/с (20 МГц BW)	Обычно 6...10 км	Ниже 11 ГГц
WiMAX	802.16e	Портативные ресурсы WMAN	До 30 Мб/с (10 МГц BW)	Обычно 1,6...5 км	2...6 ГГц
Граница	2.5G	WWAN	До 384 Кбит/с	Обычно 1,6...8 км	1900 МГц
CDMA2000/1 x EV-DO	3G		До 2,4 Мб/с (обычно 300-600 Кбит/с)		400, 800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 МГц
WCDMA/UMTS	3G		До 2 Мб/с (До 10 Мб/с с технологией HSDPA)		1800, 1900, 2100 МГц

Источник: Лаборатория Intel <http://www.intel.com>

В Европе уже действуют 25 тыс. общественных точек беспроводного доступа – хот-спотов. Их число, согласно прогнозу, к 2008 г. возрастет до 110 тыс., а число провайдеров беспроводных сетевых услуг увеличится до 50. В 2004 г. продано 64 млн. самых различных устройств, поддерживающих доступ к беспроводным сетям, по сравнению с 24 млн. в 2002 г. (<http://www.idc.com>).

По мнению специалистов компании Intel, 2005 г. ознаменуется очередным прорывом в развитии сетей стандарта Wi-Fi в Европе и обеспечит пользователям возможность оценить преимущества беспроводных

вычислений, что соответствует прогнозам увеличения объема продаж мобильных ПК в 2005 г. В таблице 2 представлены современные характеристики технологий беспроводной связи.

Рассмотрим далее некоторые примеры оборудования, базирующегося на технологиях беспроводной связи и представленного на российском рынке промышленной автоматизации, ПО, адаптированного для работы с беспроводными средствами связи, а также примеры реализованных проектов, где используются эти устройства и технологии.

*Аристова Наталья Игоревна – канд. техн. наук, главный редактор журнала "Автоматизация в промышленности".*

*Контактный телефон (095) 334-91-30.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ АНТЕНН ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Минни Хо, Ларри Суонсон (Intel)

С увеличением популярности технологии Wi-Fi потребность в высоком качестве и высокой пропускной способности беспроводных сетей стали ключевым фактором, ограничивающим ее развитие. Исследователи из корпорации Intel изучают пути преодоления ограничений пропускной способности беспроводных сетей при помощи логических антенн, способных улучшить качество передаваемого сигнала и увеличить расстояние передачи.

Скорость внедрения беспроводной связи на предприятиях и в домашних условиях создает значительную потребность в высокой пропускной способности. Для удовлетворения этой потребности необходимы новые инновационные решения.

В то же время стандарты беспроводной связи самостоятельно развиваются для обеспечения повышения пропускной способности. Появляющиеся спецификации такие, как 802.11n и 802.16, открыли новые области, в которых корпорация Intel провела глубокие исследования, связанные с использованием интеллектуальных антенн в зависимости от их конструкции. Интеллектуальные антенны способны увеличить пропускную способность или расстояние передачи сигнала беспроводными устройствами.

### Что такое интеллектуальные антенны?

При передаче радиосигналов и телесигналов используют традиционную систему связи: одна антенна

передает сигнал, в то время как вторая антенна принимает его. По причине того, что в этой конфигурации используется одна антенна для передачи, а вторая для приема сигнала, такой способ передачи называется SISO. Множество беспроводных сетей сегодня используют этот способ в качестве основной модели. Одна антенна, находящаяся на точке доступа, передает сигнал, а вторая принимает его и наоборот.

Для использования в новых технологиях широкополосной передачи все чаще изучаются модели, в которых точки приема и передачи будут иметь несколько антенн. Этот способ называется MIMO, его схема показана на рисунке. Для обработки множественных сигналов системам MIMO требуются большие по размеру интеллектуальные антенны, чем при использовании способа SISO. В некоторых случаях логика обработки сигнала крайне запутана. В результате эти множественные антенны называются интеллектуальными.