

Беспроводная передача данных

Беспроводная связь стала использоваться для общения между людьми ненамного позже, чем проводная. Уже в 90-х годах 19 века были проведены первые эксперименты по передаче телеграфных сообщений с помощью радиосигналов, а в 20-е годы 20 века началось применение радио для передачи голоса.

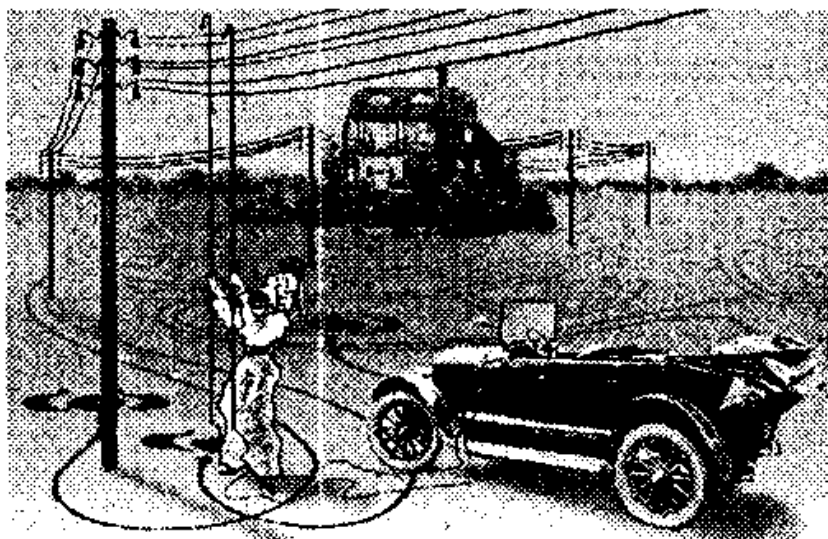
Сегодня существует большое число беспроводных телекоммуникационных систем, в том числе не только широковестьельных, таких как радио или телевидение. Беспроводные системы также широко используются как транспортное средство для передачи дискретной информации. Для создания протяженных линий связи используются радиорелейные и спутниковые системы, существуют также беспроводные системы доступа к сетям операторов связи и беспроводные локальные сети.

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 для снижения влияния помех. В арсенал таких средств входят коды прямой коррекции ошибок и протоколы с подтверждением доставки информации. Эффективным средством борьбы с помехами является техника расширенного спектра, разработанная специально для беспроводных систем.

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. Понятно, что определенные неудобства и ограниченная мобильность воспрепятствовали коммерческому успеху этого вида телефонии.



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 в настоящее время.

Беспроводная связь не обязательно означает мобильность. Существует так называемая **фиксированная беспроводная связь**, когда взаимодействующие узлы постоянно располагаются в пределах небольшой территории -, например определенного здания. 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 доступа к абонентам, дома которых уже подключены к точкам присутствия существующих уполномоченных операторов связи. Наконец, организация временной связи, например, при проведении конференции в здании, в котором отсутствует проводной канал, имеющий скорость, достаточную для качественного обслуживания многочисленных участников конференции.

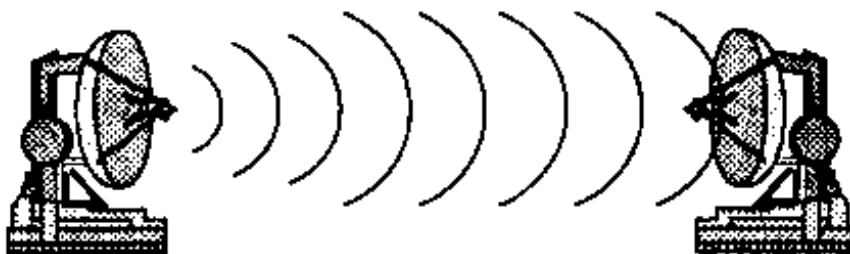
Беспроводная связь уже достаточно давно используется для передачи данных. До недавнего времени большая часть применений беспроводной связи в компьютерных сетях была связана с ее фиксированным вариантом. Не всегда архитекторы и пользователи компьютерной сети знают о том, что на каком-то участке пути данные 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 оборудованием какого производителя они пользуются.

Беспроводные сети часто связывают с *радиосигналами*, однако это не всегда верно. Беспроводная связь использует 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.



Каждый узел оснащается антенной, которая одновременно является *передатчиком и приемником* электромагнитных волн. Электромагнитные волны распространяются в атмосфере 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. показана параболическая **антенна**, которая является *направленной*. Другой тип антенн — **изотропные антенны**, представляющие собой вертикальный проводник длиной в четверть волны излучения, 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 DCE-устройство, располагаемое между антенной и DTE-устройством, которым может быть компьютер, коммутатор или маршрутизатор компьютерной сети.

Диапазоны электромагнитного спектра

Движение электронов порождает электромагнитные волны, которые могут распространяться в пространстве (даже в вакууме). Это явление было предсказано британским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом (James Clerk Maxwell) в **1865** году. Первый эксперимент, при котором их можно было наблюдать, поставил немецкий физик Генрих Герц (Heinrich Hertz) в **1887** году.

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. показаны диапазоны электромагнитного спектра. Можно сказать, что они и соответствующие им беспроводные системы передачи информации делятся на четыре группы.

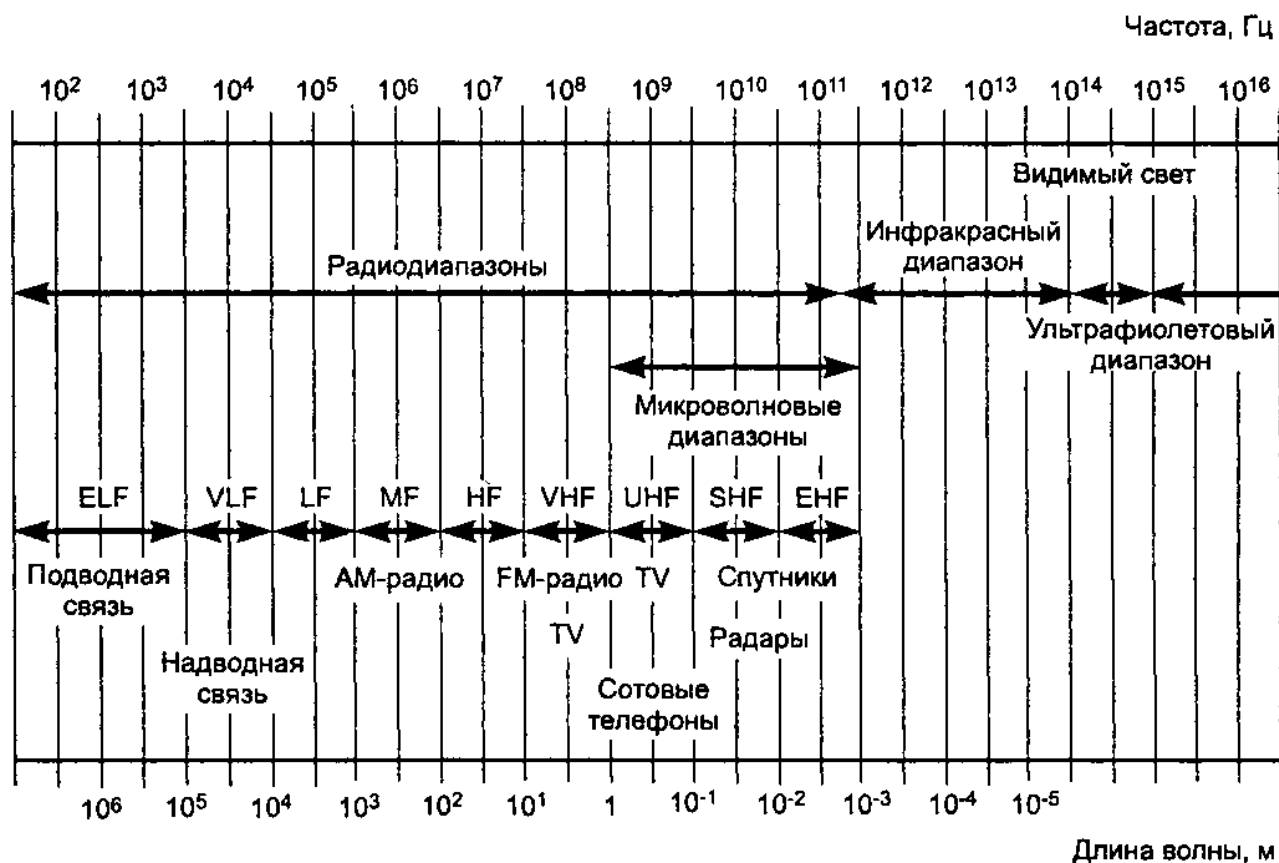
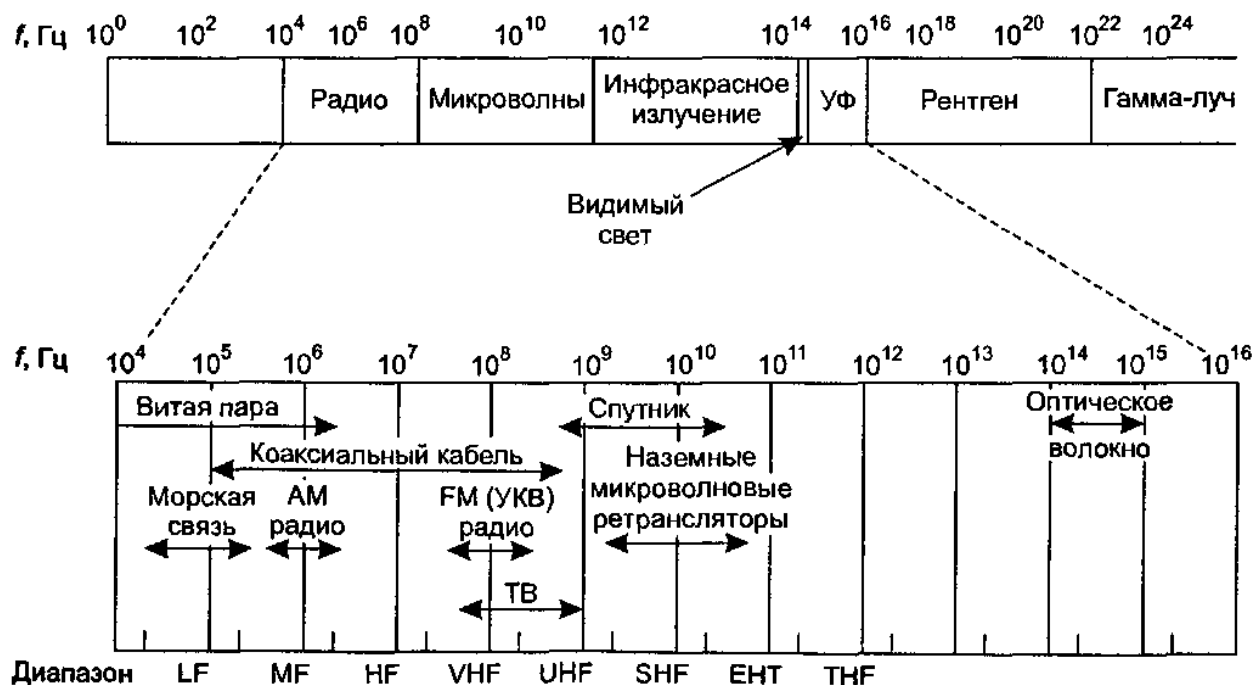


