

Лекция3. Основные принципы построения и функционирования сетей на основе IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16.

Принципы работы широкополосных систем

Описанные выше виды цифровой модуляции были разработаны для того, чтобы максимально использовать ограниченную полосу пропускания, выделенную заданной цифровой системе связи. В своей фундаментальной работе, определяющей основы информационной теории, *Клод Шеннон* вывел формулу для емкости канала, в котором сигнал искажается аддитивным белым гауссовым шумом с определенной удельной мощностью. Оказывается, что количество информации, которую можно переслать по каналу с аддитивным белым гауссовым шумом, достигает своей верхней границы, называемой **пропускной способностью канала**, в случае гауссового входного сигнала. Цифровой сигнал с МС-модуляцией будет иметь гауссово распределение только тогда, когда количество поднесущих велико. Многие другие сигналы с цифровой модуляцией имеют негауссово распределение вероятности. В традиционных системах скорость передачи данных достигает максимума. Для решения этой труднодостижимой задачи приходится применять такие сложные методы, как **решетчатое кодирование**, применение эквалайзера и т.д. Можно легко доказать, что такую же пропускную способность канала можно получить, расширяя спектр сигнала (если подобное возможно с точки зрения как распределения спектра, так и технической реализации) до тех пор, пока уровень сигнала не станет ниже уровня шума. Это наблюдение и используется в системах с расширением спектра.

Рассмотрим самый распространенный тип **системы с расширенным спектром**, обозначаемый в литературе **DS-SS** (расширение спектра методом прямой последовательности). В системе DS-SS спектр цифрового информационного сигнала расширяется путем прямого умножения на псевдослучайную последовательность. Пусть T_b длительность информационного символа (бита). Для представления одного информационного символа используется двоичная последовательность длиной M . Каждый элемент двоичной последовательности, называемый чипом, длится $T_c = T_b/M$ секунд. Последовательность выбирается таким образом, чтобы стороннему наблюдателю она казалась случайной, т.е. с его точки зрения ее свойства должны быть похожи на свойства шума. Поскольку длительность кодового импульса в M раз меньше длительности информационного бита, то спектр сигнала с представлением информационных битов в виде псевдослучайной последовательности в M раз шире спектра первоначального информационного сигнала.

Из теории систем связи известно, что оптимальным для приема сигналов, искаженных белым гауссовым шумом, является *корреляционный приемник*. Он перемножает искаженный принятый сигнал с известным, синхронизированным по отношению к принятому, опорным сигналом. В нашем случае опорный – псевдослучайный сигнал, используемый в передатчике для представления информационных битов. На основании этого можно сделать вывод о том, что ПСП (псевдослучайная последовательность) рассматривается в ка-

честве элементарного сигнала, характеризующего один информационный бит, в то время как та же самая последовательность с обратной полярностью представляет собой логическое отрицание бита. Эффект расширения спектра возможен и тогда, когда период псевдослучайной последовательности превышает длительность одного информационного бита.

Система DS-SS представляет собой альтернативу системам с узкополосным каналом. Рассмотрим преимущества этой системы. На протяжении многих лет системы с расширением спектра применялись только в военных целях. Псевдошумовой сигнал с мощностью, не превышающей уровня шума, очень трудно обнаружить. Для возможности его распознавания приемник должен знать конкретную псевдослучайную последовательность, используемую в передатчике, и быть с ним синхронизован. Между тем, в реальных системах используются псевдослучайные последовательности с периодом от нескольких десятков до многих тысяч битов. Количество различных последовательностей тем больше, чем больше их период. Выбор последовательности производится таким образом, чтобы ее автокорреляционная функция была приблизительно равна нулю независимо от временного сдвига между последовательностью и ее сдвинутой копией. Исключение составляет нулевой сдвиг, при котором автокорреляционная функция принимает свое максимальное значение. В то же самое время функция взаимной корреляции различных последовательностей одной и той же длины должна быть равна нулю для любого временного сдвига между коррелированными последовательностями.

Нулевая автокорреляционная функция для любых отличных от нуля временных сдвигов делает систему устойчивой к многолучевому распространению. Такая устойчивость возникает, если длительность чипа короче наименьшей разности между задержками распространения сигнала различными путями. Сигнал приходит в приемник в виде нескольких сдвинутых во времени копий-реплик. Разности между временными сдвигами обычно больше длительности чипа. Следовательно, приемник синхронизируется с сильнейшей составляющей принятого сигнала. В результате корреляционной обработки все остальные реплики сигнала отбрасываются. Точно так же, благодаря нулевой взаимной корреляции между двумя различными последовательностями, отбрасываются сигналы других пользователей. Однако мы должны обратить внимание на то, что игнорирование всех принимаемых реплик сигнала (за исключением самой сильной) не является оптимальной стратегией. Оно приводит к потере информации, содержащейся в отбрасываемых эхо-сигналах. Реплики можно использовать в положительном смысле после выделения и суммирования таким образом, чтобы энергия суммы сигналов была максимальной. Эта операция реализуется в RAKE-приемнике - это основной тип приемника, используемого в каналах с многолучевым распространением.

Из свойств взаимной корреляции используемых псевдослучайных последовательностей можно вывести интересную особенность систем с расширенным спектром. Благодаря тому, что корреляционные устройства приемника пропускают только единственную последовательность, один и тот же спектр может разделяться между многими пользователями, применяющими различ-

ные псевдослучайные последовательности. Это свойство лежит в основе **метода многостанционного доступа с кодовым разделением каналов** (Code Division Multiple Access - CDMA). Разработчики военных систем были заинтересованы в системах с расширением спектра потому, что эти системы обладают естественной устойчивостью к узкополосным искажениям. В результате корреляционной обработки, состоящей из умножения на ПСП и последующего интегрирования, спектр узкополосного искажения расширяется. Напомним, что спектр псевдослучайной последовательности очень широк, и произведение искажения на псевдослучайный сигнал во временном интервале эквивалентно свертке их спектров. Таким образом, на выходе интегратора остается только малая часть энергии искажающего сигнала.

