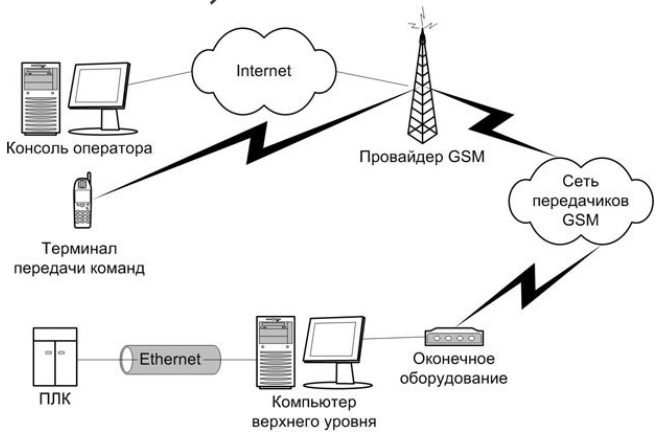
Лекция 8.
Беспроводная передача данных

Лекция по дисциплине «Инфокоммуникационные системы и сети»

Преподаватель: к.т.н., доцент,
доцент кафедры автоматизации и информационных систем
Грачев Виталий Викторович

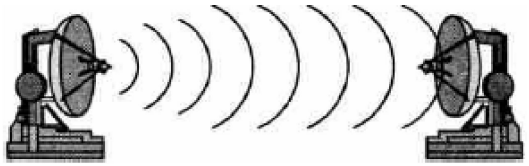
Определение «беспроводная передача данных»

- **Беспроводная передача данных** — это подкласс информационных технологий, служащих для передачи информации между двумя и более точками на расстоянии, не требуя проводной связи. Для передачи информации могут использоваться радиоволны, а также инфракрасное, оптическое или лазерное излучение.
- В настоящее время существует множество беспроводных технологий, наиболее часто известных по маркетинговым названиям, таким как Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, NFC и т.д.



Принцип передачи информационного сигнала по беспроводному каналу связи

- Беспроводная линия связи строится в соответствии с достаточно простой схемой:

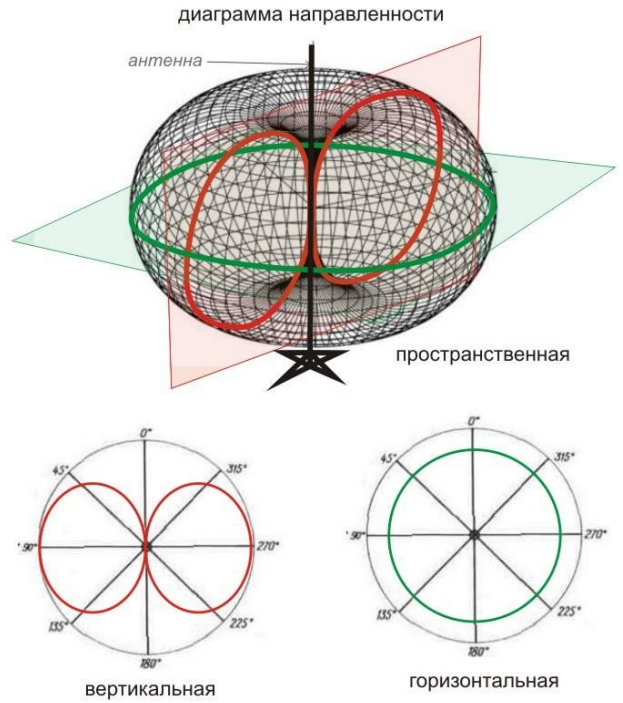


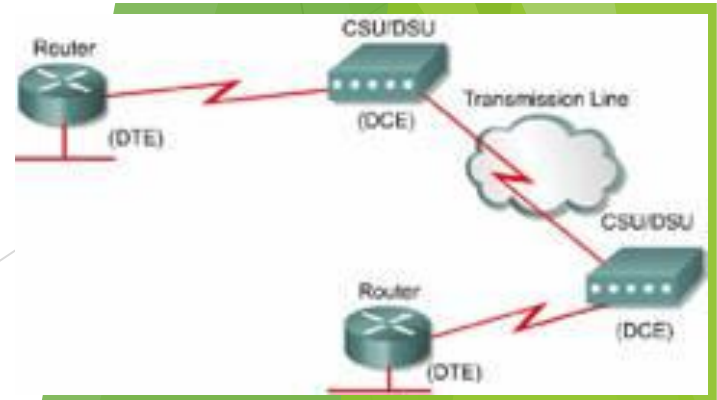
- Каждый узел оснащается антенной, которая одновременно является передатчиком и приемником электромагнитных волн. Электромагнитные волны распространяются в атмосфере или вакууме со скоростью 3 x 10^8 м/с во всех направлениях или же в пределах определенного сектора.

- Направленность или ненаправленность распространения зависит от типа антенны. На рисунке 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.

Принцип передачи информационного сигнала по беспроводному каналу связи

- 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.