Рис. 10.3. Диапазоны электромагнитного спектра



□ 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, используемое название **широковещательное радио**. Сюда попадают низкоскоростные системы АМ- 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 3000 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** используются 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.

Распространение электромагнитных волн

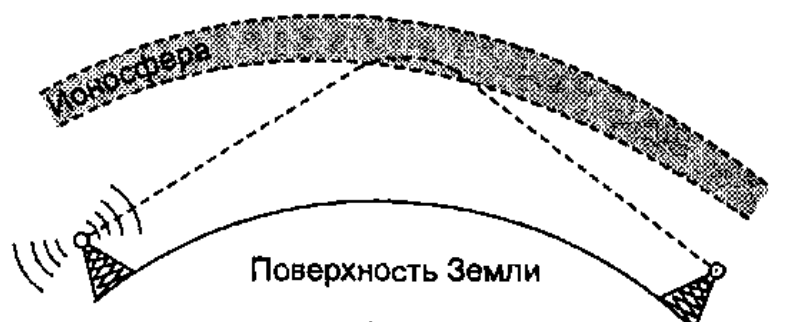
Количество информации, которое может переносить электромагнитная волна, связано с частотным диапазоном канала. Современные технологии позволяют кодировать несколько бит на герц на низких частотах. При некоторых условиях это число может возрасти в восемь раз на высоких частотах.

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 АМ-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 проходит 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 АМ-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).

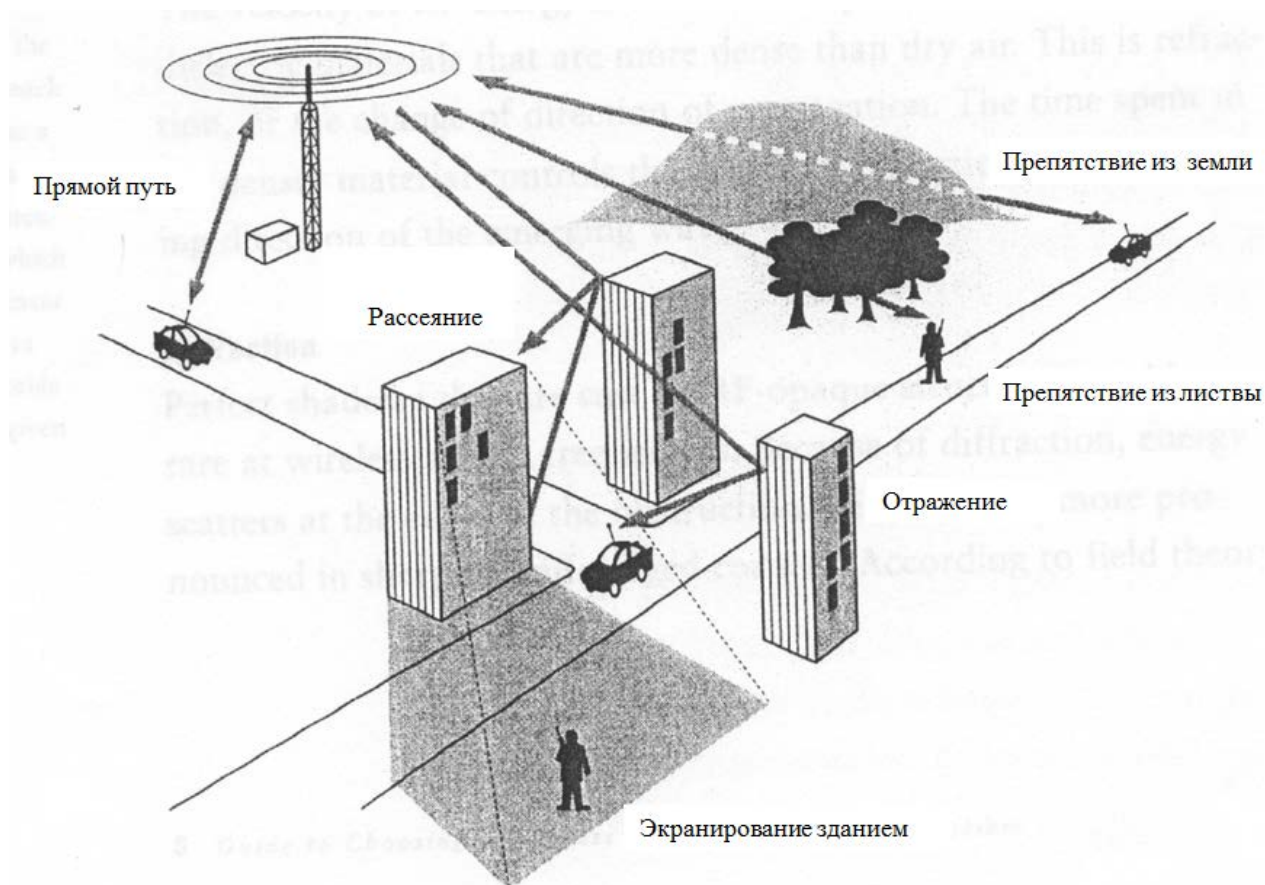
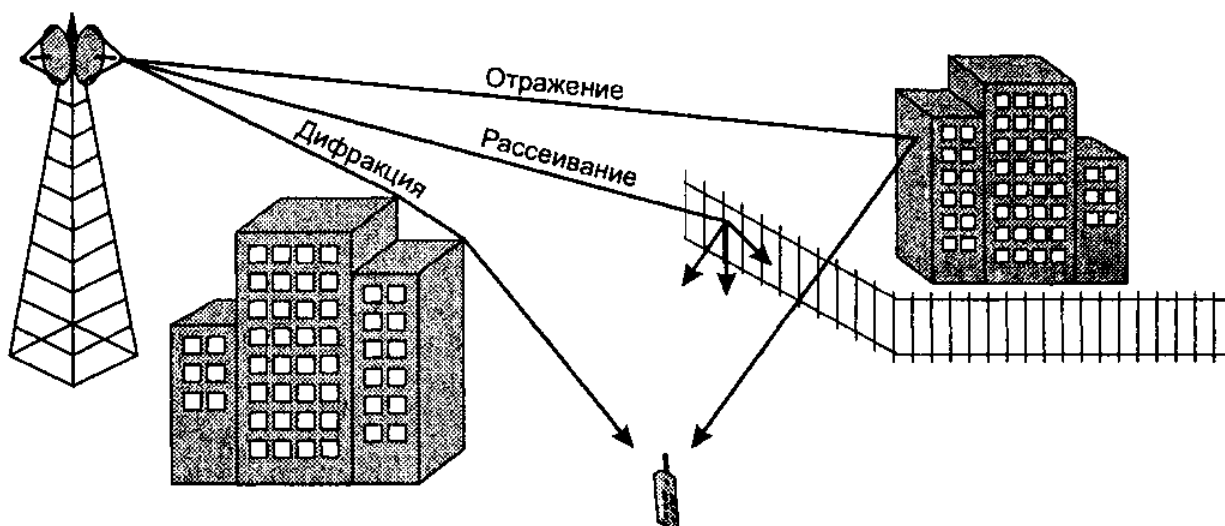


- Сигналы в диапазоне выше: 30 МГц распространяются только по прямой, то есть являются сигналами прямой видимости. При частоте выше 4 ГГц их подстерегает неприятность — они начинают поглощаться водой, а это означает, что не только дождь, но и туман может стать причиной резкого ухудшения качества передачи микроволновых систем. Недаром испытания лазерных систем передачи данных часто проводят в Сиэтле, городе, который известен своими туманами:

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



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 и **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 довольно много. Достаточно сказать, что в диапазоне 2,4 ГГц работают микроволновые печи.