Существуют другие варианты широкополосных систем. Несмотря на это, *система DS-SS чаще других применяется во втором и третьем поколениях сотовой телефонии*, а также в беспроводных абонентских шлейфах она будет использоваться и в персональных системах спутниковой связи. Теперь кратко рассмотрим два других типа систем с расширением спектра. Как уже упоминалось, если свойства канала изменяются во времени, то может оказаться достаточно сложно обеспечить синхронный прием и, особенно, реализовать восстановление синхронизации с точностью до доли кодового импульса. В этом случае в системах с расширением спектра используются так называемые скачки частоты. **Система со скачкообразным изменением частоты** (англ. Frequency Hopping Spread Spectrum - FH-SS).

Биты данных, которые дополнительно могут кодироваться с упреждающей коррекцией ошибок (FEC), воздействуют на выход модулятора частотной манипуляции (FSK). FSK-сигнал сдвигается по частоте на интервал, определяемый псевдослучайным генератором, который управляет синтезатором частот. Если синтезатор может сгенерировать 2^m-1 различных частот, то выходная частота определяется и последовательными битами генератора ПСП. Из-за широкого частотного диапазона генерируемых сигналов очень сложно обеспечить фазовую синхронизацию между несущими, выбираемыми при последовательных скачках. Поэтому в приемнике используется некогерентный FSK-демодулятор. Обратим внимание на то, что скачки частоты происходят много раз за период трансляции одного информационного бита. Период FSK-модуляции T_b разделен на множество коротких временных интервалов $T_{\text{с}}$, называемых временем скачка. В этом случае говорят о быстром скачкообразном изменении частоты.

Методы FS-SS часто применяются в военных системах. Они обладают устойчивостью к преднамеренному глушению, поскольку каждая несущая частота используется очень короткий промежуток времени. В системе сотовой связи GSM термин "медленное скачкообразное изменение частоты" обозначает псевдослучайное изменение частоты канала, которое происходит только один раз за время передачи целого пакета данных, состоящего из 148 битов. Использование медленного скачкообразного изменения частоты совместно с FEC-кодированием позволяет многим пользователям разделять общий

спектр. Этот метод может быть применен для увеличения производительности сотовых систем.

Третий тип - системы расширения спектра с (псевдослучайной) перестройкой во времени (Time Hopping Spread Spectrum - TH-SS). В такой системе период передачи информационного бита, разделен на M_t тактов (временных слотов). Генератор ПСП определяет, номер временного слота для передачи информационного сигнала, Характерной чертой такой системы является ее пакетная природа. Сигнал передается в течение $1/M_t$ -й части периода передачи информации. Обычно значение M_t примерно равно 1000. Однако такое количество тактов создает серьезные проблемы с синхронизацией, решить которые намного сложнее, чем проблемы с синхронизацией в системе DS-SS. Для обеспечения равномерной передачи информации по системе TH-SS передатчик и приемник должны быть оснащены буферами памяти. Встречается описание гибридных систем, сочетающих в себе особенности всех трех вышеперечисленных типов систем с широкополосным спектром. Однако наибольшее практическое значение имеют системы DS-SS и FH-SS.

Поколение Wi-Fi — кратко о 802.11ac

В настоящее время 802.11n окончательно подмял под себя (как минимум в плане поставок чипсетов) все предыдущие стандарты Wi-Fi — некоторые эксперты озвучивали цифры порядка 70%. Распробовав высоких скоростей публика хочет больше, и в наследники прочат 802.11ac, обещая до гигабитные скорости.

802.11n использовал следующее для увеличения пропускной способности:

Оптимизированные механизмы модуляции и передачи пакетов позволяли «прорваться» с 54Mbps до ~75Mbps.

Затем включался Channel Bonding — каналы шириной 40Mhz (в два раза шире традиционных 22Mhz) обеспечивали удвоение скорости — до 150Mbps.

Затем включался механизм Multiple Spatial Streams, коих по стандарту может быть до четырех, что позволяет достичь в теории $150 \cdot 4 = 600$ Mbps

802.11ac собирается «догнать и перегнать» следующими способами:

Каналы шириной 80Mhz и 160Mhz, что позволяет моментально удвоить/учетверить результаты 802.11n.

Максимальное число Spatial Streams увеличили до 8, что позволяет еще раз удвоить скорости.

Оптимизация модуляции и методов передачи пакетов позволяет выжать еще немного ресурса и добиться того, что высокие скорости будут доступны не только в радиусе 4м от точки доступа.

Итого, сложив все факторы, мы можем получить скорость в теории *в восемь с лишним раз* превышающую показатели 802.11n — порядка 5Gbps. На практике, же, такая скорость практически недостижима:

Новые каналы уже не вписываются в диапазон 2.4Ghz, поэтому 802.11ac будут работать только в 5Ghz. Но и в 5Ghz не все так просто. В Европе беспроблемно можно работать только на первых четырех каналах: 36/40/44/48

— на остальных необходимо включать DFS/TPC (сосуществование с радарами), что исключает возможность построения мало-мальски надежной сети. А в эти 4 канала влезет только 1 канал 802.11ac, да и то «все-то» на 80Mhz. Некоторые надежды возлагают на 802.11ad — версию стандарта, работающую в 60Ghz, где мегагерц доступно побольше, но этот частотный диапазон пока четко оформлен только в США, и дальность связи в нем измеряется десятками метров (что очень неплохо для того, чтобы сбросить видео с телефона на телевизор или пользования беспроводной мышкой, но не для серьезных сетей). Так что, делим скорость пополам.

8 Spatial Streams требуют радиомодуля с 8 антеннами и подходящей обстановки (чтобы все 8 потоков в итоге сошлись на клиенте). Как будет выглядеть Dual-Radio точка доступа с 8x8:8 MIMO (16 антенн при Dual Radio!) остается только гадать. :) Мобильные устройства, скорее всего, не пойдут дальше 4x4:4 из-за необходимости экономить электроэнергию и пространство в корпусе. Так что, режем скорость еще пополам.

Итого получаем *максимум* удвоение скоростей 802.11n — что само по себе все равно не плохо.

Почему же все равно ожидается переход на 802.11ac?

