

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Г.М. ЧЕРНОКНИЖНЫЙ

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2019**

ББК 65.011
Ч49

Чернокнижный Г.М.

Ч49 Сети и системы передачи информации : учебное пособие /
Г.М. Чернокнижный. — СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2019. — 104 с.

ISBN 978-5-7310-4610-7

В учебном пособии рассматриваются различные средства передачи информации по сетям электросвязи, принципы преобразования информации, способы передачи сообщений, технологии построения различных сетей передачи информации.

Предназначено для бакалавров направления подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность», профиль «Защита компьютерных систем», а также может представлять интерес для всех изучающих данную и смежные дисциплины.

The tutorial discusses various means of information transmission over telecommunication networks, principles of information transformation, methods of message transmission, technologies for building various information transmission networks.

The manual is intended for bachelors of the direction of training 10.03.01 "Information security" profile "Protection of computer systems", and may be of interest to all students of this and related disciplines.

ББК 65.011

Рецензенты: канд. экон. наук, доцент **И.Л. Андреевский**
канд. техн. наук, доцент **С.А. Михальчук**

ISBN 978-5-7310-4610-7

© СПбГЭУ, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	5
1.1. Краткая история развития систем передачи информации	5
1.2. Основные определения	9
1.3. Системы стандартизации.....	10
2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ	12
2.1. Характеристика звукового сигнала	12
2.2. Преобразование звукового сообщения в электрический сигнал	16
2.3. Передача сигнала по цифровому каналу связи	18
3. ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ	21
3.1. Среда передачи данных.....	21
3.2. Принципы передачи сообщений	39
3.3. Технологии построения первичной сети	43
3.4. Основные понятия теории телеграфика	48
4. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ	52
4.1. Взаимоувязанная сеть связи России	52
4.2. Автоматическая телефонная сеть.....	55
4.3. Телеграф.....	61
4.4. Факсимильная связь	61
4.5. Системы звукового вещания.....	65
4.6. Телевидение	67
4.7. Сотовая связь	74
4.8. Транкинговая связь	83
5. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	90
5.1. Типы компьютерных сетей	90
5.2. Топология сети.....	93
5.3. Сетевые модели и протоколы.....	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	103

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Сети и системы передачи информации» является базовой дисциплиной в подготовке бакалавров направления «Информационная безопасность», профиль «Безопасность компьютерных систем (в экономике и управлении)», знакомящая обучающихся с сетевыми технологиями передачи информации. Важность этой дисциплины состоит в том, что на ее базе во многом основывается преподавание последующих дисциплин учебного плана. Материал учебного пособия позволит обеспечить широту кругозора обучающихся в самых различных системах передачи информации: от традиционной телефонии, до радиосистем различного назначения.

Планируемые результаты изучения материалов данного пособия состоят в решении следующих задач:

- достичь обучающимися компетенции: способность понимать значение информации в развитии современного общества, применять информационные технологии для поиска и обработки информации, в результате чего обучающийся должен знать современный уровень развития информационных технологий, виды технологий по предметным областям, способы поиска информации, касающейся сетевых технологий и информационной безопасности; уметь применять информационные технологии для поиска информации, касающейся сетевых технологий и информационной безопасности; владеть способностью обработки информации, касающейся сетевых технологий и информационной безопасности;
- сформировать у студентов системное представление о сетях и системах передачи информации различных видов;
- сформировать базу начальных знаний в области администрирования сетевых компьютеров, пользователей и ресурсов;
- развить умение использовать современные информационные сетевые технологии при работе с общими сетевыми ресурсами, с сетевыми базами данных.

Знание материала учебного пособия даст возможность выпускнику успешно работать в области безопасности компьютерных систем и разбираться в технологиях смежных систем передачи информации.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Краткая история развития систем передачи информации

Понятие «телеграф» пришло из древнегреческого (τῆλε — «далеко», γράφω — «пишу»). Так был назван факельный телеграф, как способ передачи сообщений на расстояние с помощью факелов, предложенный во втором веке до н. э. греческими учеными Демоклитом и Клеоксеном. Правда, способ не прижился ввиду своей сложности.

Широкое практическое применение в Европе нашёл «оптический телеграф», изобретенных французами, братьями Шапп. Клод Шапп создал специальную таблицу кодов, где каждой букве алфавита соответствовала определённая фигура, образуемая семафором, в зависимости от положений поперечных брусьев относительно опорного шеста. Семафоры — шесты с подвижными перекладами, управлялись при помощи тросов. Вся конструкция, а также операторы, передававшие и принимавшие информацию, находились в специальных сооружениях — телеграфных башнях. Скорость передачи составляла два слова в минуту.

В России линия Петербург — Варшава (1839 год) была самой протяженной в мире (длина 1200 км, 149 промежуточных станций с высотой башни от 15 до 17 метров). Передача 45 условных сигналов из Петербурга в Варшаву при ясной погоде занимала 22 минуты.

Изобретение химического источника тока итальянским ученым А. Вольта в 1800 году (знаменитый «вольтов столб») дало возможность немецкому ученому С. Земмерингу построить и представить в 1809 г. Мюнхенской академии наук проект электрохимического телеграфа. Для передачи информации он использовал пузырьки газа, которые выделялись при прохождении тока через подкисленную воду. Телеграф Земмеринга имел много недостатков и не нашел практического применения. Понадобилось 20 лет, чтобы появилась первая практически применимая система телеграфирования. Ее автор — выдающийся русский ученый П. Л. Шиллинг. В октябре 1832 г. состоялась первая публичная демонстрация электромагнитного телеграфа. В том же году с помощью телеграфа Шиллинга была налажена связь между Зимним дворцом и Министерством путей сообщения.

Дальнейшим развитием стала разработка пишущего телеграфа, который независимо друг от друга изобрели русский академик

Б.С. Якоби и американец С. Морзе. Последний предложил так же телеграфную азбуку, носящую его имя и применяемую до сих пор.

Отметим, что телеграфная линия, оборудованная пишущим телеграфом Б.С. Якоби и соединившая Главный штаб и Зимний дворец, была введена в эксплуатацию в 1841 году. Петербург и Царское село были связаны пишущим телеграфом в 1843 году (расстояние 25 км), а в Америке аналогичная линия появилась на год позже — в 1844 году — между Вашингтоном и Балтимором (расстояние 63 км). Дальнейший вклад Б.С. Якоби в развитие телеграфа — создание буквопечатающего аппарата в 1850 году. В дальнейшем эту конструкцию заимствовали и усовершенствовали американец Д. Юз и француз Ж. Бодо.

