

ГЛАВА 10 Беспроводная передача данных

Беспроводная связь стала использоваться для общения между людьми ненамного позже, чем проводная. Уже в 90-х годах XIX века были проведены первые эксперименты по передаче телеграфных сообщений с помощью радиосигналов, а в 20-е годы XX века началось применение радио для передачи голоса.

Сегодня существует большое число беспроводных телекоммуникационных систем, из которых наиболее распространенными являются системы широко вещания, такие как радио или телевидение, а также мобильная телефонная связь. Кроме того, беспроводные системы широко используются как транспортное средство для передачи компьютерных данных. Для создания протяженных линий связи применяются радиорелейные и спутниковые системы, существуют также беспроводные системы доступа к сетям операторов связи и беспроводные локальные сети. В современных беспроводных системах, так же как и в проводных, все больше информации передается в цифровом виде.

Беспроводная среда, для которой сегодня в основном используется микроволновый диапазон, отличается высоким уровнем помех, которые создают внешние источники излучения, а также многократно отраженные от стен и других преград полезные сигналы. Поэтому в беспроводных системах связи применяют различные средства, направленные на снижение влияния помех. В арсенал таких средств входят уже рассмотренные нами коды прямой коррекции ошибок и протоколы с подтверждением доставки информации. Эффективным средством борьбы с помехами является техника расширенного спектра, разработанная специально для беспроводных систем.

В этой главе приводятся базовые сведения об элементах, принципах работы и методах кодирования беспроводных систем, которые используются для построения двухточечных и многоточечных линий связи.

Беспроводная среда передачи

Преимущества беспроводных коммуникаций

Возможность передавать информацию без проводов, привязывающих (в буквальном смысле этого слова) абонентов к определенной точке пространства, всегда была очень привлекательной. И как только технические возможности становились достаточными для того, чтобы новый вид беспроводных услуг приобрел две необходимые составляющие успеха — удобство использования и низкую стоимость — успех ему был гарантирован.

Последнее тому доказательство — **мобильная телефония**. Первый мобильный телефон был изобретен еще в 1910 году Ларсом Магнусом Эрикссоном (Lars Magnus Ericsson). Этот телефон предназначался для автомобиля и был беспроводным только во время движения. Однако в движении им нельзя было пользоваться, для разговора нужно было остановиться, выйти из автомобиля и с помощью длинных жердей присоединить телефон к придорожным телефонным проводам (рис. 10.1). Понятно, что определенные неудобства и ограниченная мобильность воспрепятствовали коммерческому успеху этого вида телефонии.

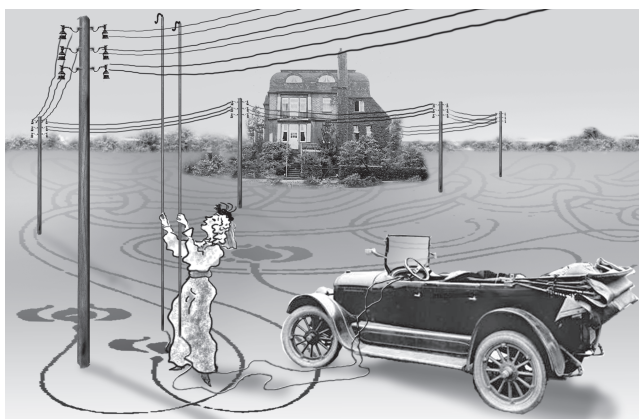


Рис. 10.1. Первый мобильный телефон

Прошло много лет, прежде чем технологии радиодоступа достигли определенной степени зрелости и в конце 70-х обеспечили производство сравнительно компактных и недорогих радиотелефонов. С этого времени начался бум мобильной телефонии, который продолжается до настоящего времени.

Беспроводная связь не обязательно означает мобильность. Существует так называемая **фиксированная беспроводная связь**, когда взаимодействующие узлы постоянно располагаются в пределах небольшой территории, например в определенном здании. Фиксированная беспроводная связь применяется вместо проводной, когда по какой-то причине невозможно или невыгодно использовать кабельные линии связи. Причины могут быть разными. Например, малонаселенная или труднодоступная местность — болотистые районы и джунгли Бразилии, пустыни, крайний Север или Антарктида еще не скоро дождутся своих кабельных систем. Другой пример — здания, имеющие историческую ценность, стены которых непозволительно подвергать испытанию прокладкой кабеля.

Еще один часто встречающийся случай использования фиксированной беспроводной связи — получение альтернативным оператором связи доступа к абонентам, дома которых уже подключены к точкам присутствия существующего уполномоченного оператора связи проводными линиями доступа. Наконец, организация временной связи, например, при проведении конференции в здании, в котором отсутствует проводной канал, имеющий скорость, достаточную для качественного обслуживания многочисленных участников конференции.

Беспроводная связь используется для передачи данных уже достаточно давно. До недавнего времени большая часть применений беспроводной связи в компьютерных сетях была связана с ее фиксированным вариантом. Не всегда архитекторы и пользователи компьютерной сети знают о том, что на каком-то участке пути данные передаются не по проводам, а распространяются в виде электромагнитных колебаний через атмосферу или космическое пространство. Это может происходить в том случае, когда компьютерная сеть арендует линию связи у оператора первичной сети, и отдельный канал такой линии является спутниковым или наземным СВЧ-каналом.

Начиная с середины 90-х годов достигла необходимой зрелости и технология **мобильных компьютерных сетей**. С появлением стандарта IEEE 802.11 в 1997 году появилась возможность строить мобильные сети Ethernet, обеспечивающие взаимодействие пользователей независимо от того, в какой стране они находятся и оборудование какого производителя они применяют. Пока такие сети еще играют достаточно скромную роль по сравнению с мобильными телефонными сетями, но аналитики предсказывают их быстрый рост в ближайшие годы.

