Глава 11 : Беспроводные сети

Шумоподобные сигналы

Но если по логике работы беспроводные сети весьма похожи на Ethernet (по крайней мере в наиболее распространенных стандартах), то на физическом уровне отличия более чем заметны. Да это и понятно - свойства "воздушной" среды очень далеки от "медного" кабеля. Настолько, что успешное использование беспроводной широкополосной связи немыслимо без нескольких технологических инноваций, с изложения которых и нужно начать эту тему.

Основная идея передачи и приема шумоподобных сигналов весьма проста - это принудительное расширение спектра (Spread Spectrum, SS).

Любой (в том числе прямоугольный) сигнал можно представить как набор синусоидальных гармоник с разной амплитудой и частотой. Но при этом основная энергия импульса будет сосредоточена в спектральной полосе, соответствующей длительности передаваемого сигнала.

Ширина спектра = 1/ti, где ti - длительность импульса. Отсюда следует, что чем меньше длительность импульса, тем большую полосу займет сигнал. Но так сложно передать сигналы небольшой мощности.

Повысить надежность приема оказалось несложно. Достаточно внести в него избыточность, например числовую последовательность (часто называемую шумоподобным кодом или чипом). в этом случае энергия сигнала "размазывается" по всему спектру.

Шумоподобный сигнал.

Для того, что бы можно было выделить чип из шума (который в эфире обязательно присутствует), используются специальные последовательности, обладающие свойствами автокорреляции. Т.е. при наложении на саму себя с некоторым сдвигом совпадение кода будет только в случае нулевого смещения. Наиболее известен в этом качестве 11-ти разрядный код Баркера (11100010010), прямой и инверсный вариант которого часто используется для передачи 1 и 0. Таким образом, передавая сигнал на уровне шума можно надежно его выделить и преобразовать в обычный узкополосный.

Нетрудно посчитать, что при информационной скорости в 1 Мб/с, чипы длительностью 1/11 мкс будут следовать на 11 Мчип/с, и ширина спектра составит 22 Мгц (частота соответствует 2/T, где T - длительность импульса). При этом надо помнить, что при помощи более сложных механизмов представления данных (например комплиментарных кодов) можно поднять сигнальную скорость в 2 и более раза.

Можно добавить, что при передаче сигналов в большинстве систем RadioEthernet используется обычная фазовая модуляция сигналов, не слишком отличающаяся по своей физической сути от методов, используемых в многих других системах, например xDSL.

Диапазон частот

В большинстве стран распределение частот осуществляется по разрешению национальных телекоммуникационных служб. Причем по ныне действующему распределению радиочастот, зафиксированному Всемирной Административной Радио Конференцией (ВАРК), диапазоны частот 2400-2483,5 МГц и 5725-5875 МГц отведены для использования "высокочастотными установками, предназначенными для промышленных, научных и медицинских целей" (так называемые ISM-диапазоны - Industrial, Scientific, Medical).

В США постановлением FCC (Федеральной Комиссии по Коммуникациям) в 1986 году, и спустя несколько лет в Западной Европе, было официально разрешено безлицензионное использование ISM-диапазонов широкополосными средствами связи, и в частности устройствами Radio-Ethernet, при условии ограничения мощности передатчика предельной величиной в 100 мВт.

Это вызвало бурный рост беспроводных технологии (Wireless LAN). Создавались они по большей части для решения обеспечение мобильности пользователей на территории одного дома, или их группы (кампуса). Естественно, за использование частоты не взималась плата. Надо отметить, что в России Wireless LAN никогда не были популярны, а оборудование использовалось в основном для связи нескольких сетей между собой на территории района, города или даже области.

Но, к сожалению, совсем не так обстоит дело в России. Мало того, что тут требуется немалая плата за использование частоты, так и процедура регистрации чудовищно сложна и запутана. Масштаб данного изложения не позволяет привести процедуру целиком, но за сложность говорит стоимость

работ, которая составляет тысячи (или даже десятки тысяч) долларов США. И пока нет особой надежды на изменение ситуации - если только в 2003 году был упрощен порядок регистрации для сетей, расположенных внутри дома. Продолжения ждать придется долго.