Отказ от проводов и обретение мобильности приводят к высокому уровню помех в беспроводных линиях связи. Если интенсивность битовых ошибок (БЕЯ) 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 способом 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 совместного использования электромагнитного спектра является весьма острой и требует *централизованного* регулирования. В каждой стране есть специальный государственный орган, который (в соответствии с рекомендациями ITU) 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 монопольно использует закрепленный за ним диапазон частот.

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 их 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 лотерею могут принимать участие и «подставные» операторы, которые не собираются вести операторскую деятельность, а хотят 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 хорошо пополнили свои бюджеты за счет подобных аукционов.

Существуют также три частотных диапазона, 900 МГц, 2,4 ГГц и 5 ГГц, которые рекомендованы ITU как диапазоны для международного использования *без лицензирования*. Эти диапазоны предназначены для использования промышленными товарами беспроводной связи общего назначения, например устройствами блокирования дверей автомобилей, научными и медицинскими приборами. 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 Ватт. Это условие ограничивает радиус действия устройств, чтобы их сигналы не стали помехами для других пользователей, которые, возможно, задействуют этот же диапазон частот в других районах города.

В России для гражданской радиосвязи выделены три диапазона частот:

27 МГц (гражданский диапазон), с разрешённой выходной мощностью передатчика до 10 Вт;

433 МГц (LPD), выделено 69 каналов для носимых радиостанций с выходной мощностью передатчика не более 0,01 Вт;

446 МГц (PMR), выделено 8 каналов для носимых радиостанций с выходной мощностью передатчика не более 0,5 Вт.

Существуют также специальные методы кодирования, которые уменьшают взаимное влияние устройств, работающих в ISM-диапазонах.

Инфракрасные и миллиметровые волны

Инфракрасное и миллиметровое излучения без использования кабеля широко применяется для связи на небольших расстояниях. Дистанционные пульты управления для телевизоров, видеомэгнитофонов и стереоаппаратуры используют инфракрасное излучение. Они относительно направленные, дешевые и легко устанавливаемые, но имеют один важный недостаток: инфракрасное излучение не проходит сквозь твердые объекты (попробуйте встать между телевизором и пультом).

С другой стороны, тот факт, что инфракрасные волны не проходят сквозь стены, является также и положительным. Ведь это означает, что инфракрасная система в одной части здания не будет интерферировать с подобной системой в соседней комнате — вы, к счастью, не сможете управлять со своего пульта телевизором соседа. Кроме того, это повышает защищенность инфракрасной системы от прослушивания по сравнению с радиосистемой. По этой причине для использования инфракрасной системы связи не требуется государственная лицензия, в отличие от радиосвязи (кроме диапазонов ISM). Связь в инфракрасном диапазоне применяется в настольных вычислительных системах (например, для связи ноутбуков с принтерами), но все же не играет значимой роли в телекоммуникации.

Связь в видимом диапазоне

Ненаправленные оптические сигналы использовались в течение нескольких веков. Герой американской войны за независимость Пол Реввер (Paul Revere) в 1775 году в Бостоне использовал двоичные оптические сигналы, информируя с колокольни Старой Северной церкви (Old North Church) население о наступлении англичан. Более современным приложением является соединение локальных сетей в двух зданиях при помощи лазеров, установленных на крышах. Связь с помощью когерентных волн лазера является сугубо однонаправленной, поэтому для двусторонней связи необходимо на каждой крыше установить по лазеру и по фотодетектору. Такая технология позволяет организовать связь с очень высокой пропускной способностью при очень низкой цене. Кроме того, такая система

довольно просто монтируется и, в отличие от микроволновой связи, не требует лицензии FCC (Федеральной комиссии связи США).

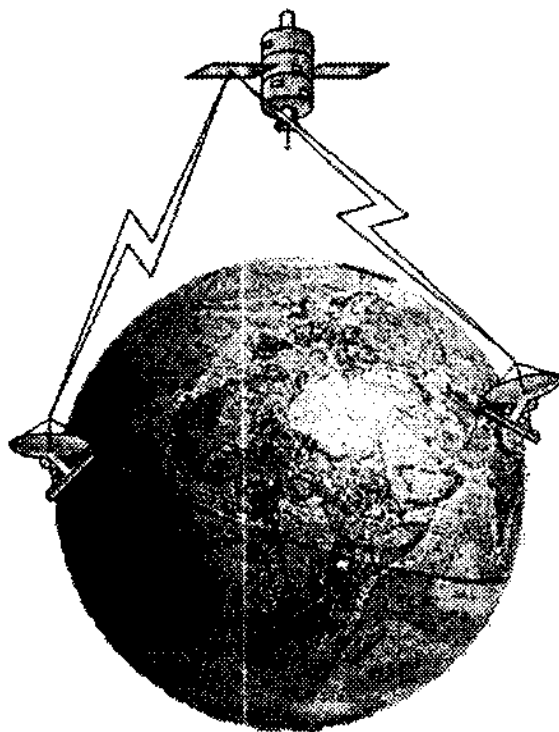
Узкий луч является сильной стороной лазера, однако он создает и некоторые проблемы. Чтобы попасть миллиметровым лучом в мишень диаметром 1 мм на расстоянии 500 м, требуется снайперское искусство высочайшей пробы. Обычно на лазеры устанавливаются линзы для небольшой расфокусировки луча.

Недостатком лазерного луча является также неспособность проходить сквозь дождь или густой туман, хотя в солнечные ясные дни он работает прекрасно. Тем не менее, автор однажды присутствовал на конференции в современной европейской гостинице, где организаторы заботливо предоставили комнату, полную терминалов, чтобы участники конференции могли читать свою электронную почту во время скучных презентаций. Поскольку местная телефонная станция не желала устанавливать большое количество телефонных линий всего на три дня, организаторы установили лазер на крыше и нацелили его на здание университетского компьютерного центра, который находится на расстоянии нескольких километров. В ночь перед конференцией они проверили связь — она работала прекрасно. В 9 часов следующего утра, в ясный солнечный день связь была полностью потеряна и отсутствовала весь день. Вечером организаторы опять тщательно проверили связь и снова убедились в ее прекрасной работе. На следующий день связи опять не было.

Когда конференция закончилась, организаторы обсудили эту проблему. Как выяснилось, в дневное время солнце нагревало крышу, горячий воздух от нее поднимался и отклонял лазерный луч, начинавший танцевать вокруг детектора. Этот эффект можно наблюдать невооруженным глазом в жаркий день на шоссе или над горячим радиатором автомобиля. Борясь с этим эффектом, астрономы располагают свои телескопы высоко в горах, подальше от атмосферы.

Спутниковые системы

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.



Идея использовать искусственный спутник Земли для создания линий связи появилась 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 много технических изобретений до их появления. Кларк в 1945 году описал геостационарный спутник, который висит над одной точкой экватора и обеспечивает связью 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.

В настоящее время функции спутника как телекоммуникационного узла, естественно, усложнились. Сегодня спутник может играть роль узла первичной сети, а также телефонного коммутатора и коммутатора/маршрутизатора компьютерной сети. Для этого аппаратура спутников может взаимодействовать 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.