Развитие технологии мобильных телефонных сетей привело к тому, что эти сети стали очень широко использоваться для доступа в Интернет. Третье поколение мобильных телефонных сетей, известное как сети 3G, обеспечивает передачу данных со скоростью 1,5–2 Мбит/с, что сравнимо по скорости с проводным доступом через телефонные абонентские окончания.

Беспроводные сети часто связывают с *радиосигналами*, однако это не всегда верно. В беспроводной связи используется широкий диапазон электромагнитного спектра, от радиоволн низкой частоты в несколько килогерц до видимого света, частота которого составляет примерно 8×10^{14} Гц.

Беспроводная линия связи

Беспроводная линия связи строится в соответствии с достаточно простой схемой (рис. 10.2).



Рис. 10.2. Беспроводная линия связи

Каждый узел оснащается антенной, которая одновременно является передатчиком и приемником электромагнитных волн. Электромагнитные волны распространяются в ат-

мосфере или вакууме со скоростью 3×10^8 м/с во всех направлениях или же в пределах определенного сектора.

Направленность или ненаправленность распространения зависит от типа антенны. На рис. 10.2 показана **параболическая антенна**, которая является *направленной*. Другой тип антенн — **изотропная антенна**, представляющая собой вертикальный проводник длиной в четверть волны излучения. Изотропные антенны являются *ненаправленными*, они широко используются в автомобилях и портативных устройствах. Распространение излучения во всех направлениях можно также обеспечить несколькими направленными антеннами.

Так как при ненаправленном распространении электромагнитные волны заполняют все пространство (в пределах определенного радиуса, определяемого затуханием мощности сигнала), то это пространство может служить *разделяемой средой*. Разделение среды передачи порождает те же проблемы, что и в локальных сетях, однако здесь они усугубляются тем, что пространство в отличие от кабеля является общедоступным, а не принадлежит одной организации.

Кроме того, проводная среда строго определяет направление распространения сигнала в пространстве, а *беспроводная среда является ненаправленной*.

Для передачи дискретной информации с помощью беспроводной линии связи необходимо модулировать электромагнитные колебания передатчика в соответствии с потоком передаваемых битов. Эту функцию осуществляет устройство DCE, располагаемое между антенной и устройством DTE, которым может быть компьютер, коммутатор или маршрутизатор компьютерной сети.

Диапазоны электромагнитного спектра

Характеристики беспроводной линии связи — расстояние между узлами, территория охвата, скорость передачи информации и т. п. — во многом зависят от частоты используемого электромагнитного спектра (частота f и длина волны λ связаны соотношением $c = f \times \lambda$).

На рис. 10.3 показаны диапазоны электромагнитного спектра. Обобщая можно сказать, что они и соответствующие им беспроводные системы передачи информации делятся на четыре группы.

- Диапазон до 300 ГГц имеет общее стандартное название — **радиодиапазон**. Союз ITU разделил его на несколько поддиапазонов (они показаны на рисунке), начиная от сверхнизких частот (Extremely Low Frequency, ELF) и заканчивая сверхвысокими (Extra High Frequency, EHF). Привычные для нас радиостанции работают в диапазоне от 20 кГц до 300 МГц, и для этих диапазонов существует хотя и не определенное в стандартах, однако часто используемое название **широковещательное радио**. Сюда попадают низкоскоростные системы AM- и FM-диапазонов, предназначенные для передачи данных со скоростями от нескольких десятков до сотен килобит в секунду. Примером могут служить радиомодемы, которые соединяют два сегмента локальной сети на скоростях 2400, 9600 или 19200 Кбит/с.
- Несколько диапазонов от 300 МГц до 300 ГГц имеют также нестандартное название микроволновых диапазонов. **Микроволновые системы** представляют наиболее широкий класс систем, объединяющий радиорелейные линии связи, спутниковые каналы, беспроводные локальные сети и системы фиксированного беспроводного доступа,

называемые также системами беспроводных абонентских окончаний (Wireless Local Loop, WLL).

- Выше микроволновых диапазонов располагается инфракрасный диапазон. Микроволновые и инфракрасный диапазоны также широко используются для беспроводной передачи информации. Так как инфракрасное излучение не может проникать через стены, то **системы инфракрасных волн** служат для образования небольших сегментов локальных сетей в пределах одного помещения.
- В последние годы видимый свет тоже стал применяться для передачи информации (с помощью лазеров). **Системы видимого света** используются как высокоскоростная альтернатива микроволновым двухточечным каналам для организации доступа на небольших расстояниях.