С 1866 года телеграфные линии связали Европу и Америку, так как в июне этого года была завершена прокладка кабеля через Атлантический океан.

Следующим этапом в развитии электросвязи стало изобретение телефона. Американец А.Г. Белл в 1876 году получил патент на «устройство для передачи речи по проводам», которое впоследствии получило название «телефон». А вот чувствительный микрофон для телефонного аппарата впервые сконструировал русский ученый М. Махальский в 1878 году. В современном конструктивном исполнении этот микрофон используется до сих пор.

На первых порах для телефонной связи использовались телеграфные линии. Но для улучшения качества связи потребовалось строительство специальных двухпроводных телефонных линий. Такая линия была спроектирована в 1895 г. профессором Петербургского электротехнического института П. Д. Войнаровским и построена в 1898 г. между Петербургом и Москвой.

Существенный вклад в усовершенствование телефона внес русский физик П. М. Голубинкий, который в 1886 г. разработал новую схему телефонной связи. Согласно этой схеме микрофоны абонентских телефонных аппаратов получали питание от одной (центральной) батареи, расположенной на телефонной станции. Эта система была внедрена во всем мире под названием системы ЦБ.

Первые телефонные станции в России были построены в 1882–1883 гг. в Москве, Петербурге, Одессе.

В конце прошлого столетия Земля оказалась опоясанной проводами и кабелями, соединяющими города и континенты. Однако про-

водная связь не могла удовлетворить быстрорастущие потребности промышленности, транспорта и особенно судоходства. В беспроводной связи остро нуждались мореплаватели и военный флот.

Изобретение радио — заслуга нашего выдающегося соотечественника, талантливого русского ученого А. С. Попова. Первая публичная демонстрация устройства А. С. Попова для приема электромагнитных волн состоялась на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. Этот день и вошел в историю как день изобретения радио. В марте 1896 г. А. С. Попов передал электрическими сигналами без проводов текст, состоящий из двух слов («Генрих Герц»), на расстояние всего 250 м. А уже в 1900 г. радиосвязь использовалась на практике при снятии с камней броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» и при спасении рыбаков, унесенных в море.

В 1965 г. в СССР был запущен искусственный спутник Земли «Молния-1», на борту которого находилась приемопередающая ретрансляционная станция.

В 1960 г. в Америке был создан первый в мире лазер. Это стало возможным после появления работ советских ученых В. А. Фабриканта, Н. Г. Басова и А. М. Прохорова и американского ученого Ч. Таунса, получивших Нобелевскую премию.

В 1970 г. в американской фирме «Corning Glass Company» было получено сверхчистое стекло. Это дало возможность создать и внедрить повсеместно оптические кабели связи.

В настоящее время связь развивалась по пути оцифровывания всех видов информации. Это стало генеральным направлением, обеспечивающим экономичные методы не только ее передачи, но и распределения, хранения и обработки. Появились системы передачи синхронной цифровой иерархии.

Интенсивное развитие цифровых систем передачи объясняется их существенными достоинствами по сравнению с аналоговыми системами передачи: высокой помехоустойчивостью; слабой зависимостью качества передачи от длины линии связи; стабильностью электрических параметров каналов связи; эффективностью использования пропускной способности при передаче дискретных сообщений и др.

На смену телеграфной связи пришли такие виды документальной электросвязи, как передача данных, электронная почта, факсимильная связь. Успешно развивается российский сегмент сети Интернет.

Одновременно с ростом числа услуг связи изменяться их качество — от простого телефонного сервиса до услуг мультимедиа, которые обеспечиваются интегральными цифровыми сетями связи.

Особенно быстрыми темпами в мире и у нас в стране идет развитие сети мобильной радиосвязи. Количество людей, пользующихся мобильными телефонами в мире, приближается к 2 млрд.

В России развитие телекоммуникаций в настоящий момент характеризуется следующими показателями: телефонная плотность — около 30%, плотность мобильной связи — 87%, плотность пользователей Интернета — 81% [1].

Человечество движется по пути создания Глобального информационного общества. Его основой станет Глобальная информационная инфраструктура, составляющей которой будут мощные транспортные сети связи и распределенные сети доступа, предоставляющие информацию пользователям. Глобализация связи и ее персонализация (доведение услуг связи до каждого пользователя) — вот две взаимосвязанные проблемы, успешно решаемые специалистами электросвязи на данном этапе развития человечества.

Большинство специалистов сходятся во мнении, что дальнейшая эволюция телекоммуникационных технологий будет идти в направлениях увеличения скорости передачи информации, интеллектуализации сетей и обеспечения мобильности пользователей.

Высокие скорости необходимы для передачи изображений, в том числе телевизионных; интеграции различных видов информации в мультимедийных приложениях; организации связи локальных, городских и территориальных сетей.

Интеллектуальность позволит увеличить гибкость и надежность сети, сделает более легким управление глобальными сетями. Благодаря интеллектуализации сетей, пользователь перестает быть пассивным потребителем услуг — превратится в активного клиента, который сможет управлять сетью, заказывая необходимые ему услуги.

Успехи в области миниатюризации электронных устройств, снижение их стоимости создали предпосылки к глобальному распространению мобильных оконечных устройств. Это делает реальной задачу предоставления услуг связи каждому в любое время и в любом месте,

Можно отметить, что объем информации, передаваемой через информационно-телекоммуникационную инфраструктуру мира, удваивается каждые 2—3 года.

1.2. Основные определения

Информация — это сведения о каких-либо процессах, событиях, фактах или предметах. Известно, что 80–90% информации человек получает через органы зрения и 10–20% — через органы слуха. Другие органы чувств дают в сумме 1–2% информации. Физиологические возможности человека не позволяют обеспечить передачу больших объемов информации на значительные расстояния.

Связь — техническая база, обеспечивающая передачу и прием информации между удаленными друг от друга людьми или устройствами [2].

Сеть связи — это совокупность технических средств, обеспечивающих передачу и распределение сообщений. Принципы построения сетей связи зависят от вида передаваемых и распределяемых сообщений.