Помимо скоростей, 802.11ac предлагает два ключевых улучшения:

Beamforming — возможность динамически менять диаграмму направленности антенн (что реально для антенной решетки из 8 элементов). В идеале, это обозначает, что зона покрытия точки доступа оптимально подстраивается под текущее расположение клиентов. Beamforming не нов для Wi-Fi, его даже сделали частью стандарта 802.11n. Но частью опциональной! В 802.11ac он станет частью обязательной.

Сети Wi-Fi — полудуплексные: пока один передает — остальные слушают. Пакеты передаются последовательно — в один момент времени передается один пакет. Если по «трубе» в 450Mbps (802.11n 3x3:3 MIMO) идет поток в 1Mbps — используется 1/450 полосы пропускания. Если при этом прибывают данные для другого клиента — использовать незадействованную полосу пропускания не удастся. В итоге толку от сверхвысоких скоростей 802.11n в сетях с большим количеством небыстрых клиентов (т.е. корпоративных) очень мало. MU-MIMO позволяет разбить «трубу» на несколько «трубок меньшего диаметра» и передавать данные по ним параллельно. Эта технология хорошо известна телекомщикам. Пока что, говорят о двух вариантах реализации MU-MIMO в 802.11ac: SDMA (Space Division Multiple Access) позволяет передавать данные разным клиентам по разным Spatial Streams (вот где нужен Beamforming!), Downlink MIMO позволяет разбить поднесущие OFDM на группы, и динамически (вроде-бы) выделять каждому клиенту нужное число поднесущих. Таким образом, даже если на точке доступа будут сидеть клиенты 2x2:2 MIMO — все равно можно будет использовать весь потенциал «трубы».

Итого

Как видно, даже если ограничить максимальную скорость одним Gbps, стандарт 802.11ac обещает существенные выгоды как для домашних (высо-

кие скорости), так и для корпоративных сетей (эффективная утилизация этих самых высоких скоростей в сетях с большим числом клиентов). Кроме того, для поддержки новых радиорежимов нужно целиком и полностью менять все оборудование, что обещает существенные выгоды вендорам и интеграторам.

ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Беспроводные технологии 3G, WiMAX и Wi-Fi используются во все более широком спектре отраслей. 3G работает в области мобильной связи и обеспечивает передачу голоса и данных, правда, скорости передачи данных пока не очень высоки. Технология WiMAX в отличие от 3G ориентирована только на IP и потому проста и удобна. На ее основе можно быстро развернуть сеть, а пропускная способность WiMAX, в том числе и для передачи голоса, сулит большие перспективы. Однако 3G — зрелая, рабочая технология, а WiMAX хотя и более перспективная, но еще недостаточно разработана. Действительно, сейчас она находится в стадии перехода от стандарта d к стандарту e, т.е. от WiMAX фиксированного к мобильному. В настоящее время сети WiMAX, работающие по стандарту d, строятся в основном для обеспечения магистральной связи и малоприспособны для пользователей на массовом рынке. Предполагается развертывание первых сетей мобильного WiMAX с реально работающими приложениями, что позволит использовать ноутбуки, КПК, смартфоны и другие мобильные устройства для скоростного доступа в Сеть. Если это произойдет, технология WiMAX выйдет на массовый рынок мобильной связи. Технология Wi-Fi работает на ограниченном расстоянии, и если теоретически можно добиться дальности в 200—300 м, то в условиях крупных городов с большим числом помех и преград она ограничена обычно 30 м и применяется, как правило, внутри помещений. Практика развертывания беспроводных сетей этого стандарта показывает, что даже перегородки между комнатами становятся препятствием для распространения радиосигнала по Wi-Fi, так как ослабляют его, а железобетонные перекрытия между этажами вообще могут привести к потере сигнала. Единственный выход — устанавливать большое число точек доступа Wi-Fi, располагая их в разных помещениях на разных этажах. Таким образом, связь по Wi-Fi удобна и для дома, и для офиса. Есть сети Wi-Fi весьма внушительных размеров, но они все равно ограничены помещениями, пусть и очень большими, с небольшим скоплением людей, например, в аэропортах, крупных складских комплексах, гостиницах, выставочных павильонах. Технология WiMAX позволяет ехать в автомобиле и иметь устойчивую радиосвязь, а Wi-Fi этого не обеспечивает.

Основным событием недавнего прошлого является кардинальное повышение скоростей передачи данных в мобильных сетях, а также появление новых релизов архитектуры мобильных сетей связи — R4, R5 и R6, которые предполагают переход к распределенной структуре опорной сети с применением программных коммутаторов. Развитие идет по пути использования унифицированной платформы IMS (IP Multimedia Subsystem) для реализации

и внедрения персонифицированных мультимедийных услуг в фиксированных и мобильных сетях, а также конвергенции этих сетей и дальнейшего перехода к технологии LTE (Long-term evolution). В результате за три последних года скорость нисходящего потока к абоненту выросла с 384 кбит/с до 14,4 Мбит/с, а восходящего потока — с 384 кбит/с до 2 Мбит/с. Все это стало возможным при переходе к технологии HSDPA в сетях 3G. На горизонте появление первых коммерческих WiMAX-сетей, которые в дополнение к сетям 3G позволят сделать услуги беспроводного широкополосного доступа более распространенными для широких масс населения.

В Москве сейчас установлено уже порядка десяти тысяч точек доступа по Wi-Fi, но в мире первым городом, вся территория которого была покрыта доступом по Wi-Fi, стал Тайбэй. Там оборудовано колоссальное число точек доступа. Основная проблема здесь кроется даже не в технике или технологии, а в бизнес-модели. Действительно, если предоставлять доступ по Wi-Fi бесплатно, то и никаких проблем нет, но как только возникает необходимость введения платной услуги, то сразу встают вопросы: как это реализовать практически, как вести расчеты, как строить систему биллинга?

Технология Wi-Fi может обеспечить конкурентное преимущество, скажем, для кафе, где она работает. В ситуации, когда в городе уже есть около тысячи точек доступа Wi-Fi, логично было бы соединить их в одну сеть и сделать так, чтобы ее обслуживанием и развитием занимался один провайдер. Но решение этой задачи потребует создания полномасштабной проводной сети. И здесь альтернатива — технология WiMAX.