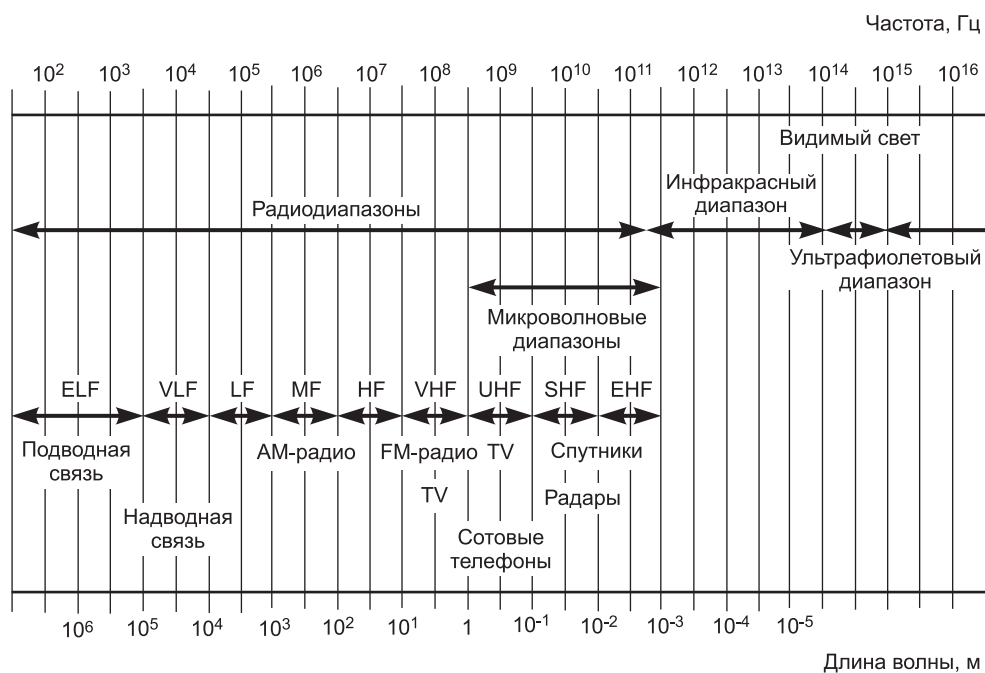


Рис. 10.3. Диапазоны электромагнитного спектра

ПРИМЕЧАНИЕ

Справедливости ради нужно отметить, что свет был, очевидно, первой беспроводной средой передачи информации, так как он использовался в древних цивилизациях (например, в Древней Греции) для эстафетной передачи сигналов между цепочкой наблюдателей, располагавшихся на вершинах холмов.

Распространение электромагнитных волн

Перечислим некоторые общие закономерности распространения электромагнитных волн, связанные с частотой излучения.

- ❑ Чем выше несущая частота, тем выше возможная скорость передачи информации.
- ❑ Чем выше частота, тем хуже проникает сигнал через препятствия. Низкочастотные радиоволны AM-диапазонов легко проникают в дома, позволяя обходиться комнатной антенной. Более высокочастотный сигнал телевидения требует, как правило, внешней антенны. И наконец, инфракрасный и видимый свет не проходят через стены, ограничивая передачу *прямой видимостью* (Line Of Sight, LOS).
- ❑ Чем выше частота, тем быстрее убывает энергия сигнала с расстоянием от источника. При распространении электромагнитных волн в свободном пространстве (без отражений) затухание мощности сигнала пропорционально произведению квадрата расстояния от источника сигнала на квадрат частоты сигнала.
- ❑ Низкие частоты (до 2 МГц) распространяются вдоль поверхности земли. Именно поэтому сигналы AM-радио могут передаваться на расстояния в сотни километров.
- ❑ Сигналы частот от 2 до 30 МГц отражаются ионосферой земли, поэтому они могут распространяться даже на более значительные расстояния в несколько тысяч километров (при достаточной мощности передатчика).
- ❑ Сигналы в диапазоне выше 30 МГц распространяются только по прямой, то есть являются сигналами прямой видимости. При частоте свыше 4 ГГц их подстерегает неприятность — они начинают поглощаться водой, а это означает, что не только дождь, но и туман может стать причиной резкого ухудшения качества передачи микроволновых систем.
- ❑ Потребность в скоростной передаче информации является преобладающей, поэтому все современные системы беспроводной передачи информации работают в высокочастотных диапазонах, начиная с 800 МГц, несмотря на преимущества, которые сулят низкочастотные диапазоны благодаря распространению сигнала вдоль поверхности земли или отражения от ионосферы.
- ❑ Для успешного использования микроволнового диапазона необходимо также учитывать дополнительные проблемы, связанные с поведением сигналов, распространяющихся в режиме прямой видимости и встречающих на своем пути препятствия.

На рис. 10.4 показано, что сигнал, встретившись с препятствием, может распространяться в соответствии с тремя механизмами: отражением, дифракцией и рассеиванием.

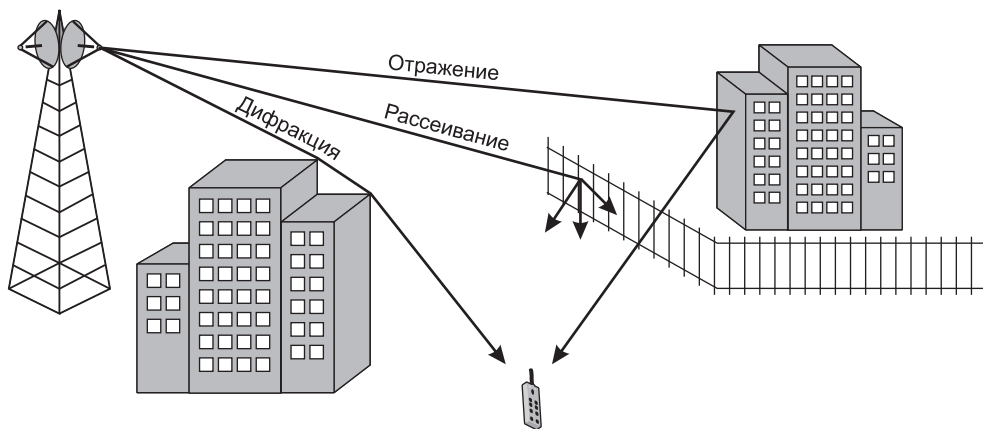


Рис. 10.4. Распространение электромагнитной волны

Когда сигнал встречается с препятствием, которое частично прозрачно для данной длины волны и в то же время размеры которого намного превышают длину волны, то часть

энергии сигнала *отражается* от такого препятствия. Волны микроволнового диапазона имеют длину несколько сантиметров, поэтому они частично отражаются от стен домов при передаче сигналов в городе. Если сигнал встречает непроницаемое для него препятствие (например, металлическую пластину) также намного большего размера, чем длина волны, то происходит **дифракция** — сигнал как бы огибает препятствие, так что такой сигнал можно получить, даже не находясь в зоне прямой видимости. И наконец, при встрече с препятствием, размеры которого соизмеримы с длиной волны, сигнал *рассеивается*, распространяясь под различными углами.