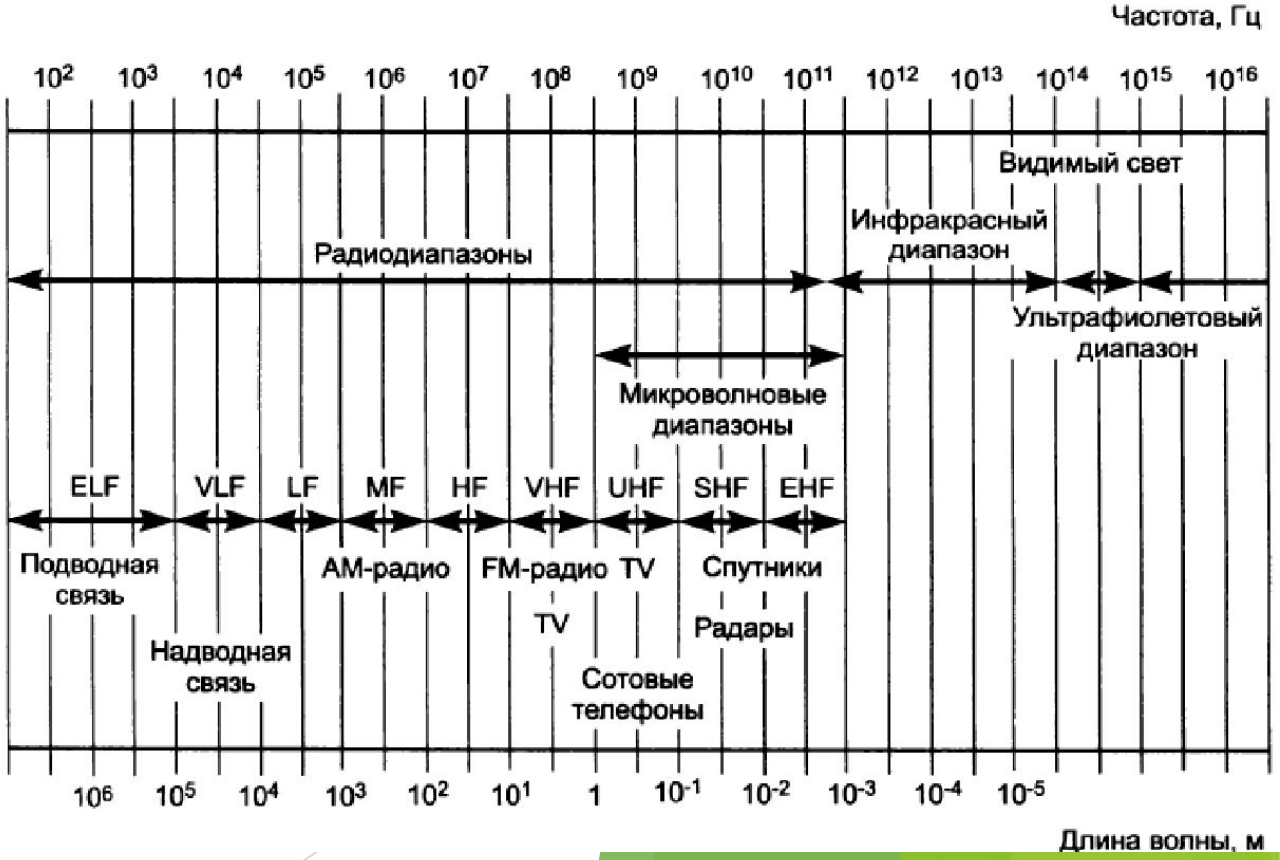


Диапазоны электромагнитного спектра при беспроводной передаче

- 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*λ)*.

Диапазон до 300 ГГц имеет общее стандартное название – радиодиапазон, разделенный на несколько поддиапазонов, 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 (AM- и FM-диапазоны).

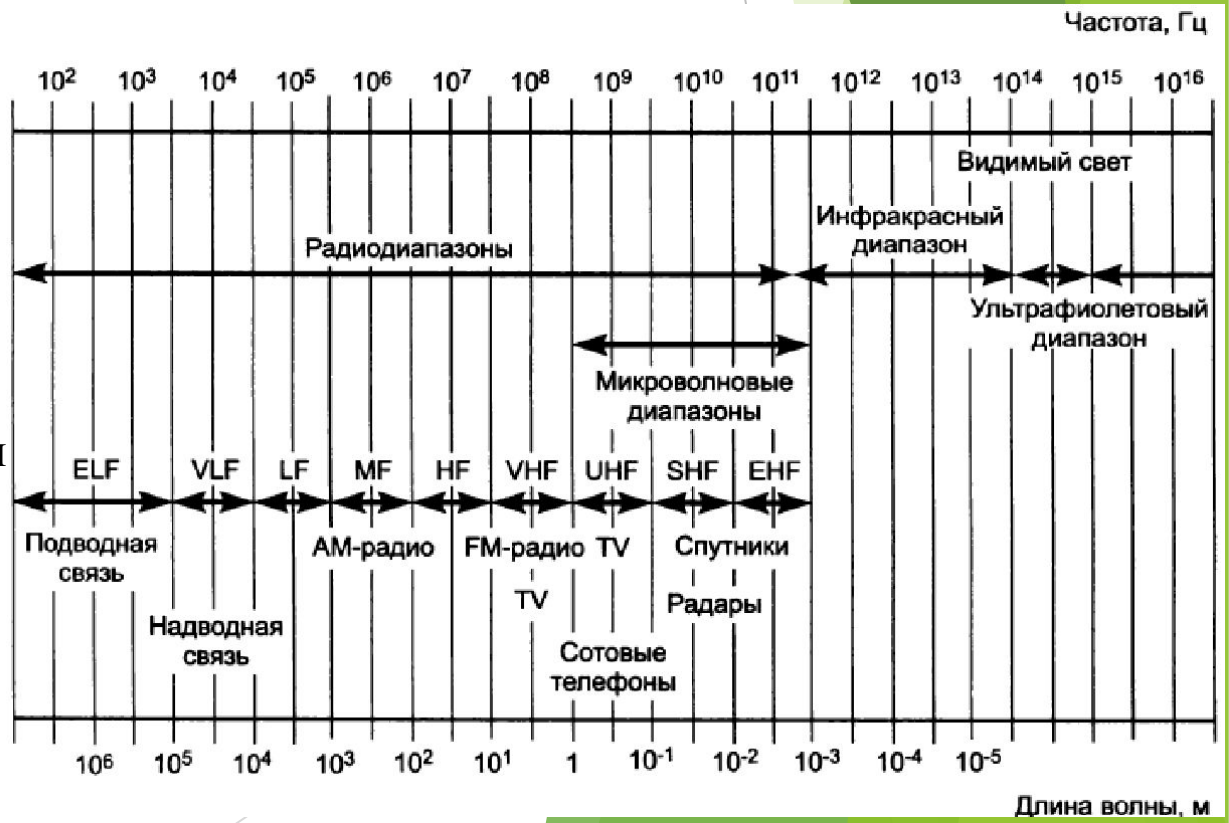


Диапазоны электромагнитного спектра при беспроводной передаче

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 служат для образования небольших сегментов локальных сетей в пределах одного помещения.