Однако при всем этом эффективные средства борьбы с пиратскими линиями связи просто отсутствуют. В результате в большинстве крупных городов диапазон 2,4 ГГц стал свободным "явочным порядком". Количество пиратских линий выросло на столько, что вынудило легальных операторов искать другие, свободные диапазоны (при этом деньги, потраченные на легализацию частот были, по сути, потеряны).

Да и как можно эффективно бороться с радиопиратами, когда стоимости активного оборудования опустилась ниже $100 (реквизиция никого не пугает), да еще чуть не каждый второй новый ноутбук имеет встроенный радиомодуль, а значит потенциальный "пират"?

Причем можно предположить, что "следующие" диапазоны постигнет та же участь. По мере снижения цен на оборудование диапазонов 3,4 и 5,2 ГГц количество пиратов будет быстро расти.Окончательный же результат предсказать пока сложно. Однако очевидно, что политика жесткого государственного регулирования провалилась, и не может эффективно защищать права "официальных" операторов.

Методы передачи

Для использования широкой полосы частот было разработано две принципиально различающихся между собой технологии. Это метод прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS) и метод частотных скачков (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS).

В режиме FHSS весь диапазон 2,4 ГГц используется как одна широкая полоса (с 79 подканалами). В режиме DSSS этот же диапазон разбит на несколько широких DSSS-каналов, так что до трех таких каналов может использоваться независимо и одновременно на одной территории. Номинальная скорость каждого канала 2 Мбит/с.

Метод DSSS позволяет достигать значительно большей производительности (2 Мбит/с на один канал, 6 Мбит/с на весь диапазон 2,4 ГГц), а кроме того, обеспечивают большую устойчивость к узкополосным помехам (выбором поддиапазона для передачи можно отстроиться от помех), и большую дальность связи.

FHSS выпускается значительно большим количеством компаний, она проще и дешевле, однако и пропускная способность ее ниже. Однако, достоинство FHSS-устройств состоит в том, что они, в отличие от DSSS, могут сохранять работоспособность в условиях широкополосных помех - например, создаваемых DSSS-передатчиками. Недостаток - сами они при этом мешают обычным узкополосным устройствам.

Взаимодействие устройств

Теоретические вопросы работы **локальных** сетей Radio Ethernet регламентированы стандартами семейстава IEEE 802.11. В нем определяется порядок организации беспроводных сетей на уровне доступа к среде передачи данных (MAC-уровень) и на физическом уровне (PHY-уровень).

Изначально стандарт IEEE 802.11 предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости 1 Мбит/с и опционально на скорости 2 Мбит/с. В более поздней версии - IEEE 802.11b, фактически являющейся дополнением к основному стандарту, определяется скорость передачи 1, 2, 5.5 и 11 Мбит/с. Следующие версии (a, g) еще более "подняли" скорость.

При взаимодействии устройств на MAC-уровне определяется два основных типа инфраструктуры сетей - Ad Hock и Infrastructure Mode. В первом случае возможен режим точка-точка (узлы непосредственно взаимодействуют друг с другом), во втором - взаимодействие идет через точку доступа (Access Point), который играет роль концентратора. При этом возможны два режима взаимодействия - BSS (Basic Service Set), все станции связываются только через точку доступа, и ESS (Extended Service Set), при которой узлы могут взаимодействовать друг с другом.

Для доступа к среде передачи (PHY-уровень) применяется знакомая по Ethenret система доступа с обнаружением несущей (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), только вместо обнаружения коллизий используется технология их избегания. Перед отправкой кадра в эфир станция посылает специальное сообщение (RTS, Ready To Send), которое говорит о готовности начать передачу, а так же ее продолжительности и адресате.

Соответственно, другие узлы могут задержать передачу, кроме принимающего, который передает сигнал готовности (CTS, Clear to send). Успешная передача подтверждается кадром ACK, после чего все возобновляется снова и снова. Упрощенно говоря, коллизии между абонентами допускаются

только при резервировании (в процессе "соревнования" за занятие канала), а передача данных начинается уже без возможности коллизий.