Технологии 3G и WiMAX не конкурируют, у них совершенно разные области применения. Одно из возможных приложений WiMAX — последняя миля в труднодоступных районах, например горных, там, где очень сложно или нецелесообразно строить проводную сеть. Если же сравнить 3G и WiMAX с точки зрения их позиционирования и назначения, то различаются они тем, что WiMAX — это в основном передача данных, а 3G — передача голоса. Сети WiMAX в отличие от 3G используют IP-протокол для передачи данных, что существенно упрощает их развертывание и эксплуатацию. Но эта технология хорошо работает именно для передачи данных, перспективы же передачи голоса по WiMAX, пока неясны.

WiMAX очень перспективная технология, но она требует достаточно широкого частотного спектра. И пока этот вопрос не будет отрегулирован в правовом плане, рассчитывать на большой рост сетей WiMAX не приходится.

Прежде всего все эти технологии предполагают получение оператором отдельных лицензий на каждую из них. Эти три технологии не конкуренты и являются взаимодополняющими для оператора — ведь у них разные зоны покрытия базовых станций. Известно, что Wi-Fi работает на небольшом расстоянии, и его целесообразно использовать, когда требуется небольшая зона покрытия. Технология WiMAX удобна, если необходимо обеспечить беспроводной широкополосный доступ в Интернет. Наиболее разумный путь для оператора — в зависимости от местоположения и конкретных условий рабо-

ты комбинировать эти три технологии — 3G, WiMAX и Wi-Fi — с тем, чтобы обеспечить лучшую зону покрытия при оптимальных затратах.

Однако следует помнить, что у всех трех технологий разная степень зрелости. Технология 3G и ее реализация UMTS наиболее зрелые, так как есть готовое промышленное оборудование и решения на его базе, а самое главное, есть абонентские терминалы, позволяющие донести сервисы, которые развертываются на базе этой технологии, до конечных пользователей. Технология Wi-Fi также является достаточно зрелой. Привлекательность и перспективность WiMAX заключаются в том, что WiMAX дает возможность более эффективно использовать частотный спектр. Различные варианты технологии 3G — UMTS и CDMA и технология WiMAX хорошо дополняют друг друга, вместе формируют набор технологий беспроводного доступа, который в той или иной мере будет развиваться в сетях третьего и следующих поколений. Какие из беспроводных технологий — 3G, WiMAX или Wi-Fi — операторы выберут на практике, зависит от бизнес-задач, стоящих перед ними. Если Wi-Fi в основном используется в качестве точек доступа и закрывает отдельные зоны, то WiMAX может обеспечить сплошное покрытие. Технология WiMAX способна хорошо дополнить мобильную сеть на участке доступа с большой плотностью абонентов при ее расширении.

3G - зрелая технология, и она обладает рядом достоинств, однако основной ее недостаток — невысокая скорость передачи данных. Технология же WiMAX довольно новая, причем больше всего перспектив сулит именно мобильный WiMAX. Для того, чтобы вывести WiMAX на массовый рынок, необходимо разработать помимо базовых станций еще и абонентское оборудование. Выпускаемое сейчас беспроводное оборудование имеет одну антенну — и на прием, и на передачу, а WiMAX подразумевает многоантенную связь, чтобы избежать затуханий. Поэтому создатели оборудования и производители микросхем разрабатывают сейчас именно многоантенные устройства для WiMAX. Несмотря на трудности, в мире во многих местах локально развернут WiMAX, как правило, в труднодоступных зонах.

Кроме технических проблем при создании сетей WiMAX возникают и организационные трудности, в частности, при получении у государственных органов лицензий на частотный диапазон.

Основная проблема широкого распространения Wi-Fi — малая зона покрытия. Чтобы обеспечить связь по Wi-Fi на территории крупного города, требуется колоссальное число точек доступа. Естественно, чтобы их смонтировать, необходимо решить множество организационных проблем: где точки доступа устанавливать и кому это дело поручить. К тому же приходится заключать массу контрактов. Эти трудности легче преодолеть, если в районе создания сети Wi-Fi все здания и сооружения принадлежат одной компании, например международному аэропорту. Но в городе, где у каждого здания свой владелец, разместить станции Wi-Fi очень сложно. Еще одно ограничение Wi-Fi заключается в том, что он отказывается работать не только в движущемся с определенной скоростью объекте, в частности в автомобиле, но и при быстрой ходьбе, когда связь может стать неустойчивой. Зато в любом за-

крытом помещении легко сосредоточить большое число точек доступа Wi-Fi и реализовать роуминг между ними.

У нас в стране, и во всем мире технологии 3G и WiMAX — лицензируемые, для них требуется получать лицензии на частоты у государства. С Wi-Fi могут быть связаны проблемы в реальных условиях применения. Так, если точку доступа установили у себя дома, то может оказаться, что она не будет устойчиво работать из-за помех, связанных с другими точками доступа Wi-Fi, которые находятся у ваших соседей.

И в мире, и особенно в России распространение этих технологий тормозится ограничением самого эфира. Естественный путь решения вопроса ограниченного спектра частот — попытка выжать максимум из тех частот, которые есть, и специалисты Iskratel совершенствуют оборудование именно в этом направлении. Причем первостепенное значение в данном процессе придается средствам защиты информации.

Массовое внедрение технологии Wi-Fi на начальном этапе тормозилось сложной процедурой регистрации базовых станций (точек доступа) и отсутствием нужного количества терминалов. Для технологии WiMAX основным препятствием стала ограниченность частотного ресурса и недостаточно прозрачная процедура лицензирования и присвоения частот. Ну а что касается 3G, то здесь можно отметить такие факторы, как задержка с выдачей лицензий операторам связи, а также отсутствие у них четкого понимания экосистемы 3G и принципов построения устойчивой и обоснованной бизнес-модели на ее базе.

Но основной проблемой, характерной для всех новых технологий, являются не только вышеперечисленные сложности и нехватка недорогого терминального оборудования, а неготовность абонентов пользоваться услугами широкополосной передачи данных. Это серьезно тормозит распространение беспроводных технологий на массовом рынке

Таким образом, если говорить о беспроводных технологиях в глобальном, мировом масштабе, то можно выделить три сдерживающих фактора: недостаток терминалов, ограниченность сервисов и высокие цены. А в России к ним еще добавляются сложности с лицензированием частот для WiMAX.