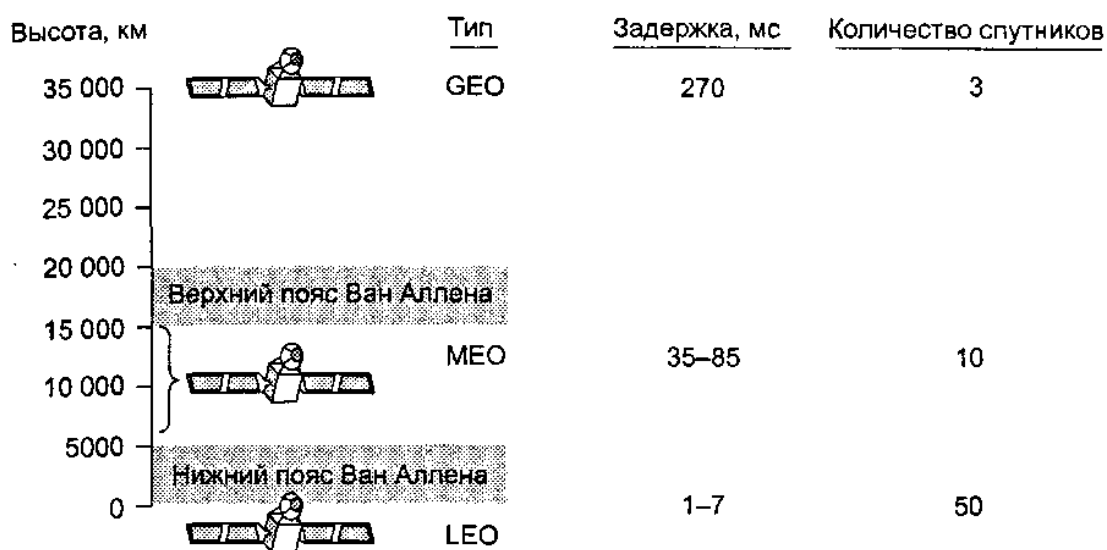


Спутникам связи присущи определенные свойства, делающие их чрезвычайно привлекательными для самых разных областей применения. Проще всего представить себе спутник связи в виде своего рода огромного микроволнового повторителя, висящего в небе. Он включает в себя несколько транспондеров, каждый из которых настроен на определенную часть частотного спектра. Транспондеры усиливают сигналы и преобразуют их на новую частоту, чтобы при отправке на Землю отраженный сигнал не накладывался на прямой.

Нисходящий луч может быть как широким, покрывающим огромные пространства на Земле, так и узким, который можно принять в области, ограниченной лишь несколькими сотнями километров. Последний метод называется трубой.

В соответствии с законом Кеплера, период обращения спутника равен радиусу орбиты в степени $3/2$. Таким образом, чем выше орбита, тем дольше период. Вблизи поверхности Земли период обращения вокруг нее составляет примерно 90 минут. Следовательно, спутники, расположенные на малой высоте, слишком быстро исчезают из вида приемно-передающих устройств, расположенных на Земле, поэтому необходимо организовывать непрерывные зоны покрытия. На высоте 35 800 км период составляет 24 часа. А на высоте 384 000 км спутник будет обходить Землю целый месяц, в чем может убедиться любой желающий, наблюдая за Луной.

Конечно, период обращения спутника очень важно иметь в виду, но это не единственный критерий, по которому определяют, где его разместить. Необходимо принимать во внимание так называемые пояса Ван Аллена (Van Allen belts) — области скопления частиц с большим зарядом, находящихся в зоне действия магнитного поля Земли. Любой спутник, попав в такой пояс, довольно быстро будет уничтожен этими частицами. В результате учета этих факторов были выделены три зоны, в которых можно безопасно размещать искусственные спутники. Они изображены на рис. Из этого же рисунка можно узнать о некоторых из их свойств. Мы вкратце рассмотрим спутники, размещаемые в каждой из этих трех зон.



Для спутниковой связи союз ИТУ выделил несколько частотных диапазонов.

Диапазон	Нисходящие сигналы	Восходящие сигналы	Ширина полосы	Проблемы
L	1,5 ГГц	1,6 ГГц	15 МГц	Узкая полоса; переполнен
S	1,9 ГГц	2,2 ГГц	70 МГц	Узкая полоса; переполнен
C	4,0 ГГц	6,0 ГГц	500 МГц	Наземная интерференция
Ku	11 ГГц	14 ГГц	500 МГц	Дождь
Ka	20 ГГц	30 ГГц	3500 МГц	Дождь, стоимость оборудования

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 — достаточно для большого числа каналов. Диапазоны **L** и **S** предназначены 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**.

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 широковещение 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 средневысотных спутников. Правда, с появлением в 1990 году 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 средневысотные спутники. Низкоорбитальные спутники из-за трения о воздух постоянно теряют высоту и им приходится восстанавливать ее с помощью двигателей.

Геостационарные спутники обычно *поддерживают большое количество каналов* за счет наличия нескольких антенн. 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 большой 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 использования мощных передатчиков и тарелок больших размеров.

Принципиальным недостатком геостационарного спутника с его круговой орбитой является также *плохая связь для районов, близких к Северному и Южному полюсам*. Сигналы для таких районов проходят большие расстояния,

чем для районов, 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.

Место на орбите геостационарного спутника также регулируется союзом ITU. 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.



VSAT

VSAT (Very Small Aperture Terminal)- малая спутниковая наземная станция, то есть терминал с маленькой антенной, используется в спутниковой связи с начала 90-х годов.

По международной классификации к VSAT относятся спутниковые станции с антеннами менее 2,5 метров. Как правило, для VSAT применяется упрощённая процедура получения разрешений на частоты.

История

Появление VSAT связано с экспериментальной сетью спутниковой телефонной связи на Аляске, созданной в конце 60-х годов в ходе экспериментов со спутником ATC-1. Сеть состояла из 25 земных станций, установленных в небольших поселках. Эксперимент оказался успешным и был продолжен. Стоит отметить, что на тот момент самая "маленькая" спутниковая станция имела антенну диаметром 9 м и стоила около 500 тыс. долл.

Дальнейшее развитие и удешевление VSAT-систем привело к созданию фирмой Equatorial экономически эффективных систем спутниковой связи на базе VSAT, что дало толчок к появлению новых фирм, предлагающих оборудование VSAT. Началось быстрое развитие рынка, и резко выросла конкуренция на нем. Наконец на рынок обратили внимание и киты телекоммуникационного бизнеса, которые, не мудрствуя лукаво, стали покупать фирмы, успешно развивающиеся на рынке. Американский телекоммуникационный гигант AT&T приобрел фирму Tridom. Пионер создания VSAT Ku-диапазона, фирма Linkabit, слилась с фирмой M/A-COM, которая стала ведущим поставщиком оборудования VSAT. Впоследствии Hughes Communications приобрела отделение у M/A-COM.

Так появилась фирма Hughes Network Systems. Scientific-Atlanta, изготовитель больших станций спутниковой связи, включилась в производство оборудования VSAT, приобретя фирму Adcom. Первоначально GTE Spacenet предоставляла услуги VSAT, используя оборудование других поставщиков. Equatorial в 1987 году слилась с фирмой Contel, которая одновременно приобрела VSAT-отделение фирмы Comsat. А в 1991 году GTE Spacenet приобрела фирму Contel. В 1987 году основатели фирмы создали новую фирму - Gilat Satellite Networks Ltd. по производству VSAT. Таким образом, сформировался основной пул игроков на рынке производства VSAT, который сохраняется и по сей день.

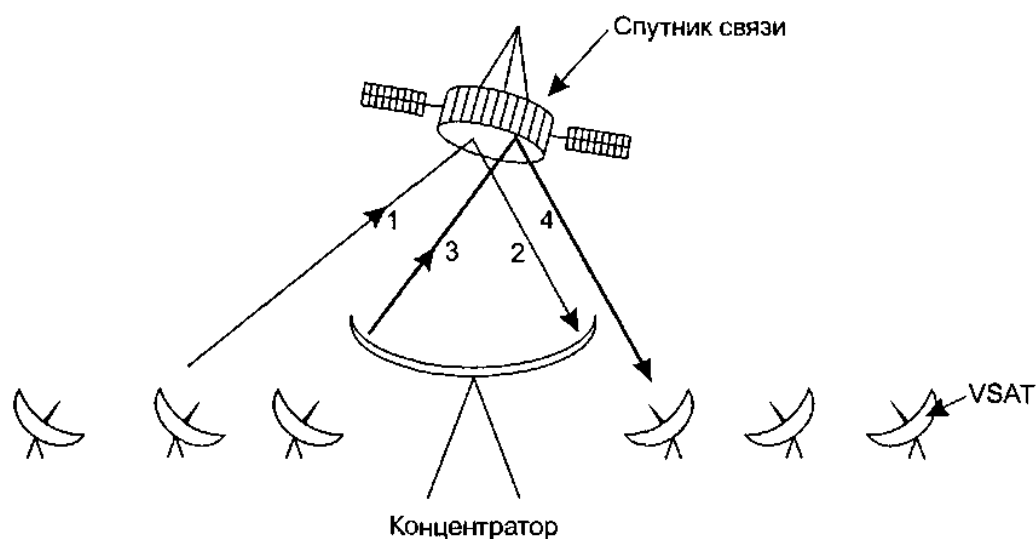
Состав

VSAT состоит из двух основных частей, ODU (OutDoorUnit) — внешний блок, то есть антенна и приёмопередатчик, обычно 1-2 Вт и IDU (InDoorUnit) — внутренний блок или спутниковый модем.