В результате подобных явлений, которые повсеместно встречаются при беспроводной связи в городе, приемник может получить несколько копий одного и того же сигнала. Такой эффект называется **многолучевым распространением сигнала**. Результат многолучевого распространения сигнала часто оказывается отрицательным, поскольку один из сигналов может прийти с обратной фазой и подавить основной сигнал.

Так как время распространения сигнала вдоль различных путей будет в общем случае различным, то может также наблюдаться **межсимвольная интерференция** — ситуация, когда в результате задержки сигналы, кодирующие соседние биты данных, доходят до приемника одновременно.

Искажения из-за многолучевого распространения приводят к ослаблению сигнала, этот эффект называется **многолучевым замиранием**. В городах многолучевое замирание приводит к тому, что ослабление сигнала становится пропорциональным не квадрату расстояния, а его кубу или даже четвертой степени!

Все эти искажения сигнала складываются с внешними электромагнитными помехами, которых в городе много. Достаточно сказать, что в диапазоне 2,4 ГГц работают микроволновые печи.

ВНИМАНИЕ

Отказ от проводов и обретение мобильности приводит к высокому уровню помех в беспроводных линиях связи. Если интенсивность битовых ошибок (BER) в проводных линиях связи равна 10^{-9} – 10^{-10} , то в беспроводных линиях связи она достигает величины 10^{-3} !

Проблема высокого уровня помех беспроводных каналов решается различными способами. Важную роль играют специальные методы кодирования, распределяющие энергию сигнала в широком диапазоне частот. Кроме того, передатчики сигнала (и приемники, если это возможно) стараются разместить на высоких башнях, чтобы избежать многократных отражений. Еще одним приемом является применение протоколов с установлением соединений и повторными передачами кадров уже на *канальном* уровне стека протоколов. Эти протоколы позволяют быстрее корректировать ошибки, так как работают с меньшими значениями тайм-аутов, чем корректирующие протоколы *транспортного* уровня, такие как TCP.

Лицензирование

Итак, электромагнитные волны могут распространяться во всех направлениях на значительные расстояния и проходить через препятствия, такие как стены домов. Поэтому проблема разделения электромагнитного спектра является весьма острой и требует *централизованного* регулирования. В каждой стране есть специальный государственный орган,

который (в соответствии с рекомендациями ИТУ) выдает **лицензии** операторам связи на использование определенной части спектра, достаточной для передачи информации по определенной технологии. Лицензия выдается на определенную территорию, в пределах которой оператор использует закрепленный за ним диапазон частот монополично.

При выдаче лицензий правительственные органы руководствуются различными стратегиями. Наиболее популярными являются три: конкурс, лотерея, аукцион.

- **Участники конкурса** — операторы связи — разрабатывают детальные предложения. В них они описывают свои будущие услуги, технологии, которые будут использоваться для реализации этих услуг, уровень цен для потенциальных клиентов и т. п. Затем комиссия рассматривает все предложения и выбирает оператора, который в наилучшей степени будет соответствовать общественным интересам. Сложность и неоднозначность критериев выбора победителя в прошлом часто приводили к значительным задержкам в принятии решений и коррупции среди государственных чиновников, поэтому некоторые страны, например США, отказались от такого метода. В то же время в других странах он все еще используется, чаще всего для наиболее значимых для страны услуг, например развертывания современных систем мобильной связи 3G.
- **Лотерея** — это наиболее простой способ, но он также не всегда приводит к справедливым результатам, поскольку в лотерее могут принимать участие и «подставные» операторы, которые собираются не вести операторскую деятельность, а просто перепродать лицензию.
- **Аукционы** сегодня являются достаточно популярным способом выявления обладателя лицензии. Они отсекают недобросовестные компании и приносят немалые доходы государствам. Впервые аукцион был проведен в Новой Зеландии в 1989 году. В связи с бумом вокруг мобильных систем 3G многие государства за счет подобных аукционов в значительной степени пополнили свои бюджеты.

Существуют также три частотных диапазона, 900 МГц, 2,4 ГГц и 5 ГГц, которые рекомендованы ИТУ как диапазоны для международного использования *без лицензирования*¹. Эти диапазоны выделены промышленным товарам беспроводной связи общего назначения, например устройствам блокирования дверей автомобилей, научным и медицинским приборам. В соответствии с назначением эти диапазоны получили название **ISM-диапазонов** (Industrial, Scientific, Medical — промышленность, наука, медицина). Диапазон 900 МГц является наиболее «населенным». Это и понятно, низкочастотная техника всегда стоила дешевле. Сегодня активно осваивается диапазон 2,4 ГГц, например, в технологиях IEEE 802.11 и Bluetooth. Диапазон 5 ГГц только начал осваиваться, несмотря на то что он обеспечивает более высокие скорости передачи данных.

Обязательным условием использования этих диапазонов на совместной основе является ограничение максимальной мощности передаваемых сигналов уровнем 1 Вт. Это условие ограничивает радиус действия устройств, чтобы их сигналы не стали помехами для других пользователей, которые, возможно, работают в том же диапазоне частот в других районах города.

Существуют также специальные методы кодирования (они рассматриваются далее), позволяющие уменьшить взаимное влияние устройств, работающих в ISM-диапазонах.

¹ Диапазоны 900 МГц и 5 ГГц свободны от лицензирования не во всех странах.

Беспроводные системы

Двухточечная связь

Типичная схема проводного двухточечного канала является популярной и для беспроводной связи. По двухточечной схеме могут работать беспроводные каналы различного назначения, использующие различные диапазоны частот.