Позиционирование технологий WI-FI, 3G, WIMAX.

Итак, Wi-Fi — просто беспроводной доступ к точке доступа в офисе или дома, по сути «свобода без проводов». Эта технология хороша в качестве домашней, но абсолютно непригодна для общественной сети. А WiMAX и 3G — технологии публичные и платные. Сети 3G направлены на предоставление услуг голосовой связи и дополнительно — на передачу данных, но с невысокими скоростями. А сети на базе технологии WiMAX по сравнению с сетями на основе 3G с отличной скоростью передают данные. Для потребителей основное преимущество беспроводных широкополосных технологий — высокоскоростной доступ в Интернет и вообще связь на высоких скоростях. Однако, по мнению Шан-И Чу, пока неясно, будет ли пользоваться популярностью телефония через WiMAX. Очень важно, и об этом уже шла

речь выше, что беспроводные технологии откроют доступ к Интернету тем, кто находится в отдаленных районах.

Если попытаться заглянуть в будущее, то скорее всего будут внедряться передовые технологии, такие как MIMO (Multi Input Multi Output), AAS (Adaptive Antenna Systems), OFDM и некоторые другие, которые будут использоваться как в 3G, Wi-Fi так и в WiMAX. Таким образом, все эти технологии применяются для решения конкретной задачи, а вместе они позволяют операторам предоставлять услуги широкополосной передачи данных всем категориям абонентов.

Ключевые параметры технологии беспроводного доступа:

- максимальная пропускная способность, B ;
- максимальная дальность связи, $R_{\text{макс}}$;
- стоимость базовой станции, P_{bs} ;
- стоимость абонентского устройства, P_{su} .

Число БС вычисляется исходя из полного покрытия заданной территории при максимально возможном радиусе обслуживания базовой станции.

Следующий этап – расчет стоимости создания сети доступа. Она складывается из:

- суммарной стоимости инфраструктуры (стоимость необходимого числа БС плюс стоимость ввода их в эксплуатацию, т.е. стоимость работ по строительству и подготовке помещений и антенных опор, затраты на организацию канала привязки к опорной сети, на получение разрешения на использование радиочастот и пр.);
- суммарной стоимости абонентских устройств. Стоимость абонентских устройств WiMAX достаточно высока для абонентов, поэтому предполагается, что оператор будет их субсидировать и, соответственно, стоимость абонентских устройств в модели отнесена к затратам оператора.

Финальный показатель – результат деления стоимости создания сети доступа на число потенциальных абонентов, которое может быть обслужено в сети.

При низкой плотности абонентов определяющий фактор – создание полного покрытия территории обслуживания. Чем больше радиус действия базовой станции, тем большее число абонентов она сможет обслужить и тем меньше стоимость подключения одного абонента.

При росте плотности абонентов определяющим фактором становится необходимая пропускная способность.

С ростом требований к полосе пропускания стоимость подключения абонента растет линейно. Эта зависимость меньше проявляется в местности с низкой плотностью абонентов, когда определяющим фактором является зона покрытия. При достижении определенного порога плотности абонентов базовые станции нужно размещать так близко друг к другу, что они перестанут удовлетворять условиям взаимной электромагнитной совместимости. Таким образом, интерференция ограничивает максимально достижимую пропускную способность существующих стандартов беспроводного доступа.

Радиочастотный спектр – ограниченный ресурс, и даже современные методы обработки радиосигналов не могут сделать полосу пропускания беспроводных систем бесконечной в условиях ограниченного спектра и мощности.

Для соединения базовой станции с абонентской используется высокочастотный диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между базовой станцией и приемником.

Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 120 Мбит/с. При этом, по крайней мере одна базовая станция подключается к сети провайдера с использованием классических проводных соединений. Однако, чем большее число БС подключено к сетям провайдера, тем выше скорость передачи данных и надежность сети в целом.

Сравнительная таблица стандартов беспроводной связи

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
<u>UWB</u>	802.15.3a	<u>WPAN</u>	110–480 Мбит/с	до 10 метров	7,5 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11a	<u>WLAN</u>	до 5 Мбит/с	до 100 метров	5,0 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11b	<u>WLAN</u>	до 11 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11g	<u>WLAN</u>	до 54 Мбит/с	до 100 метров	2,4 ГГц
<u>Wi-Fi</u>	802.11n	<u>WLAN</u>	до 480 Мбит/с	до 100 метров	2,4 — 2,5 или 5,0 ГГц
<u>WiMa</u>	802.16d	<u>WMAN</u>	до 75 Мбит/с	6–10 км	1,5–11 ГГц
<u>WiMa</u>	802.16e	Mobile WMAN	до 30 Мбит/с	1–5 км	2–6 ГГц

WiMAX это система дальнего действия, покрывающая километры пространства, которая обычно использует лицензированные спектры частот (хотя возможно и использование нелицензированных частот) для предоставления соединения с интернетом типа точка-точка провайдером конечному пользователю. Разные стандарты семейства 802.16 обеспечивают разные виды доступа, от мобильного (схож с передачей данных с мобильных телефонов) до фиксированного (альтернатива проводному доступу, при котором беспроводное оборудование пользователя привязано к местоположению)

Wi-Fi это система более короткого действия, обычно покрывающая сотни метров, которая использует нелицензированные диапазоны частот для обеспечения доступа к сети. Обычно Wi-Fi используется пользователями

для доступа к их собственной локальной сети, которая может быть и не подключена к Интернету. Если WiMAX можно сравнить с мобильной связью, то скорее похож на стационарный беспроводной телефон.

Технология *Wi-Fi* имеет ряд недостатков. В частности, компьютер не может находиться от передающей антенны на расстоянии более 100 - 150м. А это серьезное ограничение! Кроме того, прием сигнала может быть крайне затруднен в городских условиях – все знают: потеря, искажение сигнала в условиях плотной застройки...

WiMAX и Wi-Fi имеют совершенно разный механизм (QoS). WiMAX использует механизм, основанный на установлении соединения между базовой станцией и устройством пользователя. Каждое соединение основано на специальном алгоритме планирования, который может гарантировать параметр QoS для каждого соединения. Wi-Fi, в свою очередь, использует механизм QoS подобный тому, что используется в Ethernet, при котором пакеты получают различный приоритет. Такой подход не гарантирует одинаковый QoS для каждого соединения.