Сообщение — форма выражения (представления) информации удобная для передачи на расстояние. Различают *оптические* (телеграмма, письмо, фотография) и *звуковые* (речь, музыка) сообщения. *Документальные* сообщения наносятся на определенные носители (чаще всего на бумагу) и там же хранятся. Сообщения, предназначенные для обработки в компьютерных информационных системах, принято называть *данными*.

Информационный параметр сообщения параметр, в изменении которого «заложена» информация. Для *звуковых* сообщений информационным параметром является мгновенное значение звукового давления, для *неподвижных* изображений — коэффициент отражения, для *подвижных* — яркость свечения участков экрана.

По характеру изменения информационных параметров различают *непрерывные* и *дискретные* сообщения.

Канал связи — совокупность технических устройств (преобразователей) и среды распространения, обеспечивающих передачу сигналов на расстояние.

Каналы и системы связи, использующие искусственную среду распространения (металлические провода, оптическое волокно), называются *проводными*, а каналы и системы связи, в которых сигналы передаются через открытое пространство — *радиоканалами* и *радиосистемами*.

Сигнал — физический процесс, отображающий передаваемое сообщение. Отображение сообщения обеспечивается изменением какой-

либо физической величины, характеризующей процесс. Эта величина является информационным параметром сигнала. Сигналы, как и сообщения, могут быть *непрерывными* и *дискретными* (рис. 1.1). Информационный параметр непрерывного сигнала с течением времени может принимать любые мгновенные значения в определенных пределах. Непрерывный сигнал называют *аналоговым*. Дискретный сигнал характеризуется конечным числом значений информационного параметра.

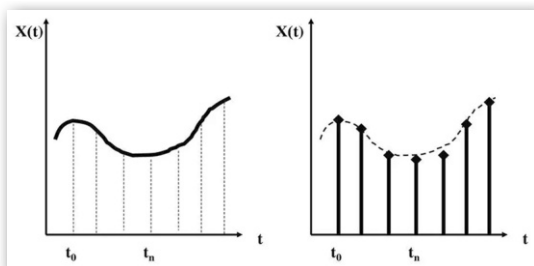


Рис. 1.1. Представление аналогового и дискретного сигналов

В электрических каналах связи сигнал представляет собой ток в проводе либо напряжение электрического поля, в акустических каналах — звуковое давление и т. д.

1.3. Системы стандартизации

Цель деятельности организаций стандартизации в области телекоммуникаций заключается в создании единых международных стандартов. Отсутствие единых стандартов приводит к несовместимости оборудования различных производителей и, как следствие, невозможности организации международной связи. Организации стандартизации обеспечивают условия для обсуждения прогрессивных технологий, утверждают результаты этих обсуждений в виде официальных стандартов, а также обеспечивают распространение утвержденных стандартов.

Порядок работы организаций стандартизации по принятию стандартов отличается. Однако он схож в том, что производится несколько этапов разработки и обсуждения новых технологий, разработки проектов стандартов, голосования по всем или некоторым аспектам этих стандартов и, на конец, официального выпуска завершенных стандартов.

Наиболее известны следующие организации стандартизации.

Международная организация стандартизации (МОС) (International Standard Organization — ISO) — автор стандартов в различных областях деятельности, включая стандарты по телекоммуникациям. Членами ISO являются национальные организации стандартизации. Участие в ISO является добровольным. Наиболее известным стандартом ISO в области телекоммуникаций является эталонная модель взаимодействия открытых систем.

Сектор стандартизации телекоммуникации Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union — ITU-T) — специализированный орган ООН. Стандарты ITU-T называются Рекомендациями (Recommendation). Рекомендации объединены в серии, обозначаемые латинскими буквами. В пределах серии Рекомендации присваивается порядковый номер. Обозначение серии и номера Рекомендации отделяются друг от друга точкой, например, V.90. Кроме ITU-T, в состав ITU входят *Сектор радиосвязи* МСЭ-Р (Radiocommunication Sector — ITU-R) и *Сектор развития электросвязи* (Telecommunication Development Sector ITU-D). Стандарты ITU охватывают практически всю область телекоммуникаций.

Институт инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronic Engineers — IEEE) — профессиональная организация, разрабатывающая стандарты для сетей. Стандарты локальных сетей LAN являются наиболее известными стандартами IEEE по телекоммуникациям.

Европейский институт стандартизации электросвязи (European Telecommunications Standards Institute — ETSI) определяет единую техническую политику в области телекоммуникаций для стран-членов Европейского сообщества. Наиболее известным стандартом ETSI является стандарт сотовой системы подвижной радиосвязи GSM.

Европейская конференция администраций почт и электросвязи (Conference of European Posts and Telegraphs — CEPT).

Американский национальный институт стандартизации (American National Standard Institute ANSI) — координирующий орган добровольных групп по стандартизации в пределах США. ANSI является членом ISO. Широко известен стандарт ANSI по коммуникациям FDDI.

Ассоциация телекоммуникаций промышленности (Telecommunica — Industrial Association — TIA) — одна из групп ANSI, выпускающая стан-

дарты по телекоммуникациям. Самым известным стандартом ТИА является стандарт сотовой системы подвижной радиосвязи США IS-54.

Ассоциация электронной промышленности (Electronic Industrial Association — EIA) — одна из групп ANSI.

Федеральная комиссия по связи (Federal Communication Commission — FCC) США — правительственная организация США., занимающаяся регулированием в отрасли связи, в том числе распределением спектра радиочастот.

Совет по регуляции работы Internet (Internet Activities Board — IAB) определяет основную политику в области глобальной сети Интернет. Включает в себя два подкомитета: исследовательский — Internet Research Task Force (IRTF) и стандартизации — Internet Engineering Task Force (IETF). Стандарты IAB называются «Request for Comments» (RFC).

Производители оборудования телекоммуникаций, заинтересованные в быстром продвижении некоторой конкретной технологии, также создают организации стандартизации в данной области. В качестве примера можно привести такие организации, как *Форум АТМ*, *Форум Frame Relay*, *Альянс Gigabit Ethernet* и пр.

В нашей стране работы по стандартизации и регулированию в области связи наряду с Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (*Госстандартом*) проводят: Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (*Роскомнадзор*); Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ (*Минсвязи РФ*) и его подразделение Государственная комиссия по радиочастотам (*ГКРЧ*).