В телекоммуникационных первичных сетях такая схема уже долгое время применяется для создания так называемых **радиорелейных линий связи**. Такую линию образуют несколько башен, на которых установлены параболические направленные антенны (рис. 10.5). Каждая такая линия работает в микроволновом диапазоне на частотах в несколько гигагерц. Направленная антенна концентрирует энергию в узком пучке, что позволяет передавать информацию на значительные расстояния, обычно до 50 км. Высокие башни обеспечивают прямую видимость антенн.

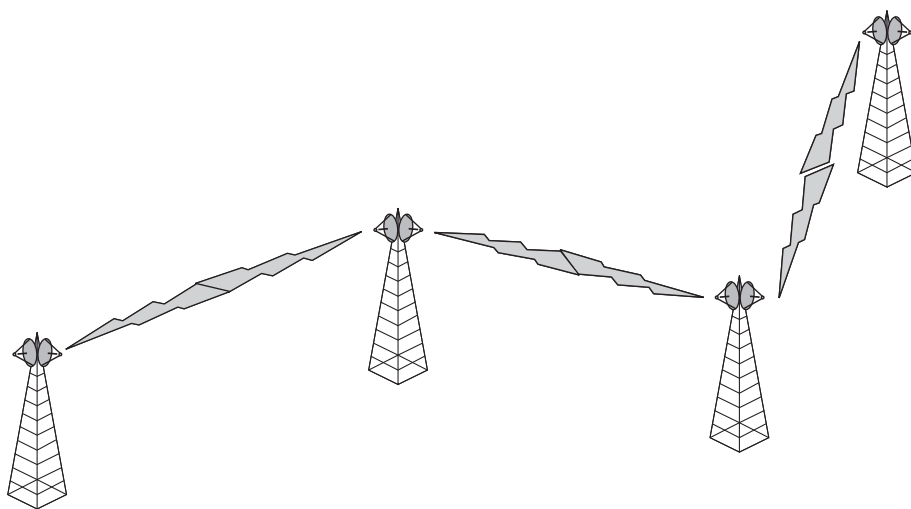


Рис. 10.5. Радиорелейная линия связи

Пропускная способность линии может быть достаточно высокой, обычно она находится в пределах от нескольких до сотен мегабит в секунду. Это могут быть как магистральные линии, так и линии доступа (в последнем случае они имеют чаще всего один канал). Операторы связи часто используют подобные линии, когда прокладка оптического волокна либо невозможна (из-за природных условий), либо экономически невыгодна.

Радиорелейная линия связи может использоваться в городе для соединения двух зданий. Так как высокая скорость в таком случае не всегда нужна (например, нужно соединить небольшой сегмент локальной сети с основной локальной сетью предприятия), то здесь могут применяться радиомодемы, работающие в АМ-диапазоне. Для связи двух зданий может также использоваться лазер, обеспечивая высокую информационную скорость (до 155 Мбит/с), но только при соответствующем состоянии атмосферы.

Другой пример беспроводной двухточечной линии связи показан на рис. 10.6. Здесь она служит для соединения двух компьютеров. Такая линия образует простейший сегмент локальной сети, поэтому расстояния и мощности сигнала здесь принципиально иные.

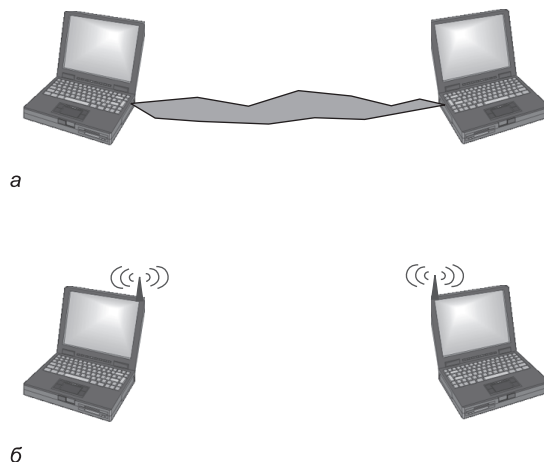


Рис. 10.6. Беспроводная связь двух компьютеров

Для расстояний в пределах одного помещения может использоваться диапазон инфракрасных волн (рис. 10.6, а) или микроволновый диапазон (рис. 10.6, б). Большинство современных ноутбуков оснащено встроенным инфракрасным портом, поэтому такое соединение может быть образовано автоматически, как только порты двух компьютеров окажутся в пределах прямой видимости (или видимости отраженного луча).

Микроволновый вариант работает в пределах нескольких десятков или сотен метров — предельное расстояние предсказать невозможно, так как при распространении микроволнового сигнала в помещении происходят многочисленные отражения, дифракции и рассеивания, к которым добавляются эффекты проникновения волн через стены и межэтажные перекрытия.

Связь одного источника и нескольких приемников

Схема беспроводного канала с одним источником и несколькими приемниками характерна для такой организации доступа, при которой многочисленные пользовательские терминалы соединяются с **базовой станцией** (Base Station, BS).

Беспроводные линии связи в схеме с одним источником и несколькими приемниками служат как для фиксированного доступа, так и для мобильного.

На рис. 10.7 показан вариант фиксированного доступа с помощью микроволновых линий связи. Оператор связи использует высокую башню (возможно, телевизионную), чтобы обеспечить прямую видимость с антеннами, установленными на крышах зданий своих клиентов. Фактически такой вариант может представлять собой набор двухточечных линий связи — по количеству зданий, которые необходимо соединить с базовой станцией. Однако это достаточно расточительный вариант, так как для каждого нового клиента нужно устанавливать новую антенну на башне. Поэтому для экономии обычно применяют антенны, захватывающие определенный сектор, например, в 45° . Тогда за счет нескольких антенн оператор может обеспечить связь в пределах полного сектора в 360° , конечно, на ограниченном расстоянии (обычно несколько километров).