Стандарт беспроводной связи IEEE 802.16 изначально был задуман для организации работы беспроводных сетей на больших городских территориях, он еще называется IEEE WirelessMAN (Metropolitan area network - сеть для городских регионов). Именно этот беспроводной широкополосный доступ и может стать столь необходимым средством “последней мили” в крупных городах.

Широкополосный беспроводной доступ лишен недостатков, присущих DSL и кабельным соединениям. Его проще разворачивать, увеличивать площадь покрытия, он более гибок. Сети 802.16 очень похожи на традиционные сети мобильной связи: здесь тоже есть базовые станции, которые действуют в радиусе нескольких километров (до 50 км), при этом их не обязательно устанавливать на вышках - для них вполне подходят крыши домов, водонапорные башни или элеваторы. Оборудование пользователя аналогично обычному набору для спутникового телевидения, с его помощью будет осуществляться соединение с базовой станцией.

Выгоды от внедрения стандарта 802.16 аналогичны любому стандартному оборудованию: большие объемы производства, дешевизна устройств, снижение тарифов из-за предложений от разных провайдеров услуг. Кроме того, 802.16 станет решением “последней мили” для районов, еще не охваченных проводной связью.

Главной проблемой введения стандарта Wi-Max остается отсутствие свободных частот. Полоса 3,2-3,8 ГГц, на которую ориентирован стандарт беспроводного оборудования Wi-Max 802.16a, доступна в России лишь в сильно урезанном виде. Кроме того, ресурс диапазона практически исчерпан ранее установленными радиорелейными и прочими узкополосными системами. В связи с этим переход на оборудование Wi-Max зарубежного и лицензионного отечественного производства будет сильно затруднен.

Все диапазоны частот, для которых в обозримой перспективе будет выпускаться WiMax-оборудование (2,5; 3,5 и 5,8 ГГц), в России выделены для

преимущественного использования в целях обеспечения связи государственных органов власти. Кроме того, в регионах, где услуги сети широкополосного беспроводного доступа могут иметь наивысший спрос, они сильно загружены связью гражданского применения. Предварительные исследования показывают, что с учетом уже выданных частотных разрешений развертывание сетей WiMax в данном диапазоне весьма проблематично. В крупных областных городах России в наличии не более 2–3 доступных дуплексных каналов шириной 3,5 МГц. Например, компания «Комет» получила частоты для развертывания сетей широкополосного беспроводного доступа в Центральном федеральном округе лишь в диапазоне 2,5 ГГц, а WiMax Forum в данный момент сертифицирует только 3,5 ГГц устройства.

О стандарте

Стандарт 802.16a – *Wi-Max* описывает технологию фиксированных беспроводных сетей масштаба города (радиоинтерфейс *WirelessMAN*), способную, как предполагается, быть беспроводной альтернативой некоторым решениям широкополосного доступа – к примеру, кабелю, *xDSL* и каналам *T1/E1*. Такие сети могут применяться также в качестве дополнительной технологии для подсоединения точек доступа *Wi-Fi (802.11)* к сети Интернет. Судя по всему, именно эта технология должна стать суперпривлекательной для миллионов людей во всем мире!

Начальный вариант стандарта 802.16 работал в полосе частот 10-66 ГГц и обеспечивал соединение только в пределах прямой видимости. Расширение стандарта - 802.16a - принятое в январе 2003 года, работает на более низких частотах 2-11 ГГц, что позволяет организовывать связь и не в пределах прямой видимости. Этот факт резко расширил число обслуживаемых пользователей. В данный момент рабочая группа разрабатывает возможность организации роуминга между разными базовыми станциями 802.16, чтобы сделать эту связь аналогом мобильной. Есть уже и специальная группа 802.16e, занимающаяся организацией роуминга между различными сетями, чтобы связь (незаметно для пользователя) могла переходить из беспроводной сети 802.11b - в сеть 802.16 или даже из проводной сети 802.11 в 802.16. Группу изучения роуминга для сетей стандарта IEEE 802 возглавляет телекоммуникационный эксперт компании Intel D.J. Johnston.

Характеристики стандарта Wi-Max 802.16a

- Дальность действия: до 50 километров.
- Покрытие: расширенные возможности работы вне прямой видимости позволяют улучшить качество покрытия обслуживаемой зоны.
- Частота: от 2 GHz до 11 GHz.
- Спектральная эффективность: до 5 бит/сек/Гц.
- Максимальная скорость передачи данных на сектор: до 70 Мбит/с на сектор одной базовой станции. Типовая базовая станция имеет до 6 секторов.
- Возможность передачи голоса и видео.

WiMax является многообещающей технологией беспроводной связи, так как имеет высокую пропускную способность и большую область покрытия. Пиковая скорость, обеспечиваемая этой технологией, достигает 20 Мбит/с, а

средняя – от 1 до 4 Мбит/с. Дальность передачи колеблется в интервале от 60 м в густонаселенных районах до 1,5 – 3,2 км в пригородах. За счет этих параметров предполагается, что оборудование фиксированных сетей 802.16-2004 сможет составить серьезную конкуренцию традиционным широкополосным сетям. В первую очередь операторов должна привлечь быстрота инсталляции сетей и возможность быстрого их масштабирования, не требующего прокладки дорогостоящих кабельных структур. Хотя в настоящее время суммарная стоимость подключения нового абонента по WiMax и не конкурентоспособна в сравнении с тем же DSL, но с началом массового производства устройств WiMax она может сильно упасть.

Основная ставка разработчиков стандарта делается на мобильность, которую должен дать стандарт 802.16e, поскольку в данной области практически нет существующих конкурентных технологий. Создание сетей городского масштаба, работающих по стандарту 802.11, требует больших вложений, количество необходимых базовых станций для создания плотного покрытия будет очень велико. Да и разрабатывался первоначально 802.11 для сетей внутри зданий, а WiMax способен работать в зоне отсутствия прямой видимости. Предполагается, что наличие встроенных механизмов обеспечения качества обслуживания в WiMax вместе с развитием технологий IP-телефонии и других технологий передачи мультимедийного трафика позволит операторам начать борьбу на рынке мобильной телефонии и конкурировать с операторами кабельного телевидения.