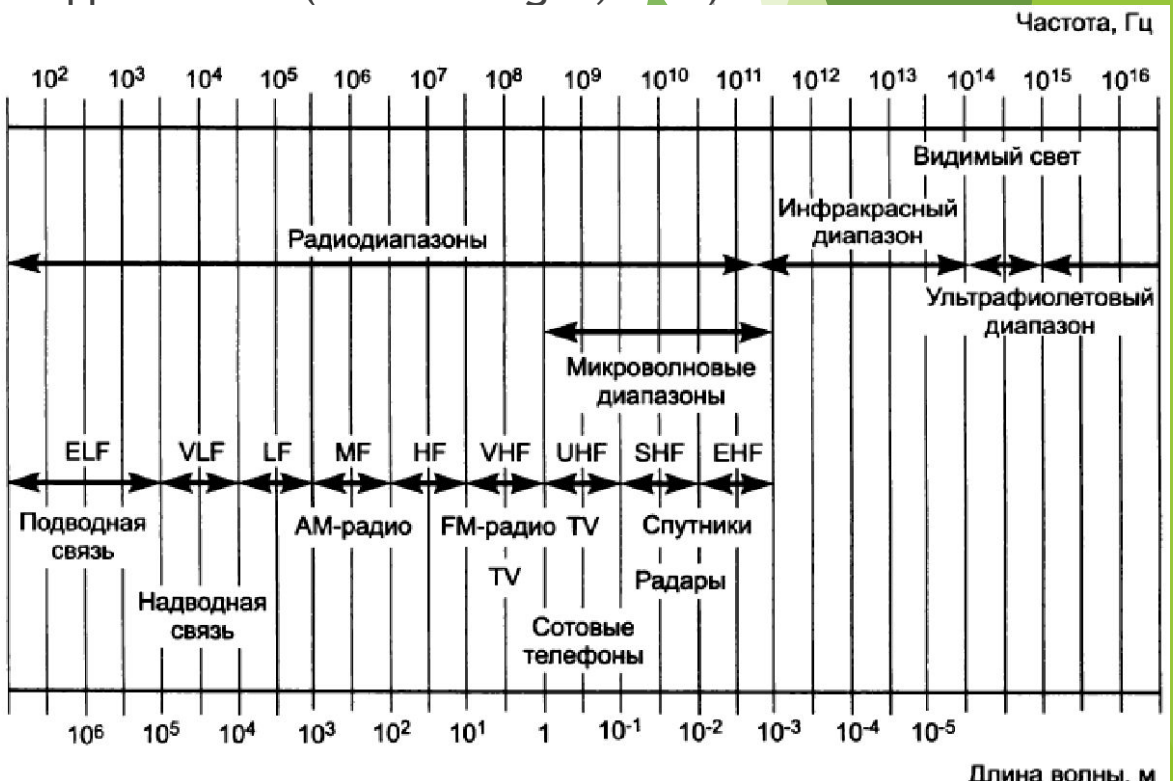
В последние годы ***видимый свет*** тоже стал применяться для передачи информации (с помощью лазеров). Системы видимого света используются как высокоскоростная альтернатива микроволновым двухточечным каналам для организации доступа на небольших расстояниях.



Общие закономерности распространения электромагнитных волн

- 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 проходят через стены, ограничивая передачу прямой видимостью (Line Of Sight, LOS).

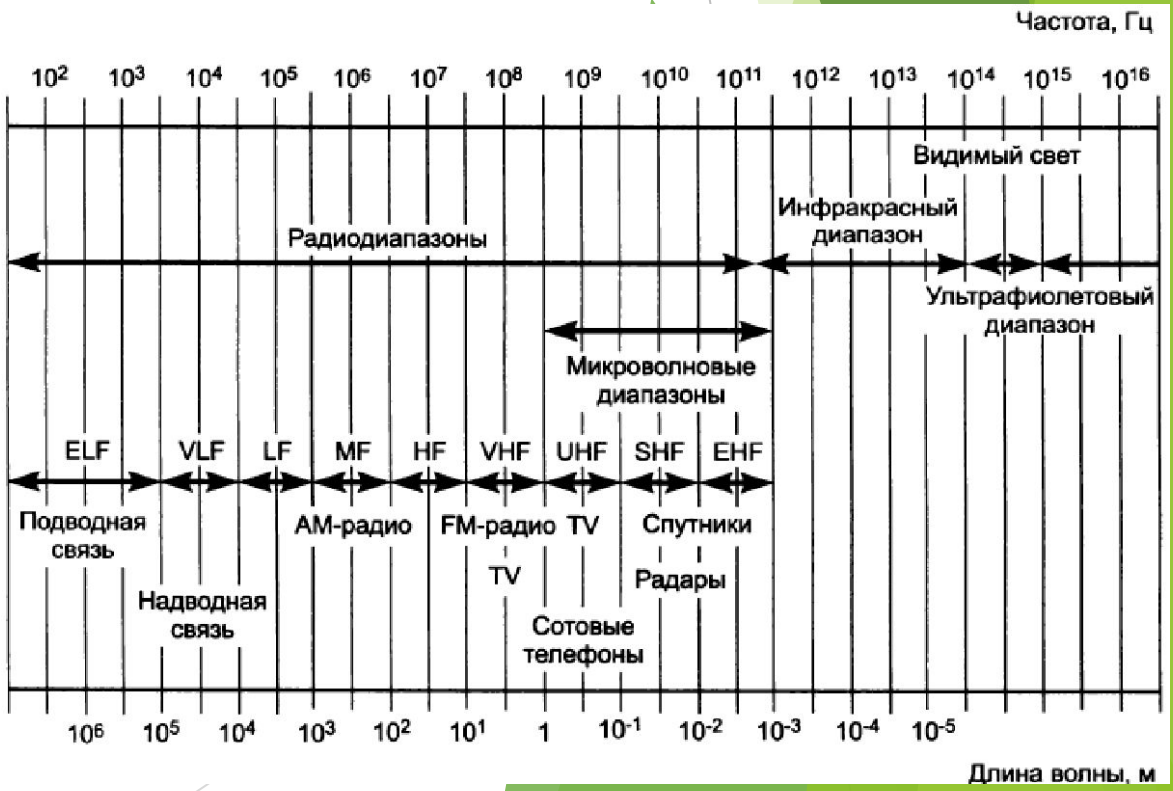
- Чем выше несущая частота, тем выше возможная скорость передачи информации.
- Чем выше частота, тем хуже проникает сигнал через препятствия. Низкочастотные радиоволны АМ-диапазонов легко проникают в дома, позволяя обходиться комнатной антенной. Более высокочастотный сигнал телевидения требует, как правило, внешней антенны. И наконец, инфракрасный и видимый свет не проходят через стены, ограничивая передачу прямой видимостью (Line Of Sight, LOS).



Общие закономерности распространения электромагнитных волн

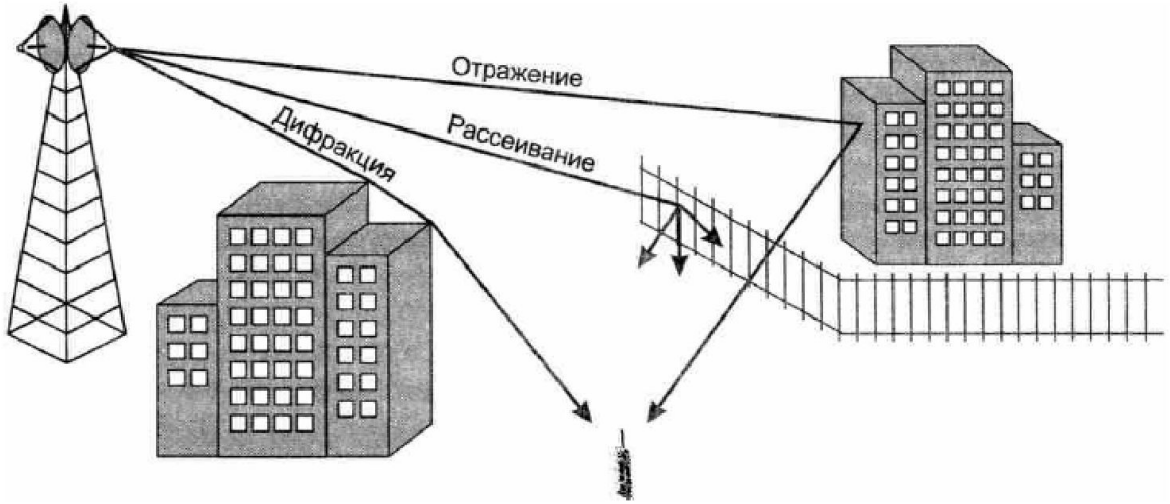
- Чем выше частота, тем быстрее убывает энергия сигнала с расстоянием от источника. При распространении электромагнитных волн в свободном пространстве (без отражений) затухание мощности сигнала пропорционально произведению квадрата расстояния от источника сигнала на квадрат частоты сигнала.
- Низкие 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 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.