2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

2.1. Характеристика звукового сигнала

Как известно, речь основана на использовании звуковых колебаний. Колебательные движения частиц упругой среды — воздуха, вызывающие слуховое ощущение, называют звуком. Процесс распространения звуковых колебаний принято называть *звуковой волной*, а пространство, в котором распространяются звуковые волны, звуковым полем.

В телефонной аппаратуре воспроизведение звуков обусловлено колебательным движением определенных деталей. Так, звучание телефона происходит вследствие колебаний его мембраны. Она создает колебания воздуха, которые и воспринимает наше ухо.

Звуковые колебания, возникнув в какой-либо точке среды, распространяются во всех направлениях от источника звука. Скорость распространения звуковых колебаний в воздухе при нормальном атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 343 м/с , причем она изменяется в зависимости от влажности и температуры воздуха.

При распространении звуковых колебаний в каждой точке звуковой волны создается определенное изменение давления воздуха, которое называется звуковым. Временная зависимость изменения давления по форме аналогична временной зависимости движения, создающего звук объекта (например, голосовых связок человека). По звуковому давлению можно судить о силе звука. Звуковое давление в Международной системе единиц выражается в паскалях (Па).

Звуковая волна в каждой точке поля характеризуется определенной интенсивностью (силой звука), под которой понимают энергию звуковой волны, проходящей за 1 с через площадь 1 м^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Интенсивность звука выражается в ваттах на квадратный метр (Вт/м^2).

Простейшим колебанием является равномерное *гармоническое* (или синусоидальное) *колебание*, которое принято характеризовать амплитудой A , периодом T и частотой f .

Наибольшее отклонение, которого достигает колеблющееся тело за период колебания (считая от положения равновесия), называется *амплитудой* колебания. Чем больше амплитуда, тем больше звуковое давление и сильнее звук. Синусоидальный сигнал дважды дает амплитудное значение — на положительном и отрицательном полуциклах.

Звуковая волна, встречая на своем пути тело, способное колебаться, приводит его в колебательное движение. Так, достигая ушной раковины человека, звуковая волна приводит в колебание систему органа слуха, которая передает эти колебания в кору большого полушария головного мозга, где они и создают ощущение звука.

Различают три элемента слухового восприятия; высоту (тон), громкость и тембр звука. Высота звука зависит от частоты звукового колебания, с возрастанием которой увеличивается высота звука.

При высоких частотах ухо человека теряет способность воспринимать звуковые колебания. Громкость звука является количественной характеристикой слухового ощущения и зависит от звукового давления. Звуковое колебание при частоте, когда громкость минимальна и звук едва слышен, называется *порогом слышимости*. Верхний предел восприятия интенсивности звука называют *порогом болевого ощущения*.

Областью слухового восприятия (рис. 2.1) называется область звуковых колебаний, заключенная между частотными характеристиками порога слышимости (кривая 1) и порога болевого ощущения (кривая 2). Тембр определяется наличием в звуковых колебаниях, кроме колебаний основной частоты, дополнительных колебаний с иными частотами.



Рис. 2.1. Диаграмма области слухового восприятия

Каждый звук голоса человека является сложным колебанием, состоящим из ряда простых колебаний, различных по частоте и силе, по характеризующихся частотой основного колебания (тона). Частота импульсов основного тона речи лежит в пределах от 50...100 Гц (очень низкий голос — бас) до 200...350 Гц (женский и детский голоса). Сложные сигналы основного тона содержат более 40 гармоник, амплитуда которых убывает с ростом частоты. При разговоре частота первой гармоники основного тона меняется в значительных пределах, особенно при переходе от гласных звуков к согласным и наоборот.

Слышимые звуки субъективно оцениваются человеком по громкости, зависящей от силы, частоты и индивидуальных особенностей слуха.

В системах телефонной связи учитывают адаптацию слуха и маскировку звуков. *Адаптацией слуха* (приспособляемостью) называется свойство уха менять во времени порог слышимости в зависимости от уровня внешнего звукового воздействия, причем значительное звуковое воздействие повышает порог слышимости, который восстанавливается после прекращения воздействия внешнего звука через единицы или десятки секунд. Явление ослабления слышимости полезного звука на фоне одновременно воздействующего меняющегося звука называется *маскировкой звуков*. В результате маскировки порог слышимости повышается.

Звуки речи представляют собой непериодическую функцию, которую можно разложить в ряд Фурье и рассматривать как периодические колебания в спектре частот от 80 до 12 000 Гц. Ухо человека может воспринимать звуковые колебания с частотой 16...20 000 Гц.

В процессе разговора происходит усиление отдельных областей частот, так называемых *формант*, которыми определяется разборчивость речи. Большинство формант расположено в полосе частот 300—3400 Гц. Эта часть спектра, получившая название эффективно передаваемой полосы частот, рекомендована Международным консультативным комитетом по телефонии и телеграфии (МККТТ) для телефонной передачи и является стандартом для всех телефонных линий. Решающими в выборе полосы 0,3...3,4 кГц были экономические соображения и нехватка телефонных каналов.

Средняя мощность телефонного сигнала на так называемых интервалах активности (в отсутствие длительных пауз) составляет 88 мкВт. Однако в речи 75% времени занимают паузы, поэтому средняя мощность телефонного сигнала, измеренная в час наибольшей нагрузки, с учетом сигналов управления — набора номера, сигнала вызова и так далее составляет 32 мкВт. Максимальная мощность телефонного сигнала, вероятность превышения которой исчезающе мала, равна 2 220 мкВт, а минимальная мощность сигнала, который еще слышен на фоне шумов, принята равной 0,22 мкВт.

Влияние шумов на качество телефонной связи характеризуется следующими данными: при мощности 0,017 8 мкВт шумы едва различимы; при мощности 0,178 мкВт разборчивость речи еще достаточна; при мощности 1,78 мкВт разборчивость речи затруднена и качество связи неудовлетворительно.

2.2. Преобразование звукового сообщения в электрический сигнал

Преобразование звукового сообщения в электрический сигнал осуществляется с помощью микрофона.

Простейший и исторически первый *угольный микрофон* — необратимый активный акустоэлектрический преобразователь. Принцип действия основан на свойстве угольного порошка изменять сопротивление электрическому току в зависимости от его плотности, изменяющейся под действием звуковых колебаний воздушной среды.