Стандарт 802.16 предоставит своим бизнес-пользователям новое преимущество гибкости, особенно тем, кому часто приходится менять операторов связи или тем, кто организует новый бизнес. Вместо того, чтобы неделями ждать линий T1 или DSL для широкополосного доступа, можно будет быстро получить беспроводной широкополосный доступ.

Следующее преимущество 802.16 - его масштабируемость. Представьте себе несколько сотен пользователей хот-спота в отеле, которые эффективно используют его возможности во время какой-либо конференции. С доступом в локальную сеть у них не возникнет проблем, поскольку 802.11 предоставляет вполне достаточную полосу для этого. Но если они пожелают одновременно поработать в Интернете или получить доступ в свою корпоративную сеть через выделенные соединения? В отеле может быть достаточно мощное T1 - соединение, но для обслуживания пятисот активных пользователей его явно не хватит. При помощи беспроводной сети емкость связи может быть увеличена очень быстро, чего проводная связь в принципе сделать не может.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - это некоммерческая организация, образованная по инициативе корпорации Intel с участием ведущих производителей телекоммуникационного оборудования с целью устранить проблемы совместимости, с которыми уже столкнулись операторы при развертывании сетей 802.11.

WiMAX будет разрабатывать планы совместимости, тестирования, выбирать лаборатории для сертификации и организовывать специальные конференции по совместимости для производителей оборудования 802.16. Рабо-

та будет вестись совместно с Европейским Институтом Стандартов Телекоммуникаций (ETSI) для разработки и согласования плана HIPERMAN, по выработке европейского стандарта широкополосной беспроводной связи.

Усилия группы WiMAX помогут распространить оборудование стандарта 802.16 по всему миру. Как говорит Маргарет Лабрек, менеджер корпорации Intel по маркетингу, “если усилия WiMAX увенчаются успехом, то уже первые системы 802.16a, которые поступят в коммерческую эксплуатацию, будут совместимы друг с другом”.

Помимо международной сертификации, производителям и поставщикам WiMAX решений очень важно параллельно решать другие существенные вопросы, неизбежно возникающие при выходе на коммерческий рынок. Это получение сертификатов соответствия на оборудование в России, анализ частотной ситуации в стране и работы регулирующих органов, взаимодействие с операторами – потенциальными партнерами в этом бизнесе. Все в совокупности позволит внедрить WiMAX в России в ближайшем будущем с максимальной эффективностью.

Стандарты IEEE 802.16

IEEE 802.16 или IEEE 802.16-2001 был первым стандартом «точка – многоточка» в области WMAN и был ориентирован на работу в спектре от 10 до 66 ГГц, что требовало нахождения передатчика и приемника в области прямой видимости (LOS, Line of Sight).

IEEE 802.16a (одобрен в январе 2003 г.) стал первым «законченным» стандартом, в котором было устранено большинство недостатков предыдущего стандарта; он был также дополнен множеством новых возможностей (в частности, функционирования в области не прямой видимости – NLOS, Near Line of Sight – за счет понижения рабочей частоты).

IEEE 802.16REVd или IEEE 802.16-2004 является исправленной версией стандарта 802.16a. Основное отличие данного стандарта от предыдущего заключается в поддержке фиксированного офисного или домашнего оконечного терминального оборудования в соответствии с NLOS посредством таких дополнительных функций, как формирование направленного сигнала на антенне и использование поднесущих OFDM.

В стандарте 802.16-2004 определены следующие типы QoS:

- UGS (Unsolicited Grant Service) – для поддержки трафика с постоянной скоростью передачи;
- rtPS (Real-time Polling Service) – для поддержки трафика с переменной скоростью передачи;
- nrtPS (Non-real-time Polling Service) – для поддержки трафика с переменной скоростью передачи, не предъявляющего жесткие требования к значениям параметров QoS;
- BE (Best Effort).

Кроме того, введены следующие функции обеспечения безопасности:

- аутентификация пользовательского оборудования путем обмена сертификатами с базовой станцией для исключения возможности функционирования неавторизированного терминала;

- аутентификация пользователя с использованием протокола EAP (Extensible Authentication Protocol);
- кодирование передаваемых данных с применением DES (Data Encryption Standard) или AES (Advanced Encryption Standard);
- шифрование данных каждой из предоставляемых услуг с собственными ключами, что исключит перехват и расшифровку трафика терминалами, авторизованными для работы в том же домене WiMax;
- использование на канальном уровне в подуровне MAC механизма типа grant – request для авторизации права передачи данных.

Стандарт IEEE 802.16e станет логичным продолжением предыдущих стандартов для обеспечения мобильности пользователя.

pre-WiMax

pre-WiMax - это, так называемый, "стационарный WiMax", в отличие от мобильного WiMax, не имеет ковровое покрытие по аналогии с сотовой связью. Pre-WiMax используют когда нет возможности провести кабель, и необходимо подключить удалённое здание к Интернету, например коттедж. С помощью pre-WiMax можно соединить две удалённые точки по радио-каналу.

Наиболее быстро развивающимся сегментом телекоммуникаций сегодня является *Беспроводная Локальная Сеть (WiFi)*. В последние годы виден все больший рост спроса на мобильные устройства, построенные на основе беспроводных технологий.

Стоит отметить, что *WiFi* продукты передают и получают информацию с помощью радиоволн. Несколько одновременных вещаний могут происходить без обоюдного вмешательства благодаря тому, что радиоволны передаются по разным радиочастотам, известным также как каналы. Для осуществления передачи информации *WiFi* устройства должны «наложить» данные на радиоволну, также известную как несущая волна. Этот процесс называется модуляцией. Существуют различные типы модуляции. Каждый тип модуляции имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения эффективности и требований к питанию. Вместе, рабочий диапазон и тип модуляции, определяют физический уровень данных (PHY) для стандартов передачи данных. Продукты совместимы по PHY в том случае, когда они используют один диапазон и один тип модуляции.