Общие закономерности распространения электромагнитных волн

- Потребность в скоростной передаче информации является превалирующей, 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.
- Сигнал, встретившись с препятствием, может распространяться в соответствии с тремя механизмами: **отражением, дифракцией и рассеиванием**.



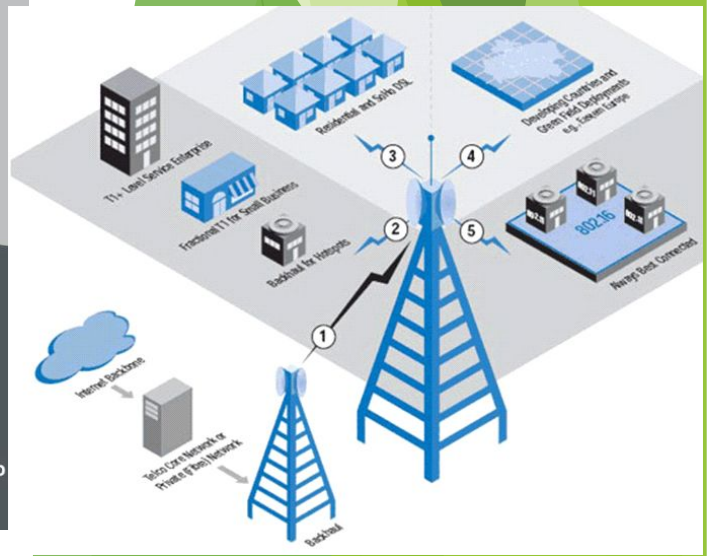
- Проблема высокого уровня помех беспроводных каналов решается различными способами. Важную роль играют специальные методы кодирования,передатчики сигнала (и приемники, если это возможно) стараются разместить на высоких башнях, применение протоколов с установлением соединения.

Места использования беспроводных технологий

- Существует два основных направления применения беспроводных компьютерных сетей:

- работа в замкнутом объеме (офис, выставочный зал, музей, концертная площадка, учебная аудитория и т. п.). Без подключения дополнительной антенны устойчивая связь достигается в среднем на следующих расстояниях: открытое пространство — 500 м, комната, разделенная перегородками из неметаллического материала — 100 м, офис из нескольких комнат — 30 м.

- соединение удаленных локальных сетей (или удаленных сегментов локальной сети). Используется оборудование с направленными антеннами, что позволяет увеличить дальность связи до 20 км, а при использовании специальных усилителей и большой высоте размещения антенн — до 50 км.



Достоинства и недостатки беспроводной передачи данных

Достоинства.

- Простота и скорость развертывания сети.
- Низкая стоимость развертывания.
- Отсутствие проводов на рабочем месте.

Недостатки.

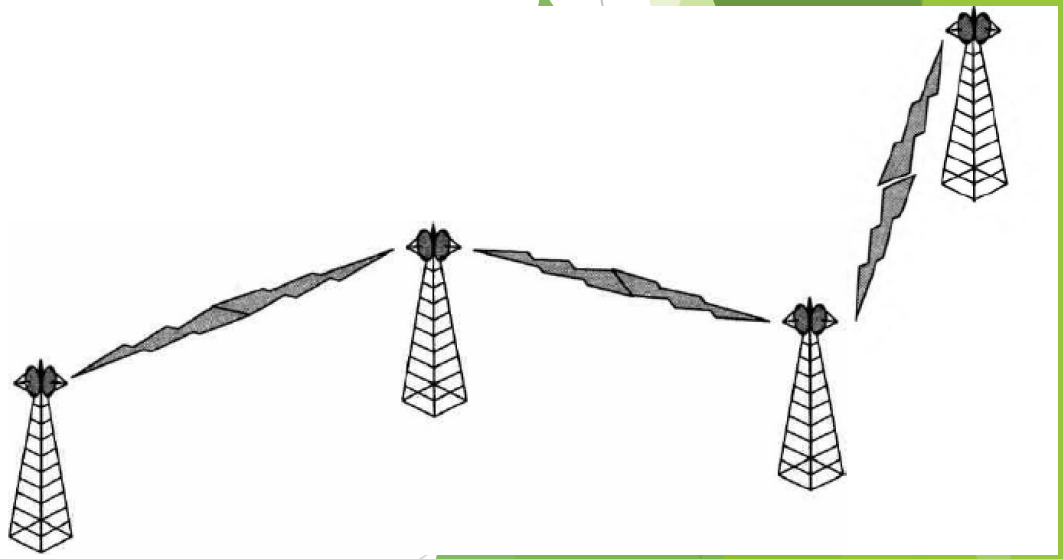
- Скорость передачи делится между всеми устройствами в пределах обслуживания их одной и той же точкой доступа.
- Влияние окружающей среды (деревья, стены зданий, погодные условия).
- Сравнительно низкая надежность.
- Низкая устойчивость к взлому при неправильной настройке.

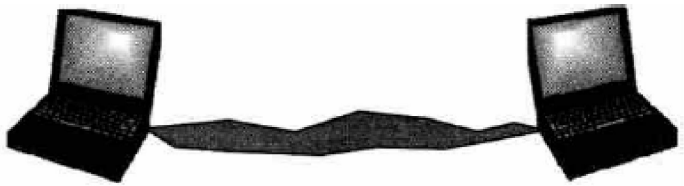
Типовые схемы беспроводной передачи данных. Двухточечная связь

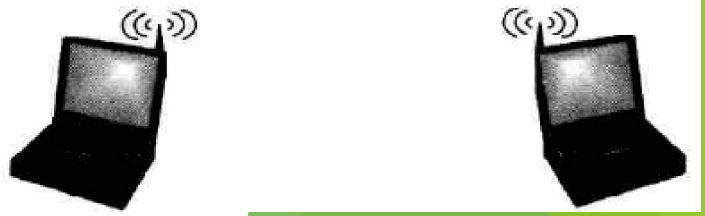
В телекоммуникационных первичных сетях эта схема уже долгое время применяется для создания так называемых радиорелейных линий связи. Такую линию образуют несколько башен, на которых установлены параболические направленные антенны. Каждая линия работает в микроволновом диапазоне на частотах в несколько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

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.