Блок наружной установки (ODU) — внешний блок, устанавливаемый в фокусе антенны, который передает концентратору и получает от него через спутник модулированные радиосигналы. В состав ODU входят полупроводниковый усилитель (SSPA, BUC), понижающий преобразователь малошумящего блока (LNB) и поляризационный селектор (OMT). BUC и LNB подключены к отдельным портам OMT. Такая конфигурация обеспечивает прием сигнала с поляризацией определенного типа и передачу сигнала с поляризацией другого типа, обычно ортогонального. Межблочный кабель имеет разъемы F-типа. Заводские антенны VSAT комплектуются облучателем и OMT.

Внутренний блок (IDU) представляет собой маленький настольный прибор, который преобразовывает информацию, проходящую между аналоговыми коммуникациями на спутнике и местными устройствами, такими как телефоны, компьютерные сети, ПК, ТВ и т.д. Вдобавок к основным программам преобразования, IDU могут содержать также дополнительные функции, например, такие, как безопасность, ускорение сети и другие свойства.

Принципы работы



Сеть спутниковой связи на базе VSAT включает в себя три основных элемента: центральная земная станция (при необходимости), спутник-ретранслятор и абонентские VSAT терминалы.

Центральная земная станция в сети спутниковой связи выполняет функции центрального узла и обеспечивает управление работой всей сети, перераспределение ее ресурсов, выявление неисправностей, тарификацию

услуг сети и сопряжение с наземными линиями связи. Обычно ЦЗС устанавливается в узле сети, на который приходится наибольший трафик. Это может быть, например, главный офис или вычислительный центр компании в корпоративных сетях, или же крупный город в региональной сети.

Абонентская станция VSAT Абонентский VSAT терминал обычно включает в себя антенно-фидерное устройство, наружный внешний радиочастотный блок и внутренний блок (модем). Внешний блок представляет собой небольшой приемопередатчик или приемник. Внутренний блок обеспечивает сопряжение спутникового канала с терминальным оборудованием пользователя (компьютер, сервер ЛВС, телефон, факс УАТС и т.д.).

Спутники ретрансляторы сети VSAT строятся на базе геостационарных спутников-ретрансляторов. Это позволяет максимально упрощать конструкцию абонентских терминалов и снабжать их простыми фиксированными антеннами без системы слежения за спутником. Спутник принимает сигнал от земной станции, усиливает его и направляет назад на Землю. Важнейшими характеристиками спутника являются мощность бортовых передатчиков и количество радиочастотных каналов (стволов или транспондеров) на нем. Для обеспечения работы через малогабаритные абонентские станции типа VSAT требуются передатчики с выходной мощностью около 40 Вт. Современные VSAT работают как правило в Ku диапазоне частот 11/14 гига Герц (одно значение частоты на прием, другое на передачу), также есть системы использующие C диапазон 4/6 гигагерц, также сейчас осваивается Ka диапазон 18/30 гигагерц.

Приемо-передающая аппаратура и антенно-фидерное устройство обычно строится на базе стандартного оборудования, имеющегося на рынке. Стоимость определяется размерами антенны и мощностью передатчика, которые существенно зависят от технических характеристик используемого спутника-ретранслятора. Для обеспечения надежности связи аппаратура обычно имеет 100% резервирование. Каналообразующая аппаратура обеспечивает формирование спутниковых радиоканалов и стыковку их с наземными линиями связи. Каждый из поставщиков систем спутниковой связи применяет свои оригинальные решения этой части ЦЗС, что часто исключает возможность

использования для построения сети аппаратуру и абонентские станции других фирм. Обычно эта подсистема строится по модульному принципу, что позволяет по мере роста трафика и количества абонентских станций в сети легко добавлять новые блоки для увеличения ее пропускной способности.

Современный VSAT обеспечивает получение информации владельцем VSAT со скоростью до 4 Мбит/с (в режиме мультикаст до 30 Мбит/с) и передачу информации до 1..2 Мбит в секунду.

Современные VSAT имеют один и более портов Ethernet и встроенные функции маршрутизатора. Некоторые модели, посредством расширения могут оснащаться 1-4 телефонными портами.

Средневысотные спутники

На гораздо более низких высотах, нежели геостационарные спутники, между двумя поясами Ван Аллена, располагаются средневысотные спутники (МЕО, Medium-Earth Orbit Satellites). Если смотреть на них с Земли, то будет заметно их медленное дрейфование по небосводу. Средневысотные спутники делают полный оборот вокруг нашей планеты примерно за 6 часов. Соответственно, наземным приемопередатчикам необходимо следить за их перемещением. Поскольку эти спутники находятся гораздо ниже, чем геостационарные, то и «засвечиваемое» ими пятно на поверхности Земли имеет более скромные размеры. Зато для связи с ними требуются менее мощные передатчики. Спутники МЕО не используются в телекоммуникациях. Примерами средневысотных спутников являются 24 спутника системы GPS (Global Positioning System, глобальная система определения местонахождения), и отечественной системы ГЛОНАСС (глобальная навигационная система).

Низкоорбитальные спутники

Снизим высоту еще больше и перейдем к рассмотрению низкоорбитальных спутников (LEO, Low-Earth Orbit Satellites). Для того чтобы создать целостную систему, охватывающую весь земной шар, нужно большое количество таких спутников. Причиной тому является, прежде всего, высокая скорость их

движения по орбите. С другой стороны, благодаря относительно небольшому расстоянию между наземными передатчиками и спутниками не требуется особо мощных наземных передатчиков, а задержки составляют всего лишь несколько миллисекунд. В этом разделе мы рассмотрим три примера спутников LEO, два из которых относятся к голосовой связи, а один — к службам Интернета.

Iridium

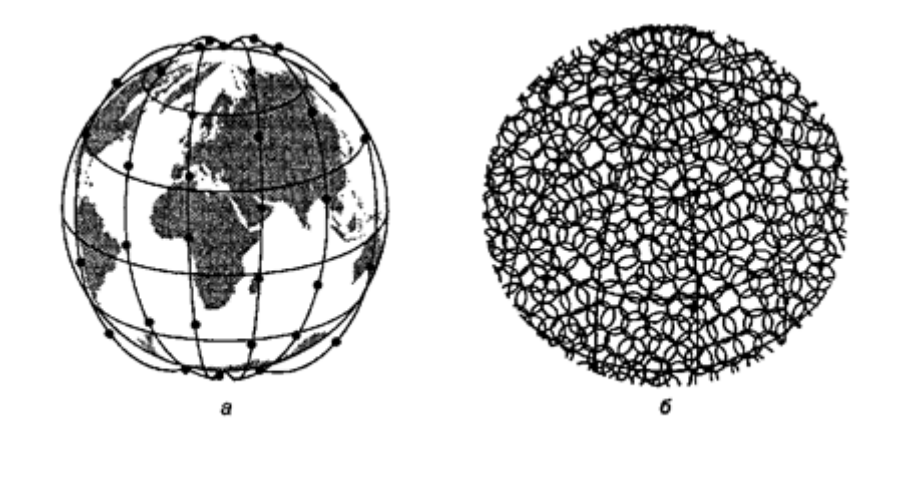
Как уже было сказано ранее, в течение первых 30 лет существования спутников связи низкоорбитальные спутники использовались очень мало, поскольку они появлялись и исчезали из зоны видимости передатчика слишком быстро. В 1990 году фирма Motorola совершила большой прорыв в этой области, попросив FCC разрешить ей запустить 77 спутников связи для нового проекта **Iridium** (77-м элементом таблицы Менделеева является иридий). Впрочем, планы вскоре изменились, и было решено использовать только 66 спутников, поэтому проект следовало бы переименовать в Dysprosium¹, но это было бы менее благозвучно. Идея состояла в том, что на место исчезающего из вида спутника будет тотчас приходить следующий, этакая карусель. Предложение породило новую волну безумной конкуренции среди коммуникационных компаний. Каждая из них захотела «повесить» в небе свою цепочку низкоорбитальных спутников.

После семи лет притирки компаний друг к другу и решения вопросов финансирования в 1997 году совместными усилиями удалось, наконец, запустить спутники. Услуги связи начали предоставляться с ноября 1998 года. К сожалению, коммерческий спрос на большие и тяжелые телефоны спутниковой связи оказался незначительным, потому что за семь лет конкурентной борьбы, которые прошли до запуска проекта Iridium, сотовая связь шагнула очень далеко вперед. В результате Iridium практически не приносил прибыли, и в августе 1999 года его пришлось объявить банкротом — это было одно из самых эффектных корпоративных фиаско в истории. Спутники, как и другое имущество (стоимостью порядка \$5 миллиардов), были проданы инвестору за \$25 миллионов в качестве своего рода космического гаража. Проект Iridium был вновь запущен в марте 2001 года.

Эта система предоставляла (и предоставляет) связь с любой точкой земного шара при помощи ручных устройств, связывающихся напрямую со спутниками. Можно передавать речь, данные, факсы, информацию для пейджеров, а также навигационную информацию. И все это работает и на суше, и на море, и в воздухе! Основными клиентами Iridium являются судоходные, авиационные компании, фирмы, занимающиеся поиском нефти, а также частные лица, путешествующие в местах, где отсутствует телекоммуникационная инфраструктура (например, пустыни, джунгли, некоторые страны третьего мира).