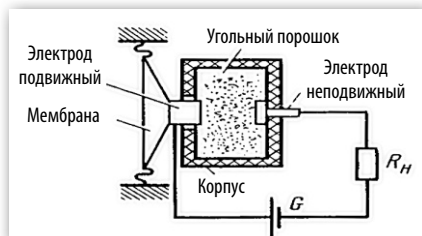


Рис. 2.2. Устройство угольного микрофона и схема его включения в электрическую цепь

Устройство угольного микрофона и схема его включения в электрическую цепь показаны на рис. 2.2.

Основными элементами микрофона являются подвижный и неподвижный электроды, подключенные к электрической цепи, и угольный порошок, заполняющий пространство между электродами. Подвижный электрод жестко связан с мембраной,

воспринимающей колебания окружающего слоя воздуха. Элементы микрофона помещены в общий корпус, изготовленный из токонепроводящего материала. Звуковые колебания воздуха приводят к соответствующим колебаниям мембраны. Вместе с мембраной колеблется, совершая горизонтальные движения, подвижный электрод, изменяющий плотность P угольного порошка. При увеличении плотности порошка его сопротивление R электрическому току уменьшается, а при уменьшении — увеличивается. Следовательно, ток I в цепи будет изменяться прямо пропорционально изменению звукового давления (рис. 2.3).

Преимущества угольного микрофона: простота, высокая чувствительность (можно использовать без усилителя). Недостатки: низкие частотные характеристики и значительные нелинейные искажения.

Для электроакустических трактов высокого качества, а также для миниатюрных устройств, получил распространение *конденсаторный микрофон* (рис. 2.4).

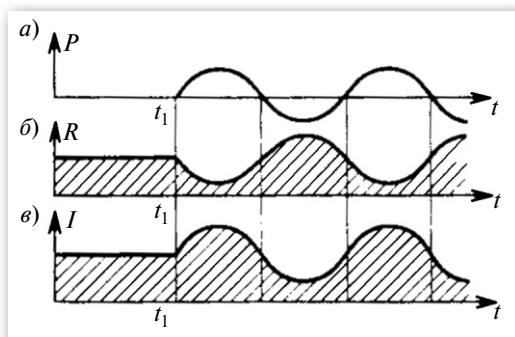


Рис. 2.3. Характеристики параметров угольного микрофона

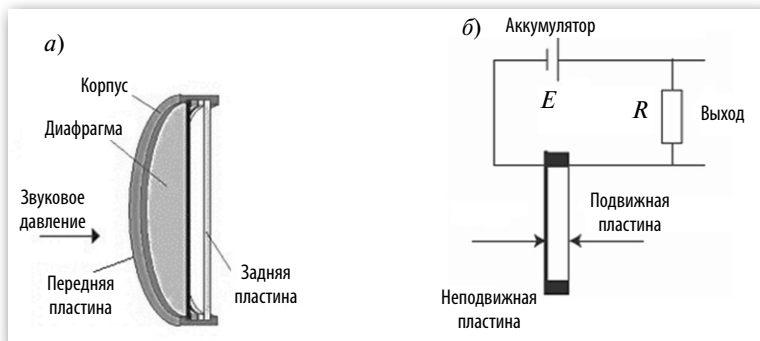


Рис. 2.4. Конденсаторный микрофон: а — конструкция; б — схема включения

Он работает следующим образом. Жестко натянутая мембрана под воздействием звукового давления может колебаться относительно неподвижного электрода, являясь вместе с ним обкладками электрического конденсатора. Этот конденсатор включается в электрическую цепь последовательно с источником постоянного тока E и активным нагрузочным сопротивлением R . При колебаниях мембраны емкость конденсатора меняется с частотой действующего на мембрану бокового давления, в связи с чем в электрической цепи появляется переменный ток той же частоты, и на нагрузочном сопротивлении возникает изменение напряжения, являющееся выходным сигналом микрофона.

Нагрузочное сопротивление должно быть большим, чтобы падение напряжения на нем не уменьшалось сильно на низких частотах, где емкостное сопротивление конденсатора очень велико и эксплуатация такого микрофона была бы невозможна из-за сравнительно небольшого сопротивления микрофонных линий и нагрузки. Но этой причине почти у всех современных конденсаторных микрофонов предусмотрены конструктивно связанные с самим микрофоном усилители, имеющие малый коэффициент усиления (порядка 1), высокое входное и низкое выходное сопротивления.

2.3. Передача сигнала по цифровому каналу связи

В традиционных телефонных сетях сигналы передаются в следующей форме: телефонный аппарат, стоящий дома или в офисе, соединен с телефонной станцией парой проводов, именуемой абонентским шлейфом. Эта пара проводов используется для подачи напряжения на цепь звукового сигнала телефонного аппарата при инициализации вызова, для передачи звуковых сигналов АТС (непрерывный гудок, длинные или короткие гудки) на телефонный аппарат и для передачи собственно речи во время связи.

Путь голосового сигнала от микрофона одного телефонного аппарата к громкоговорителю другого выглядит следующим образом: микрофон преобразует звуки речи в аналоговый сигнал, передаваемый по абонентскому шлейфу к АТС. Если вызов адресован абоненту, находящемуся в зоне действия той же АТС, то коммутационная аппаратура просто замыкает абонентские шлейфы друг на друга, никак не вмешиваясь в процесс голосового обмена. Если же голос предстоит передавать дальше, то установленное на АТС оборудование оцифровывает его и передает полученную последовательность цифр по магистральным каналам связи. На противоположном конце АТС-адресат получает поток цифровых данных, восстанавливает по ним аналоговый голосовой сигнал и передает этот сигнал по абонентскому шлейфу на телефонный аппарат. Оцифровывать голос при передаче начали, в первую очередь, потому, что цифровой сигнал более устойчив к помехам и его использование позволяет повысить качество связи. Поскольку все преобразования из аналоговой формы в цифровую производятся на аппаратном уровне, они не приводят к ощутимым для абонента задержкам (суммарная задержка, связанная с оцифровкой и восстановлением, составляет около 125 мкс).