Для расстояний в пределах одного помещения может использоваться диапазон инфракрасных волн или микроволновый диапазон.



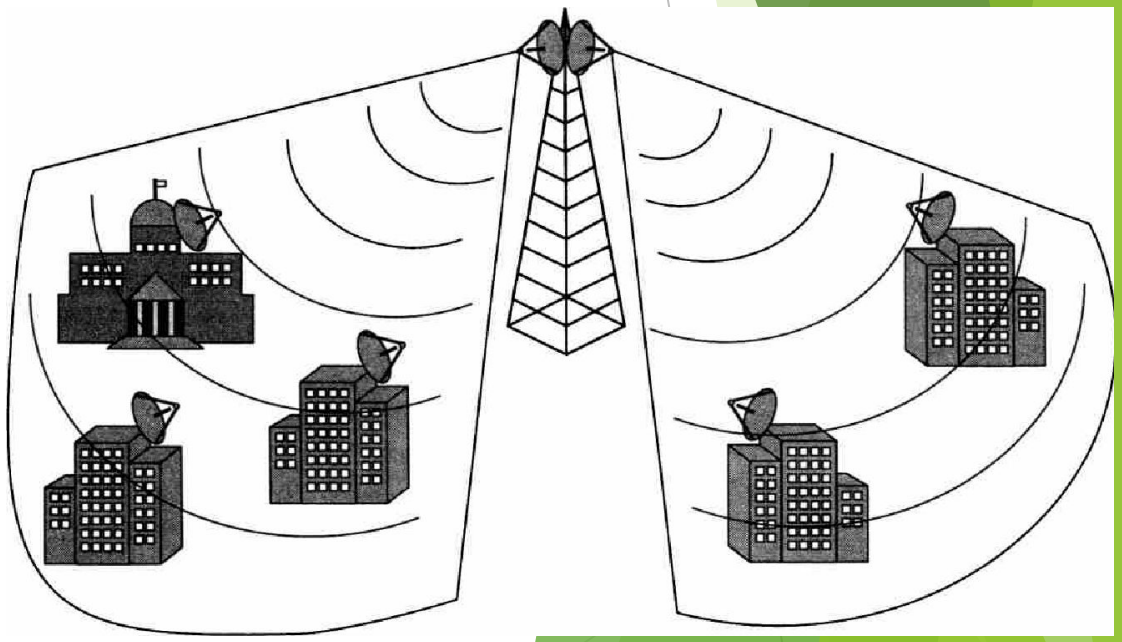




Типовые схемы беспроводной передачи данных. Связь одного источника и нескольких приемников

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.

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.

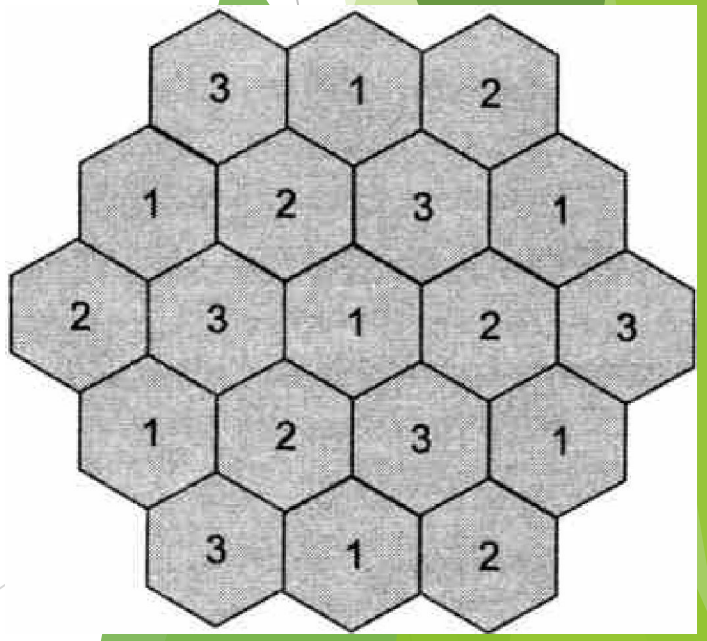


Типовые схемы беспроводной передачи данных. Связь одного источника и нескольких приемников

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 рисунке 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.

Поддержка передачи компьютерных данных стала обязательной в мобильных телефонных сетях третьего и четвертого поколений (3G и 4G).



Типовые схемы беспроводной передачи данных. Связь нескольких источников и нескольких приемников

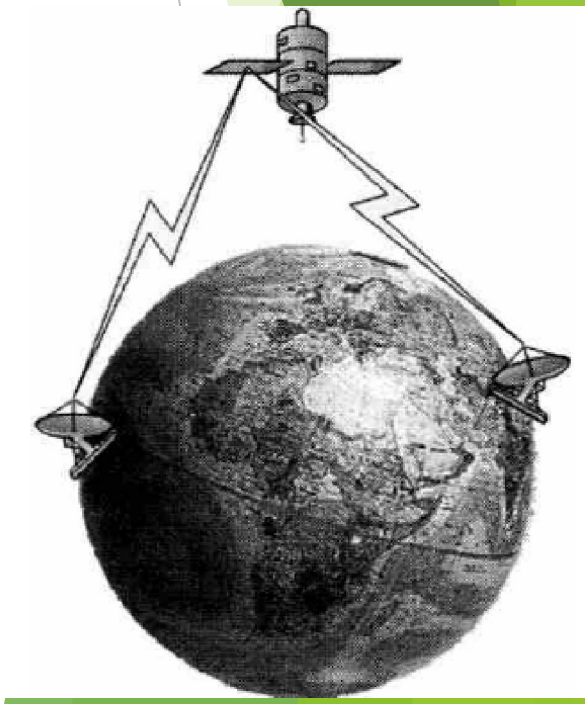
В случае схемы с несколькими источниками и несколькими приемниками беспроводная линия связи представляет собой общую электромагнитную среду, разделяемую несколькими узлами. Каждый узел может использовать эту среду для взаимодействия с любым другим узлом без обращения к базовой станции. Так как базовая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

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

Типовые схемы беспроводной передачи данных. Спутниковая связь

Спутниковая связь служит 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, спутник как отражатель сигнала оказывается естественным решением этой проблемы.

Со времени запуска первого телекоммуникационного спутника прошло уже более 50 лет, и 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 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.
Спутники отличаются высотой орбиты над Землей. Существует три группы орбит:
- 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.