С другой стороны, активно развивается рынок беспроводного оборудования операторского класса. Это достаточно большой круг систем, включающих в себя MMDS, LMDS, OFDM (будущий 802.16a), а так же ряд фирменных технологий. Среди этого разнообразия оборудования, технологий, цен и возможностей разобраться бывает нелегко даже специалисту, не говоря уже о начинающих.

Попробуем прояснить ситуацию, которая сложилась на практике.

Группа IEEE 802.11.

В настоящий момент эта группа, безусловно, доминирует на рынке. Однако, сразу необходимо отметить, что данные стандарты изначально разрабатывалась (и продолжают разрабатываться) как технология **локальных сетей** внутри помещений.

Грубо говоря, устанавливая точку доступа 802.11, получаем концентратор (хаб) с характеристиками, несколько ухудшенными относительно его "проводных" аналогов. Таким образом, на одну точку пропускной способностью 11Mb/s (802.11b) для большинства приложений возможно подключить до 10-15 клиентов.

Это обстоятельство делает фактически невозможным применение подобного оборудования в сетях доступа масштаба города или хотя бы района. Несмотря на то, что подобные сети были построены во многих городах, услугу нельзя назвать массовой (или качественной).

Достойным "outdoor" применением оборудования 802.11b являются соединения точка-точка или разнос на 2-3 точки на расстояниях до 7-8 километров.

Приведем краткую таблицу характеристик для группы 802.11

Стандарт	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Частоты	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц	5,15-5,25 ГГц 5,25-5,35 ГГц 5,725-5,850 ГГц	2,4-2,483 ГГц	5 ГГц 2,4 ГГц
Метод передачи	DSSS,FHSS	DSSS	DSSS	DSSS	
Скорость	1,2Мб/с	1,2,5.5, 11Мб/с	6,9,12,18, 24,36,48,54Мб/с	6,9,12,18, 24,36,48,54Мб/с	До 248Мб/с
Метод модуляции	BPSK, QPSK	BPSK, QPSK, CCK	BPSK, QPSK		
Дальность связи	До 50 км	До 50 км	До 40 км	До 40 км	

Необходимо отметить, что в описаниях любого оборудования максимальная дальность связи указывается для условий, близких к идеальным. Да еще, как правило, с использованием весьма дорогостоящего антенно-фидерного оборудования.

Крупные зарубежные операторы связи очень редко применяют данное оборудование в своих сетях в основном из-за отсутствия каких либо гарантированных характеристик канала, которые собственно и являются продаваемым товаром.

Наиболее распространенными реализациями данных стандартов является оборудование таких компаний как Cisco (aironet), Proxim (ORiNOCO), Micronet (SP), D-Link, Linksys и т.п.

MMDS и LMDS подобное оборудование

Исторически эта группа оборудования разрабатывалась как система беспроводного многоканального телевидения с переносом в высокочастотные спектры. Позже появились реализации, позволяющие наложить сеть стандарта DOCSIS v1.0 на существующую радиосеть (DOCSIS - стандарт цифровой передачи в кабельных сетях). Таким образом, все характеристики цифрового тракта соответствуют данному стандарту (Downstream до 38 Mbps, разделяемый, Upstream от 0,3 до 9Mbps, на каждого пользователя).

Наложение цифровой сети оставляет возможность транслировать определенное количество телевизионных каналов (в зависимости от общего спектра системы). Высокая мощность передатчика обеспечивает значительную зону покрытия (до 40км).

Основной недостаток подобного рода систем - чрезвычайно высокая стоимость. Инсталляция одной

базовой станции потребует от $150000, не считая затрат на получение частотного разрешения.

С частотами так же существуют определенные проблемы, обусловленные шириной спектра, требуемого системой. Общая стоимость развертывания сети на средний город оценивается в $700000-1000000. Таких средств у отечественных операторов как правило нет.

Фирменные технологии

Отсутствие стандарта на беспроводные сети с гарантированными характеристиками канала привело к появлению большого числа фирменных разработок. Наиболее известными на текущий момент являются Tsunami (Proxim), Ultima3 (Wi-Lan), PacketWave(Aperto Networks) и Revolution (CompTek).