Методы цифровой передачи речи (кодирования речи) ведут свою историю от первых, еще аналоговых, вокодеров (VOIce CODer), схем распознавания речи с магнитного носителя и способов прямого аналого-цифрового преобразования (АЦП) непрерывного сигнала (рис. 2.5). Соответствующие устройства называют кодерами (при прямом преобразовании), декодерами (при обратном преобразовании) или кодеками [3]. В современных устройствах используются алгоритмы, рекомендованные Международным союзом электросвязи для конкретных скоростей передачи (стандарты кодирования речи), алгоритмы для кодеков стандартов сетей передачи (например, GSM и Inmarsat), национальные стандартизированные алгоритмы (в частности, стандарт США на скорость 4,8 кбит/с). Кроме того, кодеки могут разрабатываться по оригинальным специализированным алгоритмам.



Рис. 2.5. Преобразование и передача речевого аналогового сигнала

В международном стандарте G.711 был принят алгоритм оцифровки голоса под названием импульсно-кодовой модуляции (Pulse-Code Modulation — PCM). Оцифровка голосового сигнала включает измерение уровня аналогового сигнала через равные промежутки времени. В соответствии со стандартом G.711 принимается, что для узнаваемости голоса необходимо обеспечить передачу его частотных составляющих в диапазоне от 200 до 3 400 Гц. В стандарте также принимается, что оцифровка аналогового сигнала производится с восьмибитовым разрешением.

В процессе формирования импульсно-модулированного сигнала осуществляется дискретизация непрерывного (аналогового) сигнала во времени в соответствии с известной *теоремой отсчетов* Котельникова, которая гласит:

Если непрерывный сигнал $x(t)$ имеет спектр, ограниченный частотой $F_{\text{макс}}$, то он может быть однозначно и без потерь восстановлен по своим дискретным отсчетам, взятым с частотой $F_{\text{дискр}} = 2F_{\text{макс}}$.

Процедура дискретизации непрерывного сигнала во времени осуществляется в дискретизаторе с тактовой частотой $F_{\text{дискр}} = 1/T_{\text{дискр}}$, превышающей наивысшую частоту спектра сигнала вдвое. Частота дискретизации для телефонных сигналов выбрана 8 кГц.

Для обеспечения подавления спектральных компонентов сигнала с частотами большими половины частоты дискретизации на входе дискретизатора необходим фильтр нижних частот (ФНЧ), ограничивающий спектр сигнала некоторой частотой. Для телефонных сигналов необходимо использовать ФНЧ с частотой среза 3,4 кГц. Речевой сигнал пропускается через фильтр нижних частот. В результате дискретизации получается последовательность непрерывных величин $\{x(n)\}$.

Следующие процессы аналогово-цифрового преобразования осуществляются в квантователе¹. Каждый отсчет необходимо проквантовать до конечного множества значений, которое можно описать конечным множеством символов. При равномерном квантовании весь диапазон значений передаваемого сигнала $x(t)$ разбивают на N уровней квантования, отстоящих друг от друга на шаг квантования Δ так, что:

$$x_{\text{макс}}(t) - x_{\text{мин}}(t) < N - \Delta.$$

Процессы дискретизации и квантования показаны на рис. 2.6.

Квантование в цифровой телефонии неравномерное, 256-уровневое. Неравномерность квантования выражается в том, что шаг квантования (расстояние между соседними уровнями в единицах измерения характеристики аналогового сигнала, которая квантуется; в данном случае — напряжение сигнала в вольтах) для малых амплитуд выбирается минимальным, для средних — большим и для больших — самым большим. Это сделано для того, чтобы повысить точность передачи сигналов с низкой амплитудой.

Прямое аналого-цифровое преобразование является низкоэффективным (т. е. имеющим малую скорость кодирования при заданном качестве¹ высококачественным методом кодирования. Кодеки, построенные на базе данного метода, работают на скоростях не ниже

¹ Квантование — разбиение диапазона отсчётных значений сигнала на конечное число уровней и округление этих значений до одного из двух ближайших к ним уровней.

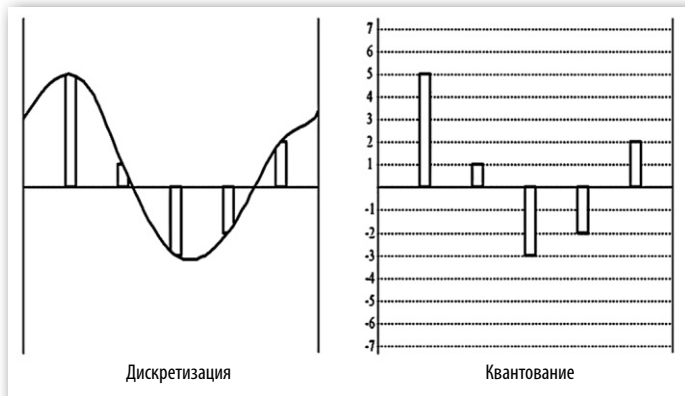


Рис. 2.6. Дискретизация и квантование аналогового сигнала

32 кбит/с. При этом полоса входного аналогового сигнала ограничена диапазоном 0,3...3,4 кГц. Для повышения качества преобразования полоса может быть расширена до 6 кГц, что соответствует скорости передачи 88 кбит/с при частоте дискретизации 12 кГц (при дальнейшем расширении полосы качество представления речи не повышается).

3. ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

3.1. Среда передачи данных

3.1.1. Проводная среда

С момента промышленного развития телеграфии и телефонии на открытых пространствах использовались воздушные линии передачи. В настоящее время они постепенно заменяются кабельной проводкой под землей в специальных кабельных каналах. В помещениях до последнего времени использовали плоский двухпроводный кабель, представляющий собой два параллельных медных провода в полихлорвиниловой изоляции (рис. 3.1).

Главными недостатками воздушных линий и плоского кабеля с точки зрения надежности линий связи является их низкая помехо-



Рис. 3.1 Плоский двухпроводный кабель

защищенность. Поэтому вместо них в большинстве сетей применяют три основные группы кабелей:

1. Коаксиальный кабель;
2. Витая пара (экранированная и неэкранированная);
3. Оптоволоконный кабель

Коаксиальный кабель. Простой коаксиальный кабель (рис.3.2) состоит из медной жилы 1, окружающей её изоляции 2, экрана в виде металлической оплётки 3 и внешней оболочки 4.