Первый стандарт *беспроводных сетей* 802.11 был одобрен Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE) в 1997 году и поддерживал скорость передачи данных до 2-х Мбит\с. Используемые технологические схемы модуляции стандарта: псевдослучайная перестройка рабочей частоты (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum) и широкополосная модуляция с прямым расширением спектра (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum).

Далее, в 1999 году, IEEE одобрила еще два стандарта *беспроводных сетей WiFi*: 802.11a и 802.11b. Стандарт 802.11a работает в частотном диапазоне 5ГГц со скоростью передачи данных до 54Мбит\с. Данный стандарт построен на основе технологии цифровой модуляции ортогонального мульт-

плексирования с разделением частот (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Стандарт 802.11b использует диапазон частот 2.4 ГГц и достигает скоростей передачи данных до 11Мбит\с. В отличие от стандарта 802.11a, схема стандарта 802.11b построена по принципу DSSS.

Поскольку реализовать схему DSSS легче, нежели чем OFDM, то и продукты, использующие стандарт 802.11b, начали появляться на рынке раньше (с 1999 года). С тех пор продукты, работающие по беспроводному протоколу радиодоступа и использующие стандарт 802.11b, широко использовались в корпорациях, офисах, дома, в загородных коттеджах, в общественных местах (хот-споты) и т.д. На всех продуктах, прошедших сертификацию альянса совместимости *беспроводного оборудования Ethernet* (WECA - Wireless Ethernet Compatibility Alliance), имеется соответствующая отметка с официально зарегистрированным логотипом *WiFi*. Альянс WECA (или Wi-Fi Alliance) включает в себя всех основных производителей беспроводных устройств на основе *технологии WiFi*. Альянс занимается тем, что сертифицирует, маркирует, а также тестирует на совместимость оборудование, применяющее *технологии WiFi*.

В начале 2001 года Федеральная Комиссия по Коммуникациям Соединенных Штатов (FCC - Federal Communications Commission) ратифицировала новые правила, благодаря которым разрешается дополнительная модуляция в диапазоне 2.4 ГГц. Это позволило IEEE расширить стандарт 802.11b, что привело к поддержке более высоких скоростей для передачи данных. Таким образом, появился стандарт 802.11g, который работает со скоростью передачи данных до 54Мбит\с и разрабатывался с использованием технологии OFDM.

Стандарт	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Дата сертификации стандарта	1997	1999	1999	2003
Доступная полоса пропускания	83.5 МГц	300 МГц	83.5 МГц	83.5 МГц
Частота операций	2.4 – 2.4835 ГГц	5.15 – 5.35 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц
Типы модуляции	DSSS, FHSS	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM
Скорость передачи данных по каналу	2, 1 Мбит\с	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Мбит\с	11, 5.5, 2, 1 Мбит\с	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Мбит\с
Совместимость	802.11	Wi-fi5	Wi-Fi	Wi-Fi со скоростью 11 Мбит\с и ни-

Стандарт 802.11a – Высокая производительность и быстродействие.

Благодаря использованию частоты 5 ГГц и модуляции OFDM у этого стандарта есть два ключевых преимущества перед стандартом 802.11b. Во-первых, это значительно увеличенная скорость передачи данных по каналам связи. Во-вторых, увеличилось число не накладывающихся каналов. Диапазон 5 ГГц (также известный как UNII) фактически состоит из трех субдиапазонов: UNII1 (5.15 – 5.25 ГГц), UNII2 (5.25 – 5.35 ГГц) и UNII3 (5.725 – 5.825 ГГц). При использовании одновременно двух субдиапазонов UNII1 и UNII2 получаем до восьми непересекающихся каналов против всего лишь трех в диапазоне 2.4 ГГц. Также у этого стандарта гораздо больше доступная полоса пропускания. Таким образом, с использованием стандарта 802.11a можно поддерживать большее число одновременных, более продуктивных, неконфликтных *беспроводных соединений*.

Стоит отметить, что т.к. стандарты 802.11a и 802.11b работают в различных диапазонах, то и продукты, разработанные под эти стандарты не совместимы. Например, *точка доступа WiFi*, работающая в диапазоне 2.4 ГГц, стандарта 802.11b, не будет работать с беспроводной сетевой картой, рабочий диапазон которой 5 ГГц. Однако, оба стандарта могут и сосуществовать. К примеру, пользователи, подключенные к точкам доступа, применяющим разные стандарты, также могут использовать любые внутренние ресурсы этой сети, но при условии, что эти точки доступа подключены к одной опорной сети.

Еще важно знать, что в Европе и России диапазон 5 ГГц применяется исключительно в военных целях, соответственно в любых иных целях он запрещен к использованию.

802.11g – Высокая скорость в диапазоне 2.4 ГГц.

Стандарт 802.11g несет с собой более высокие скорости передачи данных, при этом поддерживая совместимость с продуктами стандарта 802.11b. Стандарт работает с применением модуляции DSSS на скоростях до 11Мбит\с, но при этом дополнительно используется модуляция OFDM на скоростях выше 11Мбит\с. Таким образом, оборудование стандартов 802.11b и 802.11g совместимо на скоростях, не превышающих 11Мбит\с. Если в диапазоне 2.4 ГГц необходима скорость выше, нежели 11Мбит\с, то нужно использовать оборудование стандарта 802.11g.

Можно сказать, что стандарт 802.11g соединил в себе все лучшее от стандартов 802.11b и 802.11a.

Стандарт 802.11n

Стандарт 802.11n использует совершенно новые технологии, повышающие скорость передачи данных и увеличивающие радиус покрытия. Так, например, заявленная скорость передачи данных для этого стандарта – около 300 Мбит\с.

Модуляция, используемая стандартом, именуется MIMO (Multiple Input Multiple Output). Данная модуляция построена на основе применения множе-

ства антенн, соответственно, создается множество информационных потоков, что в разы увеличивает скорость передачи данных. Также в этом стандарте применена новая технология пакетной агрегации. Эта технология подразумевает, что с каждым отправленным пакетом будет передаваться больше информации. Данный стандарт работает как в диапазоне 2.4 ГГц, так и в диапазоне 5 ГГц. Этот стандарт совместим со всеми предыдущими стандартами.