Пример небольшой операторской базовой станции.

Относительно невысокая стоимость, $800-1600 за клиентское устройство (CPE) и $7000-30000 за базовую станцию, высокая надежность и возможность предоставлять лини с гарантированными характеристиками, делают подобное оборудование привлекательным для построения городских сетей доступа, или в качестве дешевой альтернативы ЦРРЛ.

Остается добавить, что уже идет работа по принятию стандарта IEEE 802.16a, в основу которого и ляжет OFDM. Поэтому велика вероятность, что в недалеком будущем недорогое оборудование LAN-уровня получит большую часть достоинств сегодняшних "фирменных" технологий.

Что, в свою очередь, позволит строить надежные радиосети большего размера, и с большей скоростью обмена данными.

Для работы радиоканала кроме качественного активного устройства потребуется пассивная часть - антенна и подводящий кабель (антенно-фидерный тракт). Причем часто их стоимость существенно превышает цену простого радиобриджа.

С кабелем все в общем понятно - чем меньше затухание (dB Loss), тем он лучше. Причем надо помнить, что затухание нужно смотреть именно на той частоте, на которой будет работать канал. В качестве демонстрации можно привести паспортные данные на следующие кабеля:

RG-8x doublescreen

Параметр	Значение			
Частота (мгц)	300	900	1800	2400
Затухание (дб/м)	0,24	0,42	0,64	0,76
Внешний диаметр (мм)	7,5			
Диаметр центрального проводника (мм)	1,65			

Belden H-1000

Параметр	Значение			
Частота (мгц)	300	900	1800	2400
Затухание (дб/м)	0,07	0,12	0,18	0,24
Внешний диаметр (мм)	10,3			
Диаметр центрального проводника (мм)	2,5			

Параметры привычного для локальных сетей RG58 приводить не имеет смысла - потери на нем превысят всякие допустимые пределы (вплоть до 5-8 Дб/метр). Поэтому при любом расстоянии до антенны имеет смысл использовать специальный высокочастотный кабель, тем более сейчас он не слишком дорог - от 0,5 до 2,5 долларов за метр.

Понятно, что чем длиннее кабель, тем больше в нем потери. Так, 20 метров RG-8x внесут затухание порядка 20 * 0,76 = 15,2 Дб. Что сравнимо с усилением очень приличной антенны. Кроме больших потерь на затухание, длинный кабель является хорошей антенной, которая собирает все помехи из эфира. Конечно, на входе в активное устройство стоит узкополосный фильтр, но и он может не справляться с мощной помехой. А установка дополнительного - минимум минус 3 Дб.

Таким образом вынос активного устройства как можно ближе к крыше можно рассматривать как насущную необходимость, при длине фидера более 30-40 метров связь скорее всего будет

невозможна без усилителей и мощных антенн.

Разъемы

Следующий по значению элемент высокочастотного тракта - разъемы. В радиоезернет широко применяются N-type, SMA, TNC и отечественный РК-50. Несколько менее распространены BNC, UHF, F-type, и другие "фирменные" стандарты. Практически все типы имеют конструктивы под обжим, пайку, а так же разнообразные переходники и разветвители.

Затухание в правильно смонтированных разъемах невелико, и эквивалентно 1-2 метрам кабеля. Но даже небольшая грязь или влага способны его резко увеличить - до нескольких Децибел, и невозможности связи. Поэтому работа с разъемами не слишком сложна, но требует большой аккуратности.

Основная причина неисправности в условиях крыш и чердаков - попадание воды в разъем или даже кабель (если в нем в качестве диэлектрика использован воздушный зазор). Поэтому герметизация соединений является одним из самых важных этапов монтажа.

Антенны

Антенны - в отличии от кабелей и разъемов - существенно более тонкая материя. Каких только типов не придумали специалисты на "эфирное" столетие. Панельные, коллинеарные (всенаправленные), волновой канал, логопериодические, спиральные, параболические, вибраторные... Но подробное рассмотрение технических характеристик перечисленных устройств выходит далеко за рамки данного материала. Поэтому придется ограничиться только кратким обзором.