Типовые схемы беспроводной передачи данных. Спутниковая связь

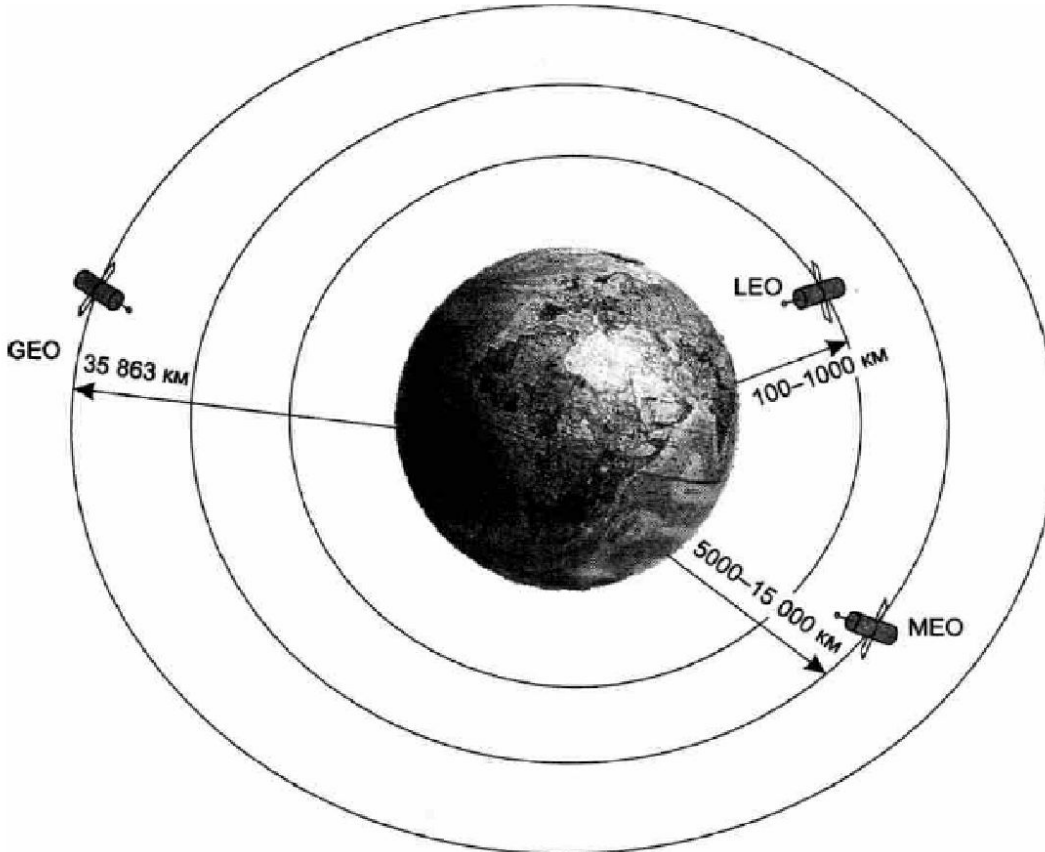
Геостационарный спутник “висит” над определенной точкой экватора, в точности следуя скорости вращения Земли. Такое положение выгодно по нескольким обстоятельствам.

Во-первых, четверть поверхности Земли оказывается с такой высоты в зоне прямой видимости, поэтому с помощью геостационарных спутников просто организовать широковещание в пределах страны или даже континента. естественно, больше ослабляются.

Во-вторых, геостационарный спутник находится за пределами земной атмосферы и меньше “изнашивается”, чем низкоорбитальные и средневысотные спутники. Путем применения нескольких антенн геостационарные спутники обычно поддерживают большое количество каналов.

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.

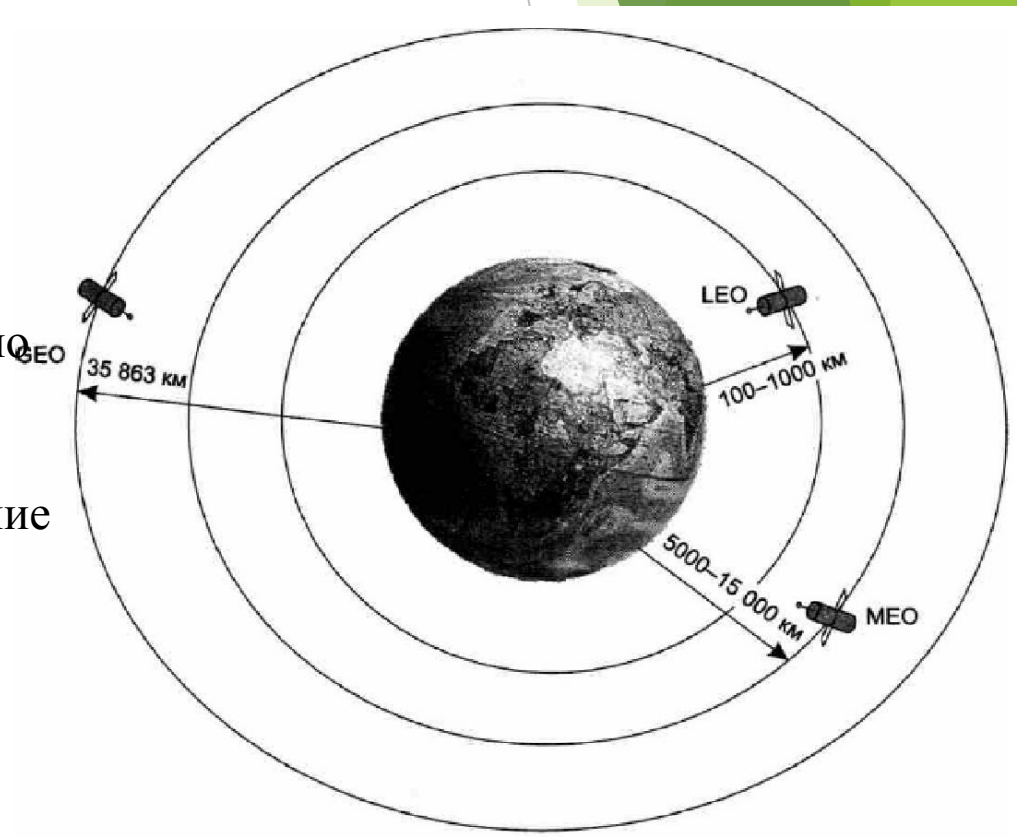
Принципиальным недостатком геостационарного спутника с его круговой орбитой является также плохая связь для районов, близких к Северному и Южному полюсам.



Типовые схемы беспроводной передачи данных. Спутниковая связь

Среднеорбитальные спутники обеспечивают диаметр покрытия от 10000 до 15000 км и задержку распространения сигнала 50 мс. Наиболее известной услугой, предоставляемой спутниками этого класса, является глобальная система навигации (Global Positioning System, GPS), ГЛОНАСС, Galileo.

GPS — это всеобщая система определения текущих координат пользователя на поверхности Земли или в околоземном пространстве. GPS состоит из 24 спутников — это то минимальное число спутников, которое необходимо для стопроцентного покрытия территории Земли. Первый тестовый спутник GPS был запущен в 1974 году, первый промышленный спутник — в 1978, а 24-й промышленный — в 1993 году. Спутники GPS летают на орбите высотой около 20 000 км. Помимо спутников в систему GPS входят сеть наземных станций слежения за ними и неограниченное количество пользовательских приемников-вычислителей, среди которых и ставшие очень популярными в последние годы приемники автомобильных систем навигации.