Могут применяться кабели с учетверённой экранизацией, которая состоит из двойного слоя фольги и двойного слоя металлической оплётки.

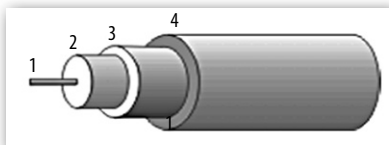


Рис. 3.2. Коаксиальный кабель

Жила изготавливается из меди и окружена диэлектрическим изоляционным слоем, который отделяет её от металлической оплётки. Оплётка играет роль «земли» и защищает жилу от электрических шумов (или перекрёстных помех). Перекрёстные помехи — это электрические наводки, вызванные сигналами в соседних проводах. Проводящая жила и металлическая оплётка не должны соприкасаться, иначе произойдёт короткое замыкание. Снаружи кабель покрыт непроводящим слоем из резины, тефлона или пластика. Коаксиальный кабель относительно помехоустойчив. Затухание в нём меньше, чем в витой паре. Затухание — это ослабление сигнала при его прохождении по кабелю.

Для коаксиального кабеля используют специальные коаксиальные разъёмы (по американской терминологии — BNC-коннекторы).

BNC-коннекторы либо припаиваются, либо обжимаются на концах кабеля. BNC-T-коннектор соединяет сетевой кабель с платой сетевого адаптера.

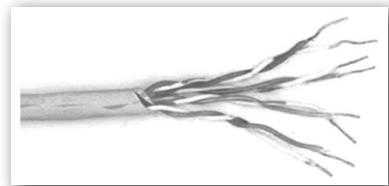


Рис. 3.3. Кабель витая пара

Витая пара. Простая неэкранированная витая пара — это два перевитых друг против друга изолированных медных провода (UTP — Unshielded twisted pair). Несколько витых пар часто помещают в одну защитную оболочку (рис. 3.3). Их

количество в кабеле может быть различно (1, 8, 16...). Завивка позволяет избавиться от электрических помех, наводимых соседними парами и другими внешними источниками (двигателями, трансформаторами, реле).

Кабель экранированной витой пары STP (Shielded twisted pair) имеет медную оплётку, которая обеспечивает более надёжную защиту от помех.

Для подключения витой пары к плате сетевого адаптера компьютера используется разъем RJ-45 (8P8C). Он имеет 8 контактов (рис.3.4) в отличие от телефонного разъема RJ-11 (4P4C) с четырьмя контактами, через который подключается модем.

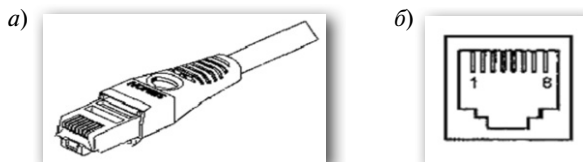


Рис. 3.4. Разъем RJ-45: а — вилка в колпачке; б — розетка

Кабель на основе неэкранированной витой пары, используемый для проводки внутри здания, разделяется в международных стандартах на категории (от 1 до 7).

Кабели категории 1 применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Обычно это кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 Кбит/с) передачи данных. До 1983 года это был основной тип кабеля для телефонной разводки.

Кабели категории 2 были впервые применены фирмой IBM при построении собственной кабельной системы. Главное требование к кабелям этой категории — способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц.

Кабели категории 3 были стандартизованы в 1991 году. Стандарт EIA-568 определил электрические характеристики кабелей для частот в диапазоне до 16 МГц. Кабели категории 3, предназначенные как для передачи данных, так и для передачи голоса, составляют сейчас основу многих кабельных систем зданий.

Кабели категории 4 представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3. Кабели категории 4 обязаны выдерживать тесты на частоте передачи сигнала 20 МГц и обеспечивать повышенную

помехоустойчивость и низкие потери сигнала. На практике используются редко.

Кабели категории 5 были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство высокоскоростных технологий (FDDI, Fast Ethernet, ATM и Gigabit Ethernet) ориентируются на использование витой пары категории 5. Кабель категории 5 пришел на замену кабелю категории 3, и сегодня все новые кабельные системы крупных зданий строятся именно на этом типе кабеля (в сочетании с оптоволоконными кабелями).

Особое место занимают кабели категорий 6 и 7, которые промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 250 МГц, а для кабелей категории 7 до 600 МГц. Кабели категории 7 обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом. Кабель категории 6 может быть, как экранированным, так и неэкранированным. Основное назначение этих кабелей — поддержка высокоскоростных протоколов на отрезках кабеля большей длины, чем кабель UTP категории 5.

Все кабели UTP независимо от их категории выпускаются в 4-парном исполнении. Каждая из четырех пар кабеля имеет определенный цвет и шаг скрутки. Обычно две пары предназначены для передачи данных, а две — для передачи голоса.

Оптоволоконный кабель (то же *волоконно-оптический*). В оптоволоконном кабеле цифровые данные распространяются по оптическим волокнам в виде модулированных световых импульсов. Оптоволоконные линии предназначены для передачи больших объёмов данных на очень высоких скоростях до нескольких десятков гигабит в секунду, т. к. сигналы в них практически не затухают и не искажаются.

Строение оптоволоконного кабеля показано на рис. 3.5. Оптоволоконно — это очень тонкий стеклянный цилиндр (1-А), называемый жилой. Он покрыт слоем стекла — оболочкой (2-А) с другим, чем у жилы коэффициентом преломления.

Иногда оптоволоконно делают из пластика. Пластик проще в монтаже, но передаёт световые импульсы на меньшее расстояние. Каждое оптоволоконно передаёт сигналы только в одном направлении, поэтому кабель состоит из двух волокон с самостоятельными разъёмами. Одно волокно служит для передачи, другое — для приёма. Жёсткость кабеля

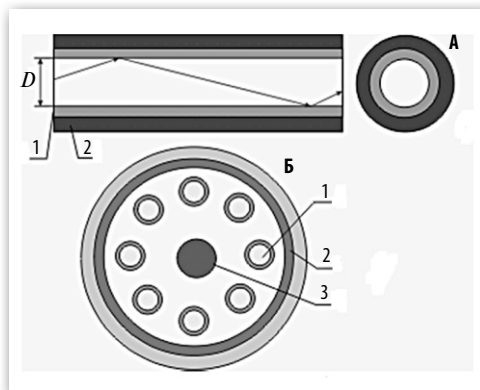


Рис. 3.5. Строение оптоволоконного кабеля:

А — жила в оболочке;

Б — многожильный кабель в разрезе

увеличивается покрытием из пластика (2-Б), а прочность — волокнами из кевлара (3-Б). Волокна кевлара располагаются между жилами (3-Б), заключёнными в пластик.