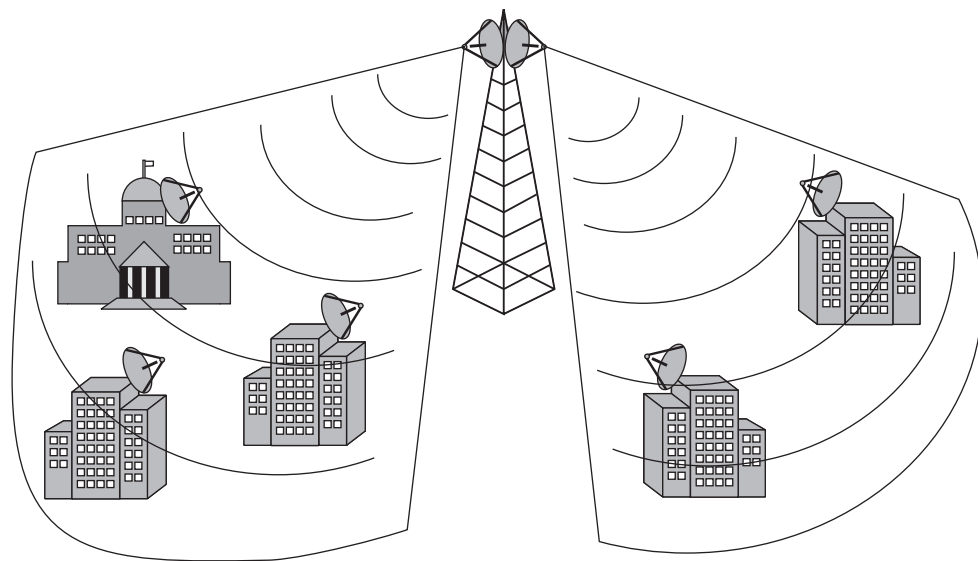


Рис. 10.7. Фиксированный беспроводный доступ

Пользователи линий доступа могут обмениваться информацией только с базовой станцией, а она, в свою очередь, транзитом обеспечивает взаимодействие между отдельными пользователями.

Базовая станция обычно соединяется проводной связью с проводной частью сети, обеспечивая взаимодействие с пользователями других базовых станций или пользователями проводных сетей. Поэтому базовая станция также называется **точкой доступа** (Access Point, AP). Точка доступа включает не только оборудование DCE, необходимое для образования линии связи, но и чаще всего является коммутатором сети, доступ к которой она обеспечивает — телефонным коммутатором или коммутатором пакетов.

В большинстве схем мобильного доступа используется сегодня принцип **сот**, которые представляют собой небольшие по площади территории, обслуживаемые одной базовой станцией. Идея сот родилась не сразу, первые мобильные телефоны работали по другому принципу, обращаясь к одной базовой станции, покрывающей большую территорию. Идея небольших сот была впервые сформулирована еще в 1945 году, с тех пор прошло довольно много времени, пока заработали первые коммерческие сотовые телефонные сети — пробные участки появились в конце 60-х, а широкое коммерческое применение началось в начале 80-х.

Принцип разбиения всей области охвата сети на небольшие соты дополняется идеей многократного использования частоты. На рис. 10.8 показан вариант организации сот при наличии всего трех частот, при этом ни одна из соседних пар сот не задействует одну и ту же частоту. Многократное использование частот позволяет оператору экономно расходовать выделенный ему частотный диапазон, при этом абоненты и базовые станции соседних сот не испытывают проблем из-за интерференции сигналов. Конечно, базовая станция должна контролировать мощность излучаемого сигнала, чтобы две соты (несмежные), работающие на одной и той же частоте, не создавали друг другу помех.

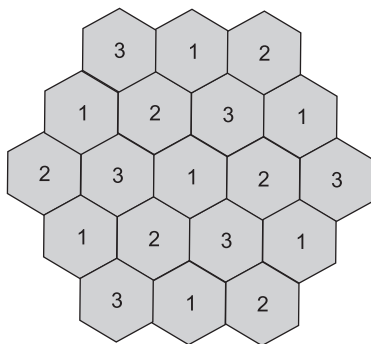


Рис. 10.8. Многократное использование частот в сотовой сети

При гексагональной форме сот количество повторяемых частот может быть больше, чем 3, например 4, 7, 9, 12, 13 и т. д.

Если известно минимальное расстояние D между центрами сот, работающих на одной и той же частоте, то число сот (N) можно выбрать по формуле:

$$N = D^2/3R^2,$$

где R — радиус соты.

Небольшие по величине соты обеспечивают небольшие габариты и мощность терминального устройства пользователя. Именно это обстоятельство (а также общий технологический прогресс) позволяет современным мобильным телефонам быть такими компактными.

Мобильные компьютерные сети пока не получили такого распространения, как телефонные, но принципы организации беспроводных линий связи в них остаются теми же.

Важной проблемой мобильной линии связи является переход терминального устройства из одной соты в другую. Эта процедура, которая называется **эстафетной передачей**, отсутствует при фиксированном доступе и относится к протоколам более высоких уровней, нежели физический.

Связь нескольких источников и нескольких приемников

В случае схемы с несколькими источниками и несколькими приемниками беспроводная линия связи представляет собой общую электромагнитную среду, разделяемую несколькими узлами. Каждый узел может использовать эту среду для взаимодействия с любым другим узлом без обращения к базовой станции. Так как базовая станция отсутствует, то необходим децентрализованный алгоритм доступа к среде.

Чаще всего такой вариант беспроводного канала применяется для соединения компьютеров (рис. 10.9). Для телефонного трафика неопределенность в доле пропускной способности, получаемой при разделении среды, может резко ухудшить качество передачи голоса. Поэтому они строятся по ранее рассмотренной схеме с одним источником (базовой станцией) для распределения полосы пропускания и несколькими приемниками.