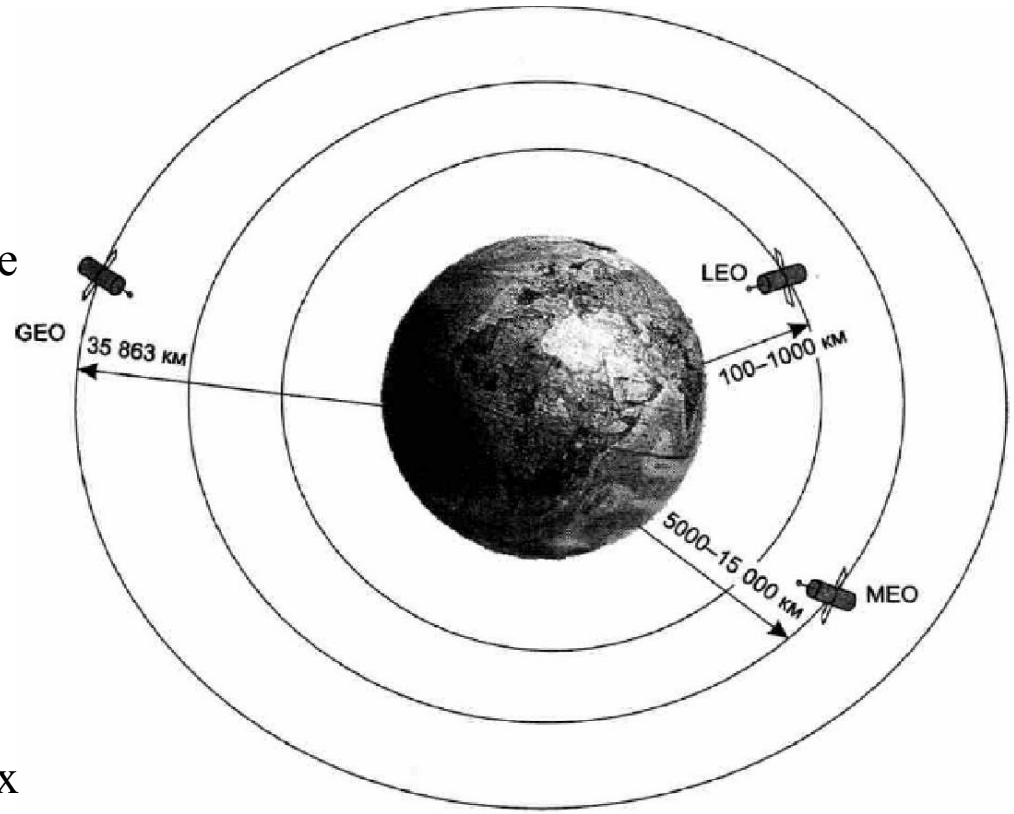


В СССР была разработана и реализована система аналогичного назначения под названием ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система). Первый спутник ГЛОНАСС был запущен в октябре 1982 года, а в сентябре 1993 года система была официально введена в эксплуатацию.

Типовые схемы беспроводной передачи данных. Спутниковая связь

Достоинства и недостатки **низкоорбитальных спутников** противоположны соответствующим качествам геостационарных спутников. Главное их достоинство — близость к Земле, а значит, пониженная мощность передатчиков, малые размеры антенн и небольшое время распространения сигнала (около 20-25 мс).

Кроме того, их легче запускать. Основной недостаток — малая площадь покрытия, диаметр которой составляет всего около 8000 км. Период оборота такого спутника вокруг Земли составляет 1,5-2 часа, а время видимости спутника наземной станцией — всего 20 минут. Это значит, что постоянная связь с помощью низкоорбитальных спутников может быть обеспечена, только когда на орбите находится достаточно большое их количество. Кроме того, атмосферное трение снижает срок службы таких спутников до 8-10 лет.

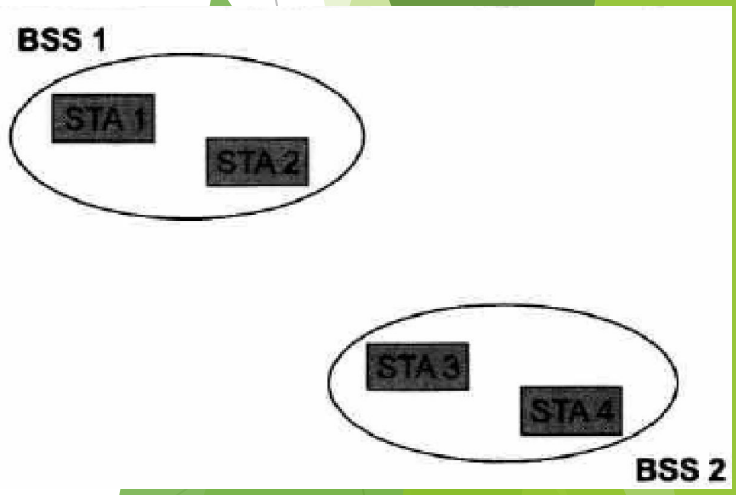


Если основным назначением геостационарных спутников является широковещание и дальняя связь, то низкоорбитальные спутники рассматриваются как важное средство поддержания мобильной связи. В начале 2015 года стадо известно о инициативе по созданию системы низкоорбитальных спутников, обеспечивающих высокоскоростной доступ в Интернет по всему миру. Об этом, в частности, объявил глава компании SpaceX Элон Маск. Его план состоит в запуске 700 недорогих микроспутников весом 110 кг на орбиту высотой 1200 км.

Стандарты беспроводной связи IEEE 802.11

Самый популярный стандарт беспроводных локальных сетей — IEEE 802.11. Сети и оборудование IEEE.802.11 также известны под названием Wi-Fi — по имени консорциума Wi-Fi Alliance, который занимается вопросам совместимости и сертификации оборудования стандартов IEEE 802.11.
Стандарт 802.11 поддерживает два типа топологий локальных сетей: с базовым и с расширенным наборами услуг.
Сеть с **базовым набором услуг** (Basic Service Set, BSS) образуется отдельными станциями, базовая станция отсутствует, узлы взаимодействуют друг с другом непосредственно. Для того чтобы войти в сеть BSS, станция должна выполнить процедуру присоединения.

Сети BSS не являются традиционными сотами в отношении зон покрытия, они могут находиться друг от друга на значительном расстоянии, а могут частично или полностью перекрываться — стандарт 802.11 оставляет здесь свободу для проектировщика сети.
Станции могут использовать разделяемую среду для того, чтобы передавать данные:
- непосредственно друг другу в пределах одной сети BSS;
- в пределах одной сети BSS транзитом через точку доступа;
- между разными сетями BSS через две точки доступа и распределенную систему;
- между сетью BSS и проводной локальной сетью через точку доступа, распределенную систему и портал.