Спутники Iridium вращаются по околоземной круговой полярной орбите на высоте 750 км. Они составляют ожерелье, ориентированное вдоль линий долготы (по одному спутнику на 32° долготы). Шесть таких ожерелий опоясывают Землю, как показано на рис. 2.15. Люди, которые не очень искушены в химической науке, могут представить себе всю эту систему в виде огромного атома диспрозия с Землей в качестве ядра и спутниками в качестве электронов.

Каждый спутник имеет до 48 ячеек (пятен от лучей сигналов). Итого всю поверхность Земли, наподобие пчелиных сот, покрывают 1628 ячеек. На один спутник приходится 3840 каналов связи; соответственно, на все спутники — 253 440. Некоторые каналы используются пейджинговыми компаниями и для навигации, остальные — для передачи данных и речи.



Интересным свойством Iridium является то, что эта система обеспечивает пересылку данных между очень удаленными друг от друга абонентами путем передачи сигнала по цепочке от одного спутника к другому. Представьте себе двух человек, один из которых стоит на Северном полюсе, другой — на Южном.

Они могут спокойно разговаривать друг с другом, при этом данные будут передаваться по «ожерелью» из спутников.

Globalstar

Альтернативой проекту Iridium является система Globalstar. Он построен на 48 низкоорбитальных спутниках, но имеет иную схему ретрансляции сигналов. Если в Iridium в качестве маршрутизаторов используются сами спутники, передающие по цепочке сигнал (что требует наличия на них довольно сложного оборудования), то в Globalstar применяется обычный принцип «узкой трубы». Допустим, звонок приходит на спутник с Северного полюса. Принятый сигнал отправляется обратно на Землю и захватывается крупной наземной приемно-передающей станцией рядом с домиком Санта-Клауса. Маршрутизация производится между такими станциями, разбросанными по всему миру. Наземная цель сигнала — ближайший ко второму абоненту наземный маршрутизатор. Через находящийся рядом с ним спутник вызов поступает к абоненту. Преимуществом такой схемы является то, что наиболее сложное оборудование устанавливается на поверхности Земли, а здесь работать с ним гораздо проще, чем на орбите. К тому же использование мощных наземных антенн позволяет принимать слабый сигнал со спутника; значит, можно уменьшить потребляемую мощность телефонов. В результате телефоны передают сигналы с мощностью всего несколько милливатт, и наземные антенны получают очень слабый сигнал даже после его усиления спутником. Тем не менее такой мощности хватает для нормальной работы.

Teledesic

Проект Iridium был рассчитан на абонентов, находящихся в различных нетривиальных местах. Наш следующий пример — проект Teledesic — предназначен для пользователей Интернета по всему миру, которым требуется высокая пропускная способность канала. Крестными отцами этой системы в 1990 году стали Крейг МакКоу (Craig McCaw), пионер мобильной связи, и Билл Гейтс (Bill Gates), всемирно известный основатель фирмы Microsoft, — он был очень недоволен улиточной скоростью, с которой телефонные компании предоставляли якобы высокую пропускную способность. Целью Teledesic было

обеспечить миллионы пользователей Интернета спутниковым каналом связи со скоростью 100 Мбит/с и передачей данных в направлении спутник - Земля со скоростью до 720 Мбит/с. Для этого нужна небольшая стационарная антенна типа VSAT, полностью независимая от телефонной системы. Понятно, что телефонным операторам такая система невыгодна. При здоровой рыночной экономике это должно приводить к здоровой конкуренции.

Изначально система предполагала размещение на низковысотной орбите 288 спутников с малым следом на поверхности Земли, расположенных в 12 плоскостях прямо под нижним поясом Ван Аллена, на высоте 1350 км. Позднее было решено изменить схему, и стало 30 спутников с увеличенным следом на поверхности. Передача должна осуществляться в высокочастотном и еще не переполненном диапазоне с широкой полосой — Ka. Teledesic представляет собой космическую систему с коммутацией пакетов, при этом каждый спутник является маршрутизатором и может пересылать данные на соседние спутники. Когда пользователь запрашивает полосу для передачи данных, она предоставляется ему динамически на 50 мс.



Технология Bluetooth

Bluetooth - переводится как синий зуб, назван в честь Харальда I Синезубого) — производственная спецификация беспроводных персональных сетей (англ. Wireless personal area network, WPAN). Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами как персональные компьютеры (настольные, карманные, ноутбуки), мобильные телефоны, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры на надёжной, недорогой, повсеместно доступной радиочастоте для ближней связи.

Bluetooth позволяет этим устройствам общаться, когда они находятся в радиусе от 1 до 200 метров друг от друга (дальность сильно зависит от преград и помех), даже в разных помещениях.

Слово *Bluetooth* — перевод на английский язык датского слова «Blåtand» («Синезубый»). Это прозвище носил король Харальд I, правивший в X веке Данией и частью Норвегии и объединивший враждовавшие датские племена в единое королевство. Подразумевается, что Bluetooth делает то же самое с протоколами связи, объединяя их в один универсальный стандарт. Хотя «blå» в современных скандинавских языках означает «синий», во времена викингов оно также могло означать «чёрного цвета».

Логотип Bluetooth является сочетанием двух нордических («скандинавских») рун: «хаглаз» (Hagall) — аналог латинской H и «беркана» (Berkanan) — латинская B. Логотип похож на более старый логотип для Beauknit Textiles, подразделения корпорации Beauknit. В нём используется слияние отраженной K и B для «Beauknit», он шире и имеет скругленные углы, но в общем он такой же.

История создания и развития

Спецификация Bluetooth была разработана группой Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG), которая была основана в 1998 году. В неё вошли компании Ericsson, IBM, Intel, Toshiba и Nokia. Впоследствии Bluetooth SIG и IEEE достигли соглашения, на основе которого спецификация Bluetooth стала частью стандарта IEEE 802.15.1 (дата опубликования — 14 июня 2002 года). Работы по созданию Bluetooth компания Ericsson Mobile Communication начала в 1994 году. Первоначально эта технология была приспособлена под потребности системы FLYWAY в функциональном интерфейсе между путешественниками и системой.

Класс	Максимальная мощность, мВт	Максимальная мощность, дБм	Радиус действия, м
1	100	20	100
2	2.5	4	10
3	1	0	1

Компания AIRcable выпустила Bluetooth-адаптер Host XR с радиусом действия около 30 км.

Принцип действия Bluetooth

Принцип действия основан на использовании радиоволн. Радиосвязь Bluetooth осуществляется в ISM-диапазоне (англ. Industry, Science and Medicine), который используется в различных бытовых приборах и беспроводных сетях (свободный от лицензирования диапазон 2,4-2,4835 ГГц). В Bluetooth применяется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты (англ. Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Метод FHSS прост в реализации, обеспечивает устойчивость к широкополосным помехам, а оборудование недорого.

Согласно алгоритму FHSS, в Bluetooth несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду (всего выделяется 79 рабочих частот

шириной в 1 МГц, а в Японии, Франции и Испании полоса уже — 23 частотных канала). Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс (один временной слот) синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар приёмник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по псевдослучайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. При передаче цифровых данных и аудиосигнала (64 кбит/с в обоих направлениях) используются различные схемы кодирования: аудиосигнал не повторяется (как правило), а цифровые данные в случае утери пакета информации будут переданы повторно.

Протокол Bluetooth поддерживает не только соединение «point-to-point», но и соединение «point-to-multipoint»

Спецификации

- Bluetooth 1.0

Устройства версий 1.0 (1998) и 1.0B имели плохую совместимость между продуктами различных производителей. В 1.0 и 1.0B была обязательной передача адреса устройства (BD_ADDR) на этапе установления связи, что делало невозможной реализацию анонимности соединения на протокольном уровне и было основным недостатком данной спецификации.

- Bluetooth 1.1

В Bluetooth 1.1 было исправлено множество ошибок, найденных в 1.0B, добавлена поддержка для нешифрованных каналов, индикация уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI).

- Bluetooth 1.2

В версии 1.2 была добавлена технология адаптивной перестройки рабочей частоты (AFH), что улучшило сопротивляемость к электромагнитной

интерференции (помехам) путём использования разнесённых частот в последовательности перестройки. Также увеличилась скорость передачи и добавилась технология eSCO, которая улучшала качество передачи голоса путём повторения повреждённых пакетов. В HCI добавилась поддержка трёх-проводного интерфейса UART.

- Bluetooth 2.0 + EDR

Bluetooth версии 2.0 был выпущен 10 ноября 2004 г. Имеет обратную совместимость с предыдущими версиями 1.x. Основным нововведением стала поддержка Enhanced Data Rate (EDR) для ускорения передачи данных. Номинальная скорость EDR около 3 Мбит/с, однако на практике это позволило повысить скорость передачи данных только до 2,1 Мбит/с. Дополнительная производительность достигается с помощью различных радио технологий для передачи данных.