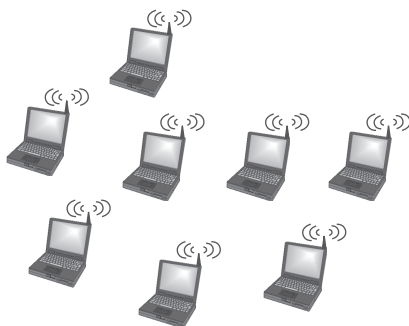


Рис. 10.9. Беспроводная многоточечная линия связи

Собственно, первая локальная сеть, созданная в 70-е годы на Гавайях, в точности соответствовала приведенной на рисунке схеме. Ее отличие от современных беспроводных локальных сетей состоит в низкой скорости передачи данных (9600 бит/с), а также в весьма неэффективном способе доступа, позволяющем использовать только 18 % полосы пропускания.

Сегодня подобные сети передают данные со скоростью до 52 Мбит/с¹ в микроволновом или инфракрасном диапазоне. Для связи каждого с каждым служат ненаправленные антенны. Для того чтобы инфракрасный свет распространялся в разных направлениях, применяются **диффузные передатчики**, которые рассеивают лучи с помощью системы линз.

Типы спутниковых систем

Спутниковая связь используется для организации высокоскоростных микроволновых протяженных линий. Так как для таких линий связи нужна прямая видимость, которую из-за кривизны Земли невозможно обеспечить на больших расстояниях, то спутник как отражатель сигнала является естественным решением этой проблемы (рис. 10.10).

Идея задействовать искусственный спутник Земли для создания линий связи родилась задолго до запуска в 1957 году первого такого спутника Советским Союзом. Писатель-фантаст Артур Кларк продолжил дело Жюль Верна и Герберта Уэллса, которым удалось описать множество технических изобретений еще до их появления. Кларк в 1945 году описал геостационарный спутник, который висит над одной точкой экватора и обеспечивает связь большую территорию Земли.

Первый спутник, запущенный Советским Союзом в годы холодной войны, обладал очень ограниченными телекоммуникационными возможностями — он только передавал радиосигнал «бип-бип», извещая мир о своем присутствии в космосе. Однако успех России в космосе подхлестнул усилия Америки, и в 1962 году она запустила первый телекоммуникационный спутник Telstar-1, который поддерживал 600 голосовых каналов.

Со времени запуска первого телекоммуникационного спутника прошло уже более 40 лет, и функции спутника как телекоммуникационного узла, естественно, усложнились. Сегодня спутник может играть роль узла первичной сети, а также телефонного коммутатора

¹ Новая версия стандарта беспроводных локальных сетей предусматривает повышение скорости передачи данных до 300 Мбит/с.

и коммутатора/маршрутизатора компьютерной сети. Для этого аппарата спутников взаимодействует не только с наземными станциями, но и между собой, образуя прямые космические беспроводные линии связи. Принципиально техника передачи микроволновых сигналов в космосе и на Земле не отличается, однако у спутниковых линий связи есть и очевидная специфика — один из узлов такой линии постоянно находится в полете, причем на большом расстоянии от других узлов.

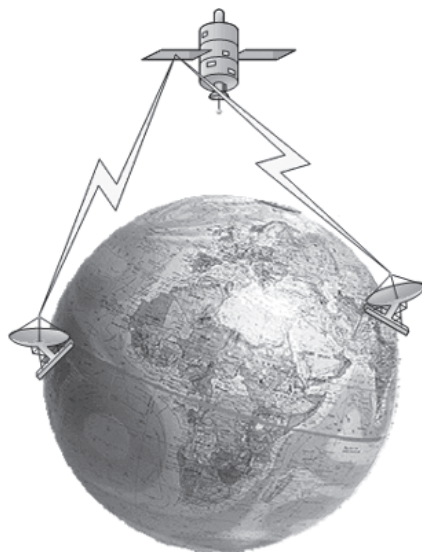


Рис. 10.10. Спутник как отражатель сигнала

Для спутниковой связи союз ИТУ выделил несколько частотных диапазонов (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Частотные диапазоны спутниковой связи

Диапазон	Нисходящая частота, ГГц	Восходящая частота, ГГц
L	1,5	1,6
S	1,9	2,2
C	3,7–4,2	5,925–6,425
Ku	11,7–12,2	14,0–14,5
Ka	17,7–21,7	27,5–30,5

Исторически первым использовался диапазон **C**, в котором для каждого из дуплексных потоков Земля-спутник (восходящая частота) и спутник-Земля (нисходящая частота) выделяется по 500 МГц — этого достаточно для большого числа каналов. Диапазоны **L** и **S** предназначаются для организации мобильных услуг с помощью спутников. Они также часто используются наземными системами. Диапазоны **Ku** и **Ka** пока мало «населены» на Земле, их применению препятствует высокая стоимость оборудования, особенно для диапазона **Ka**.

Искусственные спутники Земли вращаются вокруг нее в соответствии с законами, открытыми Йоханесом Кеплером (Johannes Kepler). Орбита вращения спутника в общем случае является эллиптической, но для сохранения постоянной высоты над Землей спутники могут переходить на почти круговую орбиту.

Сегодня используют три группы круговых орбит, отличающихся высотой над Землей (рис. 10.11):

- ❑ геостационарная орбита (Geostationary Orbit, GEO) – 35 863 км;
- ❑ средневысотная орбита (Medium Earth Orbit, MEO) – 5000–15 000 км;
- ❑ маловысотная орбита (Low Earth Orbit, LEO) – 100–1000 км.