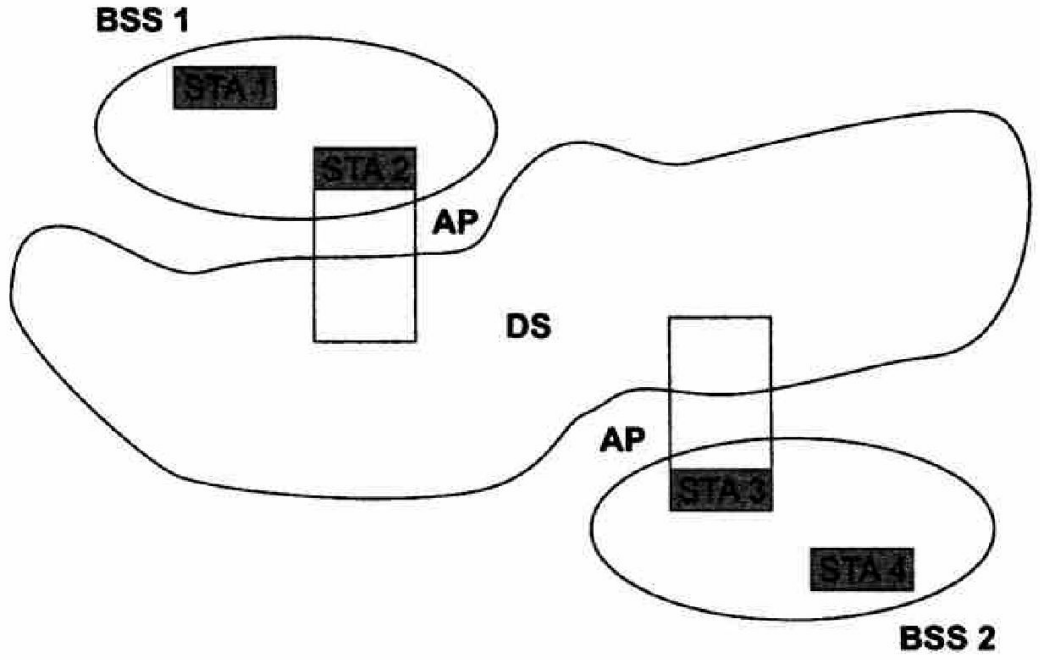
Стандарты беспроводной связи IEEE 802.11

Сеть с **расширенным набором услуг** (Extended Service Set, ESS) состоит из нескольких сетей BSS, объединенных распределенной средой.

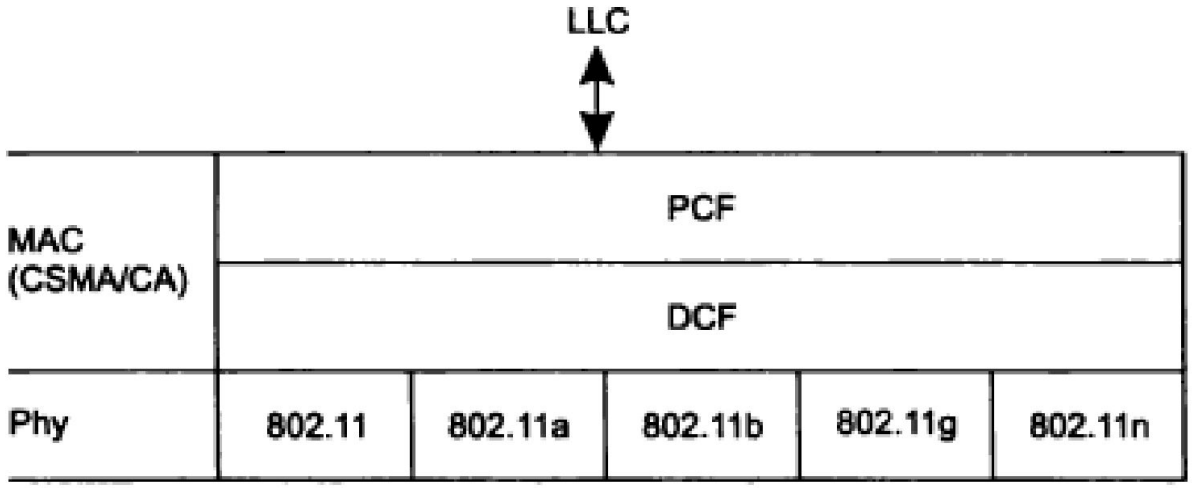
В сетях **с расширенным набором услуг** некоторые станции сети являются базовыми, или, в терминологии 802.11, **точками доступа** (Access Point, AP). Станция, которая выполняет функции AP, является членом какой-нибудь сети BSS. Все базовые станции сети связаны между собой с помощью распределенной системы (Distribution System, DS), в качестве которой может использоваться та же среда (то есть радио- или инфракрасные волны), что и среда взаимодействия между станциями, или же отличная от нее, например проводная. Точки доступа вместе с распределенной системой поддерживают **службу распределенной системы** (Distribution System Service, DSS). Задачей DSS является передача пакетов между станциями, которые по каким-то причинам не могут или не хотят взаимодействовать между собой непосредственно.

Наиболее очевидной причиной использования DSS является принадлежность станций разным сетям BSS. В этом случае они передают кадр своей точке доступа, которая через DS передает его точке доступа, обслуживающей сеть BSS со станцией назначения.

Сеть ESS обеспечивает станциям мобильность — они могут переходить из одной сети BSS в другую.



Стек протоколов IEEE 802.11

Стек протоколов стандарта IEEE 802.11 соответствует общей структуре стандартов комитета 802, то есть состоит из физического уровня и уровня MAC, поверх которых работает уровень LLC. Как и у всех технологий семейства 802, технология 802.11 определяется нижними двумя уровнями, то есть физическим уровнем и уровнем MAC, а уровень LLC выполняет свои стандартные функции, общие для всех технологий LAN.
Структура стека протоколов IEEE 802.11 показана на рисунке.
Уровень MAC выполняет в беспроводных сетях больше функций, чем в проводных. Функции уровня MAC в стандарте 802.11 включают:
- доступ к разделяемой среде;
- обеспечение мобильности станций при наличии нескольких базовых станций;
- обеспечение безопасности, эквивалентной безопасности проводных локальных сетей.

В сетях 802.11 уровень MAC поддерживает два режима доступа к разделяемой среде: распределенный режим (Distributed Coordination Function, DCF) и централизованный режим (Point Coordination Function, PCF). Режим PCF применяется в тех случаях, когда необходимо приоритезировать чувствительный к задержкам трафик.