Стандартная (или Базовая) скорость передачи данных использует Гауссово Кодирование со сдвигом частот (GFSK) модуляцию радио сигнала, при скорости передачи в 1 Мбит/с. EDR использует сочетание GFSK и PSK-модуляцию с двумя вариантами, $\pi/4$ -DQPSK и 8DPSK. Они имеют большие скорости передачи данных по воздуху 2- и 3 Мбит/с соответственно[13].

- Bluetooth 2.1

2007 год. Добавлена технология расширенного запроса характеристик устройства (для дополнительной фильтрации списка при сопряжении), энергосберегающая технология Sniff Subrating, которая позволяет увеличить продолжительность работы устройства от одного заряда аккумулятора в 3-10 раз. Кроме того обновлённая спецификация существенно упрощает и ускоряет установление связи между двумя устройствами, позволяет производить обновление ключа шифрования без разрыва соединения, а также делает указанные соединения более защищёнными, благодаря использованию технологии Near Field Communication.

- Bluetooth 2.1 + EDR

В августе 2008 года Bluetooth SIG представил версию 2.1+EDR. Новая редакция Bluetooth снижает потребление энергии в 5 раз, повышает уровень

защиты данных и облегчает распознавание и соединение Bluetooth-устройств благодаря уменьшению количества шагов за которые оно выполняется.

- Bluetooth 3.0 + HS

3.0 + HS спецификация[13] была принята Bluetooth SIG 21 апреля 2009 года. Она поддерживает теоретическую скорость передачи данных до 24 Мбит/с. Её основной особенностью является добавление AMP (Асимметричная Мультипроцессорная Обработка) (альтернативно MAC/PHY), дополнение к 802.11 как высокоскоростное сообщение. Две технологии были предусмотрены для AMP: 802.11 и UWB, но UWB отсутствует в спецификации[15].

Модули с поддержкой новой спецификации соединяют в себе две радиосистемы: первая обеспечивает передачу данных в 3 Мбит/с (стандартная для Bluetooth 2.0) и имеет низкое энергопотребление; вторая совместима со стандартом 802.11 и обеспечивает возможность передачи данных со скоростью до 24 Мбит/с (сравнима со скоростью сетей Wi-Fi). Выбор радиосистемы для передачи данных зависит от размера передаваемого файла. Небольшие файлы передаются по медленному каналу, а большие — по высокоскоростному. Bluetooth 3.0 использует более общий стандарт 802.11 (без суффикса), то есть не совместим с такими спецификациями Wi-Fi, как 802.11b/g или 802.11n.

- Bluetooth 4.0

В декабре 2009 года Bluetooth SIG анонсировала стандарт Bluetooth 4.0. Технология, прежде всего, предназначена для миниатюрных электронных датчиков (использующихся в спортивной обуви, тренажёрах, миниатюрных сенсорах, размещаемых на теле пациентов и т. д.).

В Bluetooth 4.0 достигается низкое энергопотребление за счёт использования специального алгоритма работы. Передатчик включается только на время отправки данных, что обеспечивает возможность работы от одной батарейки типа CR2032 в течение нескольких лет. Стандарт предоставляет скорость передачи данных в 1 Мбит/с при размере пакета данных 8-27 байт. В новой версии два Bluetooth-устройства смогут устанавливать соединение менее чем за 5 миллисекунд и поддерживать его на расстоянии до 100 м. Для этого

используется усовершенствованная коррекция ошибок, а необходимый уровень безопасности обеспечивает 128-битное AES-шифрование.

Сенсоры температуры, давления, влажности, скорости передвижения и т. д. на базе этого стандарта могут передавать информацию на различные устройства контроля: мобильные телефоны, КПК, ПК и т. п.

Первый чип с поддержкой Bluetooth 3.0 и Bluetooth 4.0 был выпущен компанией ST-Ericsson в конце 2009 года. Массовый выпуск Bluetooth-модулей на текущий момент не осуществлен (июль 2011 года).

20 июля 2011 года, компания Apple представила новое поколение MacBook Air, а также новое поколение настольных компьютеров Mac Mini оснащенное Bluetooth стандарта 4.0.

4 октября 2011 года, компания Apple представила новое поколение iPhone, оснащенное Bluetooth стандарта 4.0.

Профили Bluetooth

Профиль — набор функций или возможностей, доступных для определённого устройства Bluetooth. Для совместной работы Bluetooth-устройств необходимо, чтобы все они поддерживали общий профиль.

Нижеуказанные профили определены и одобрены группой разработки Bluetooth SIG:

- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)

A2DP разработан для передачи двухканального стерео аудиопотока, например, музыки, к беспроводной гарнитуре или любому другому устройству. Профиль полностью поддерживает низкокомпрессированный кодек Sub_Band_Codec (SBC) и опционально поддерживает MPEG-1,2 аудио, MPEG-2,4 AAC и ATRAC, способен поддерживать кодеки, определённые производителем[17].

- Audio / Video Remote Control Profile (AVRCP)

Этот профиль разработан для управления стандартными функциями телевизоров, Hi-Fi оборудования и прочее. То есть позволяет создавать устройства с функциями дистанционного управления. Может использоваться в связке с профилями A2DP или VDPT.

- Basic Printing Profile (BPP)

Профиль позволяет пересылать текст, e-mails, vCard и другие элементы на принтер. Профиль не требует от принтера специфических драйверов, что выгодно отличает его от HCRP.

- File Transfer Profile (FTP_profile)

Профиль обеспечивает доступ к файловой системе устройства. Включает стандартный набор команд FTP, позволяющий получать список директорий, изменения директорий, получать, передавать и удалять файлы. В качестве транспорта используется OBEX, базируется на GOEP.

- Hard Copy Cable Replacement Profile (HCRP)

Профиль предоставляет простую альтернативу кабельного соединения между устройством и принтером. Минус профиля в том, что для принтера необходимы специфичные драйвера, что делает профиль неуниверсальным.

- Hands-Free Profile (HFP)

Профиль используется для соединения беспроводной гарнитуры и телефона, передаёт монозвук в одном канале.

- Human Interface Device Profile (HID)

Обеспечивает поддержку устройств с HID (Human Interface Device), таких как мышки, джойстики, клавиатуры и проч. Использует медленный канал, работает на пониженной мощности.

- Headset Profile (HSP)

Профиль используется для соединения беспроводной гарнитуры (Headset) и телефона.

- Intercom Profile (ICP)

Обеспечивает голосовые звонки между Bluetooth-совместимыми устройствами.

- LAN Access Profile (LAP)

LAN Access profile обеспечивает возможность доступа Bluetooth-устройствам к вычислительным сетям LAN, WAN или Internet посредством другого Bluetooth-устройства, которое имеет физическое подключение к этим сетям. Bluetooth-устройство использует PPP поверх RFCOMM для установки соединения. LAP также допускает создание ad-hoc Bluetooth-сетей.

- Phone Book Access Profile (PBAP)

Профиль позволяет обмениваться записями телефонных книг между устройствами.

- SIM Access Profile (SAP, SIM)

Профиль позволяет получить доступ к SIM-карте телефона, что позволяет использовать одну SIM-карту для нескольких устройств.

- Video Distribution Profile (VDP)

Профиль позволяет передавать потоковое видео. Поддерживает H.263, стандарты MPEG-4 Visual Simple Profile, H.263 profiles 3, profile 8 поддерживаются опционально и не содержатся в спецификации.

- Wireless Application Protocol Bearer (WAPB)

Протокол для организации P-to-P (Point-to-Point) соединения через Bluetooth.



Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity — «беспроводная точность») — торговая марка Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11.

Wi-Fi был создан в 1991 году NCR Corporation/AT&T (впоследствии — Lucent Technologies и Agere Systems) в Нйивегейн, Нидерланды. Продукты, предназначавшиеся изначально для систем кассового обслуживания, были выведены на рынок под маркой WaveLAN и обеспечивали скорость передачи данных от 1 до 2 Мбит/с. Создатель Wi-Fi — Вик Хейз (Vic Hayes) находился в команде, участвовавшей в разработке таких стандартов, как IEEE 802.11b, IEEE 802.11a и IEEE 802.11g.

Стандарт IEEE 802.11n был утверждён 11 сентября 2009 года. Его применение позволяет повысить скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов 802.11g (максимальная скорость которых равна 54 Мбит/с), при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 600 Мбит/с.

Стандарт IEEE 802.11 определяет компоненты и характеристики сети на физическом уровне передачи данных и на уровне доступа к среде с учетом беспроводного способа передачи данных и возможности взаимодействия с существующими сетями.

Сравнение стандартов беспроводных сетей

	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Стандарт принят	Сент. 1999	Сент. 1999	Июль 2003	11 сентября 2009
Полоса пропускания	83.5 МГц	300 МГц	83.5 МГц	
Полоса частот (ГГц)	2.40 – 2.4835	5.15 – 5.35, 5.725 – 5.825	2.40 – 2.4835	2400—2483.5, 5150—5350 и 5650—5725 МГц
Кол-во непересекающихся каналов	3	12	3	3 или 12
Скорость передачи (Мбит/с)	1, 2, 5.5, 11, 22	6,9,12,18,24,36 ,48,54	1, 2, 5.5, 11, 22, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	до 600 Мбит/с

Принцип работы

Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на

основании данных об уровне сигнала. Стандарт Wi-Fi даёт клиенту полную свободу при выборе критериев для соединения.