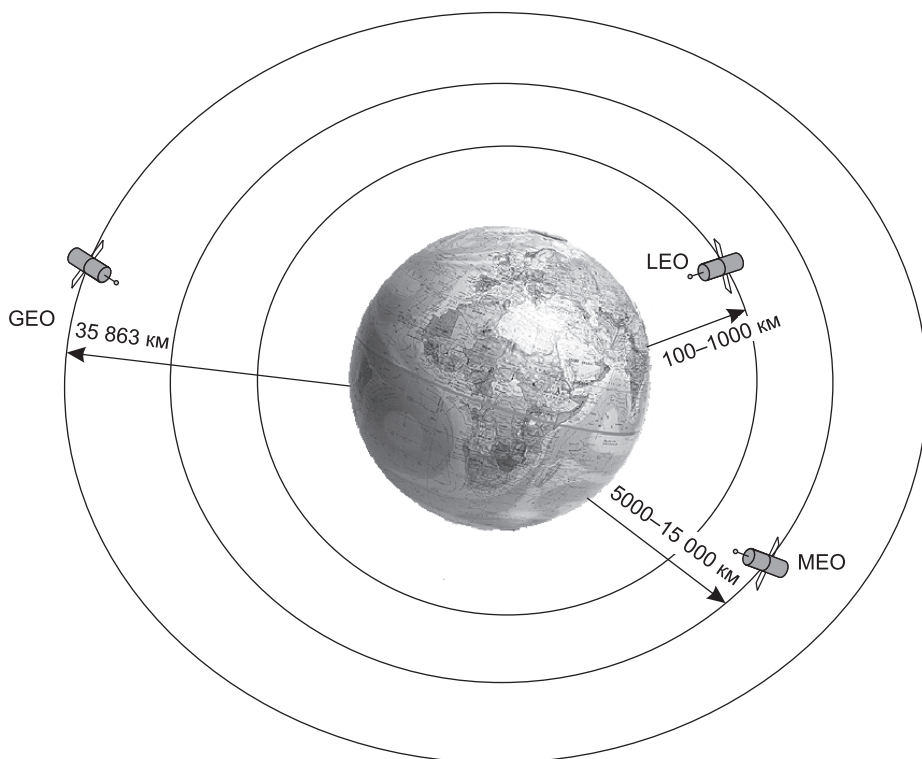


Рис. 10.11. Типы орбит спутников

Геостационарный спутник

Геостационарный спутник «висит» над определенной точкой экватора, в точности следуя скорости вращения Земли. Такое положение выгодно по следующим обстоятельствам.

Во-первых, четверть поверхности Земли оказывается с такой высоты в зоне прямой видимости, поэтому с помощью геостационарных спутников *просто организовать широко-вещание в пределах страны или даже континента.*

Во-вторых, сам *спутник неподвижен для наземных антенн*, что значительно облегчает организацию связи, так как не нужно автоматически корректировать направление наземной антенны, как это приходится делать для низкоорбитальных и средневисотных спутников. Правда, с появлением в 1990 небольших всенаправленных антенн ситуация изменилась — теперь уже не нужно следить за положением низкоорбитального спутника, достаточно, чтобы он находился в зоне прямой видимости.

В-третьих, геостационарный спутник находится за пределами земной атмосферы и *меньше «изнашивается»*, чем низкоорбитальные и средневисотные спутники. Низкоорбитальные спутники из-за трения о воздух постоянно теряют высоту и им приходится восстанавливать ее с помощью двигателей.

Путем применения нескольких антенн геостационарные спутники обычно *поддерживают большое количество каналов*. Раньше для работы с геостационарными спутниками в качестве антенн требовались очень большие тарелки (диаметром до 10 м). Это затрудняло использование геостационарных спутников для небольших организаций и личных целей. Однако ситуация изменилась с появлением направленных антенн, устанавливаемых на спутниках. Такие антенны создают сигнал, который можно принимать с помощью сравнительно небольших наземных антенн, так называемых миниатюрных апертурных терминалов (Very Small Aperture Terminals, VSAT). Диаметр антенны VSAT составляет около 1 м. Наземные станции, оснащенные VSAT, предоставляют сегодня широкий набор услуг, к которым относятся телефония, передача данных, конференции.

Наряду с достоинствами у геостационарных спутников есть и недостатки. Наиболее очевидные связаны с *большим удалением спутника от поверхности Земли*. Это приводит к большим задержкам распространения сигнала — от 230 до 280 мс. При использовании спутника для передачи разговора или телевизионного диалога возникают неудобные паузы, мешающие нормальному общению.

Кроме того, на таких расстояниях *потери сигнала высоки*, что означает необходимость применения мощных передатчиков и тарелок больших размеров (это не относится к антеннам VSAT, но при их использовании уменьшается область охвата).

Принципиальным недостатком геостационарного спутника с его круговой орбитой является также *плохая связь для районов, близких к Северному и Южному полюсам*. Сигналы в таких районах проходят большие расстояния, чем в районах, расположенных в экваториальных и умеренных широтах, и, естественно, больше ослабляются. Решением является спутник с ярко выраженной эллиптической орбитой, который приближается к Земле как раз в районе Северного и Южного полюсов. Примером такого спутника являются спутники серии «Молния», которые запускаются Россией, имеющей большие территории на Крайнем Севере.

Место на орбите геостационарного спутника также регулируется союзом ИТУ. Сегодня наблюдается определенный дефицит таких мест, так как геостационарные спутники не могут располагаться на орбите ближе, чем 2° друг к другу. Из этого следует, что на орбите может находиться не более 180 геостационарных спутников. Так как не все страны в состоянии (пока) запустить геостационарный спутник, то здесь наблюдается та же ситуация, что и в конкурсе на получение определенного диапазона частот, только еще усиленная политическими амбициями стран.