Если не учитывать конструктивные отличия, все антенны можно разделить на всенаправленные (Co-Linear), секторные, и узконаправленные. Их различия понятны из названия. На практике всенаправленные антенны используются для небольших базовых станций, рассчитанных на работу с несколькими (максимум несколькими десятками) точек. У них мал коэффициент усиления, недостаточная помехозащищенность... В общем, при сложной эфирной обстановке всенаправленные антенны фактически неработоспособны, и тем более, не годятся для связи между сегментами Ethernet-сетей.

Более мощные базовые станции строят из нескольких секторов (антенн, имеющих диаграмму направленности в 60-180 градусов. При этом соседние сектора устанавливаются на разные частотные диапазоны, и не мешают друг - другу. С той же целью часто практикуется совместная установка двух антенн в разной поляризации (вертикальной и горизонтальной).

Но понятно, что при строительстве домашних сетей наиболее удобны узконаправленные антенны. Причем чем уже диаграмма направленности, тем лучше (к сожалению, антенну на 2,4ГГц с диаграммой меньше 30 градусов сложно изготовить). Меньше помех принимается, и меньше излучается, что то же немаловажно - особенно при безлицензионном использовании.

Наибольшее распространение получили панельные антенны и "волновой канал". Они просты в изготовлении, недороги, и обладают неплохими характеристиками.

Вот пример панельной антенны FA-20 (усиление 20 Дб).

[Глава 11 : Беспроводные сети]

Антенна FA-20 (модификация FA-16).

Стоимость такого решения порядка $50-70. Основной недостаток - высокая стоимость (при среднем усилении) и хорошая "заметность" антенны на крыше. Достоинство - узкая диаграмма направленности (порядка 20 градусов)

Следующая антенна относится к типу "волновой канал", марка POLARIS-2450 (усиление 17 Дб).

[Глава 11 : Беспроводные сети]

POLARIS-2450-17. Это наиболее дешевый ($20-40), и в общем, наименее качественный вариант. Но недорог, и дает вполне сносные результаты. Главное достоинство - такие антенны легко маскируются на крыше под телевизионные.

Антенна типа двойной биквадрат. Проста в изготовлении. Хорошая диаграмма направленности и усиление которое никто не мерял ввиду кустарности изготовления.

[Глава 11 : Беспроводные сети]

Самодельная антенна типа двойной биквадрат.

В заключение можно упомянуть еще один экзотический тип антенн, которые часто используются в кустарных сетях. Это "баночная" антенна.

Баночная антенна.

В качестве серьезного средства связи данное устройства рассматривать сложно. Тем не менее, технические параметры "банки" вполне на уровне - 7-8 Дб усиления можно получить даже без особых расчетов конструкции.

Грозозащита

Так как антенна обычно ставится на крыше, нужно особо выделить такое ее свойство, как грозозащитные свойства. Почти все современные типы антенн являются короткозамкнутыми по постоянному току. Это само по себе весьма надежное средство против атмосферного электричества, только нужно заботиться что бы крепеж антенны (или трубостойка) были надежно заземлены.

В случае использования антенн экзотического типа, самодельных, и т.п. не короткозамкнутых, нужно либо устанавливать их в негрозоопасных местах, либо применять отдельную газовую или четвертьволновую грозозащиту (последнее, по сути, замыкает фидер по постоянному току на землю).

Непрямая видимость

При использовании беспроводной связи в локальных сетях (и для связи локальных сетей) обычно никто не утруждает себя расчетом возможности связи. Есть прямая видимость - все нормально. Нет - работать не будет (разве что в пределах нескольких комнат).

В принципе, это верно. Но из повседневной практики известно и другое - уверенный прием телевизионного сигнала часто возможен и без прямой видимости. Радиоволны отражаются от стен домов и других поверхностей, и этого может быть вполне достаточно для работы радио-Ethernet.

В наиболее новых устройствах беспроводной связи возможность работы "на отражениях" поддержана на уровне методов кодирования, поэтому работает вполне эффективно. Настолько, что продавцы оборудования говорят о возможности связи "в отсутствии прямой видимости". Отчасти это правда - но далеко не всегда. Причем достоверно предсказать результат без проведения испытаний невозможно.