Однако, стандарт не описывает все аспекты построения беспроводных локальных сетей Wi-Fi. Поэтому каждый производитель оборудования решает эту задачу по-своему, применяя те подходы, которые он считает наилучшими с той или иной точки зрения. Поэтому возникает необходимость классификации способов построения беспроводных локальных сетей.

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

- Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные, умные)
- Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
- Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)

По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:

- Со статическими настройками радиоканалов
- С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
- Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов

Безопасность в беспроводных сетях

Для обеспечения безопасности в беспроводных сетях используется несколько средств:

- Контроль за подключением к точке доступа на основе MAC-адресов и имени сети
- Шифрование на основе протокола WEP (RC4)
- Контроль за доступом к среде передачи на основе протокола 802.1x
- Поддержка нового протокола WPA
- Настройка VPN поверх беспроводного соединения
- Вынос беспроводной сети за межсетевой экран, как сети с низким доверием

Преимущества Wi-Fi

- Беспроводной Интернет в любом месте, например на пляже
- Позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля, что может уменьшить стоимость развёртывания и/или расширения сети. Места, где нельзя проложить кабель, например, вне помещений и в зданиях, имеющих историческую ценность, могут обслуживаться беспроводными сетями.
- Позволяет иметь доступ к сети мобильным устройствам.
- Wi-Fi устройства широко распространены на рынке. Гарантируется совместимость оборудования благодаря обязательной сертификации оборудования с логотипом Wi-Fi.
- Излучение от Wi-Fi устройств в момент передачи данных на два порядка (в 100 раз) меньше, чем у сотового телефона.

Недостатки Wi-Fi

- В диапазоне 2.4 GHz работает множество устройств, таких как устройства, поддерживающие Bluetooth, и др., что ухудшает электромагнитную совместимость.
- Частотный диапазон и эксплуатационные ограничения в различных странах неодинаковы. Во многих европейских странах разрешены два дополнительных канала, которые запрещены в США; В Японии есть ещё один канал в верхней части диапазона, а другие страны, например Испания, запрещают использование низкочастотных каналов. Более того, некоторые страны, например Россия, Беларусь и Италия, требуют регистрации всех сетей Wi-Fi, работающих вне помещений, или требуют регистрации Wi-Fi-оператора[3].
- Как было упомянуто выше — в России точки беспроводного доступа, а также адаптеры Wi-Fi с ЭИИМ, превышающей 100 мВт (20 дБм), подлежат обязательной регистрации.

- Стандарт шифрования WEP может быть относительно легко взломан даже при правильной конфигурации (из-за слабой стойкости алгоритма).
Несмотря на то, что новые устройства поддерживают более совершенный протокол шифрования данных WPA и WPA2, многие старые точки доступа не поддерживают его и требуют замены. Принятие стандарта IEEE 802.11i (WPA2) в июне 2004 года сделало доступной более безопасную схему, которая доступна в новом оборудовании. Обе схемы требуют более стойкий пароль, чем те, которые обычно назначаются пользователями. Многие организации используют дополнительное шифрование (например VPN) для защиты от вторжения. На данный момент основным методом взлома WPA2 является подбор пароля, поэтому рекомендуется использовать сложные цифро-буквенные пароли для того, чтобы максимально усложнить задачу подбора пароля.
- В режиме ad-hoc стандарт предписывает лишь реализовать скорость 11 Мбит/сек (802.11b). Шифрование WPA(2) недоступно, только взломанный WEP.

Использование Wi-Fi

- Коммерческий доступ к сервисам на основе Wi-Fi предоставляется в таких местах, как интернет-кафе, аэропорты и кафе по всему миру (обычно эти места называют Wi-Fi-кафе)
- в промышленности технологии Wi-Fi применяются в основном для управления движущимися объектами и в складской логистике, а также в тех случаях, когда по какой-либо причине невозможно прокладывать проводные сети Ethernet.
- Wi-Fi и телефоны сотовой связи
- Wi-Fi в игровой индустрии
- Некоммерческое использование Wi-Fi

Юридический статус

Юридический статус Wi-Fi различен в разных странах. В США диапазон 2.5 ГГц разрешается использовать без лицензии, при условии, что мощность не превышает определённую величину, и такое использование не создаёт помех тем, кто имеет лицензию.

В России использование Wi-Fi без разрешения на использование частот от Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) возможно для организации сети внутри зданий, закрытых складских помещений и производственных территорий[12]. Для легального использования внеофисной беспроводной сети Wi-Fi (например, радиоканала между двумя соседними домами) необходимо получение разрешения на использование частот.

При планировании беспроводной сети необходимо учитывать следующие моменты:

- Расположение точек доступа зависит от необходимой площади охвата и конструкции здания.
- Толстые стены, или стены с металлоконструкциями, будут блокировать сигнал сильнее, чем светопропускающие конструкции.
- Количество стен и перегородок желательно свести к минимуму – каждая стена может сокращать максимальную дистанцию для передачи данных на 1 - 30 м.



WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) — телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). Основана на стандарте IEEE 802.16, который также называют Wireless MAN (WiMAX следует считать жаргонным названием, так как это не технология, а название форума, на котором Wireless MAN и был согласован).

Название «WiMAX» было создано WiMAX Forum — организацией, которая была основана в июне 2001 года с целью продвижения и развития технологии WiMAX. Форум описывает WiMAX как «основанную на стандарте технологию, предоставляющую высокоскоростной беспроводной доступ к сети, альтернативный выделенным линиям и DSL». Максимальная скорость — до 1 Гбит/сек на ячейку.

WiMAX подходит для решения следующих задач:

- Соединения точек доступа Wi-Fi друг с другом и другими сегментами Интернета.

- Обеспечения беспроводного широкополосного доступа как альтернативы выделенным линиям и DSL.
- Предоставления высокоскоростных сервисов передачи данных и телекоммуникационных услуг.
- Создания точек доступа, не привязанных к географическому положению.
- Создания систем удалённого мониторинга (monitoring системы).

WiMAX позволяет осуществлять доступ в Интернет на высоких скоростях, с гораздо большим покрытием, чем у Wi-Fi-сетей. Это позволяет использовать технологию в качестве «магистральных каналов», продолжением которых выступают традиционные DSL- и выделенные линии, а также локальные сети. В результате подобный подход позволяет создавать масштабируемые высокоскоростные сети в рамках городов.

Семейства WiMAX:

- 802.16-2004 (известен также как 802.16d и фиксированный WiMAX). Спецификация утверждена в 2004 году. Поддерживается фиксированный доступ в зонах с наличием либо отсутствием прямой видимости. Пользовательские устройства представляют собой стационарные модемы для установки вне и внутри помещений, а также PCMCIA-карты для ноутбуков. В большинстве стран под эту технологию отведены диапазоны 3,5 и 5 ГГц.
- 802.16-2005 (известен также как 802.16e и мобильный WiMAX). Спецификация утверждена в 2005 году. Оптимизированная для поддержки мобильных пользователей версия. Возможна работа при наличии либо отсутствии прямой видимости. Планируемые частотные диапазоны для сетей Mobile WiMAX таковы: 2,3-2,5; 2,5-2,7; 3,4-3,8 ГГц. В мире реализованы несколько пилотных проектов, в том числе первым в России свою сеть развернул «Скартел» (Yota). Конкурентами

802.16e являются все мобильные технологии третьего поколения (например, EV-DO, HSDPA).

Основное различие двух технологий состоит в том, что фиксированный WiMAX позволяет обслуживать только «статичных» абонентов, а мобильный ориентирован на работу с пользователями, передвигающимися со скоростью до 120 км/ч. Мобильность означает наличие функций роуминга и «бесшовного» переключения между базовыми станциями при передвижении абонента (как происходит в сетях сотовой связи). В частном случае мобильный WiMAX может применяться и для обслуживания фиксированных пользователей.

Преимущество WiMAX:

- Позволяет не только предоставлять доступ в сеть новым клиентам, но и расширять спектр услуг и охватывать новые труднодоступные территории.
- просты в развёртывании и по мере необходимости легко масштабируемы
- это система дальнего действия, покрывающая километры пространства, которая обычно использует лицензированные спектры частот

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	25-80 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1-5 км	2.3-13.6 ГГц
WiMax	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	до 1 Гбит/с (WMAN), до 100 Мбит/с (Mobile WMAN)	н/д (стандарт в разработке)	н/д (стандарт в разработке)

Принцип работы

В общем виде WiMAX сети состоят из следующих основных частей: базовых и абонентских станций, а также оборудования, связывающего базовые станции между собой, с поставщиком сервисов и с Интернетом.

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 приёмником.

Структура сетей семейства стандартов IEEE 802.16 схожа с традиционными GSM сетями (базовые станции действуют на расстояниях до десятков километров, для их установки не обязательно строить вышки — допускается установка на крышах домов при соблюдении условия прямой видимости между станциями)