В зависимости от распределения показателя преломления и от величины D диаметра сердечника различают одномодовые и многомодовые волокна. В одномодовом кабеле используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света (от 5 до 10 микрон). При этом все лучи света распространяются вдоль оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Полоса пропускания для данного типа кабеля очень широкая (до сотен ГГц на километр). В многомодовых кабелях используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготавливать технологически. В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся под разными углами. Угол отражения называется модой луча. Многомодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания (от 500 до 800 МГц на километр). В качестве источников в одномодовых кабелях применяются только полупроводниковые лазеры, т. к. очень мал диаметр жилы. Для многомодовых используются более дешёвые светодиодные излучатели.

Для передачи информации используется свет следующих длин волн: 1,55; 1,3; 0,85 мкм. Использование только этих длин волн связано

с особенностью их амплитудно-частотных характеристик. Именно для этих длин волн наблюдаются ярко выраженные максимумы передачи мощности сигнала.

Стоимость оптоволоконных кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, но проведение монтажных работ с оптоволоконным кабелем обходится дороже из-за трудоёмкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного оборудования. В частности, присоединение оптоволоконного кабеля к разъёму требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения, например, путём сложной операции склеивания.

Для конкретных целей применения кабели выпускают в различном конструктивном исполнении. Например, для обеспечения механической прочности, нагревостойкости, морозостойкости, особых электрических свойств. Для прокладки магистральных линий связи кабели выполняют в виде многожильных пучков с повышенными свойствами защищённости в виде экранов, слоев изоляции и упрочняющих элементов.

Передача сигналов

Классификация каналов по способу передачи (рис. 3.6):

1. Симплексный канал передаёт трафик в одном направлении;
2. Полудуплексный канал — информация передаётся в двух направлениях попеременно;
3. Дуплексный (полнодуплексный) — информация передаётся в обе стороны одновременно.

Для передачи по кабелю кодированных сигналов используют две технологии — немодулированную передачу и модулированную.

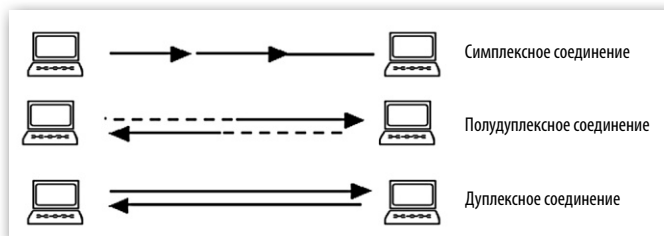


Рис. 3.6. Различные способы передачи

Немодулированная система передаёт данные в виде цифровых сигналов. Сигналы представляют собой дискретные, световые или электрические импульсы. При таком способе цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания — это разница, между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Продвигаясь по кабелю, сигнал постепенно затухает и как следствие искажается. Чтобы избежать искажения в немодулированных системах используются повторители.

Модулированные системы передают данные в виде аналогового сигнала, использующего некоторую полосу частот. Аналоговые сигналы кодируются (модулируются) электромагнитной или световой волной (несущей).

Модуляция — это изменение какого-либо параметра сигнала в канале связи (модулируемого сигнала) в соответствии с текущими значениями передаваемых данных (модулирующего сигнала).

Демодуляция — это обратное преобразование модулированного сигнала (возможно, искаженного помехами при прохождении в канале связи) в модулирующий сигнал.

Существует три вида модуляции — амплитудная (АМ), частотная (ЧМ), фазовая (ФМ) (рис. 3.7) и их комбинации. На приемной стороне происходит демодуляция (удаление несущей и формирование дискретных импульсов).

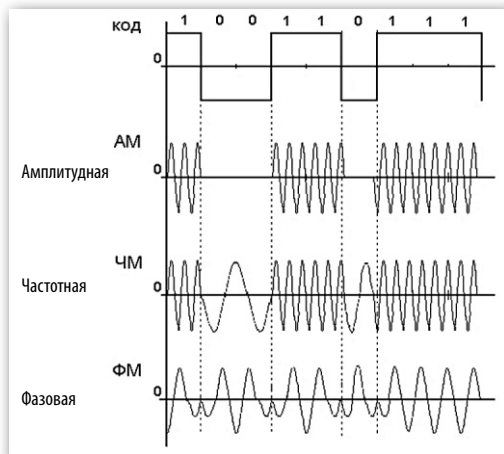


Рис. 3.7. Виды модуляции

Если полоса пропускания достаточна, то по одному кабелю могут одновременно передавать сигналы несколько информационных систем. Например, трансляция кабельного телевидения и передача данных. Каждой системе выделяется часть полосы пропускания. Все устройства, связанные с данной системой должны быть настроены на работу именно с выделенной частью полосы пропускания. Для устранения затухания в модулированных системах используют усилители. При модулированной передаче устройства имеют отдельные каналы приема и передачи сигналов. Поэтому здесь возможны два пути решения: разбить полосу пропускания на два канала, использующих разные полосы частот (одна — для приема, вторая — для передачи) либо использовать два кабеля. Устройство, используемое для приема и передачи сигнала, называется модем.

Модем (МОдулятор-ДЕМОдулятор) — устройство прямого (модулятор) и обратного (демодулятор) преобразования сигналов к виду, принятому для использования в определенном канале связи.

Различают аналоговые и цифровые модемы.

Аналоговые модемы. Эти модемы до недавнего времени были самыми распространенными. Первоначально аналоговый модем был предназначен для выполнения следующих функций:

- при передаче для преобразования широкополосных импульсов (цифрового кода) в узкополосные аналоговые сигналы;
- при приеме для фильтрации принятого сигнала от помех и детектирования, то есть обратного преобразования узкополосного аналогового сигнала в цифровой код.

В современных модемах встречаются чаще всего три вида модуляции:

- частотная (Frequency Shift Keying, FSK);
- фазовая (Phase Shift Keying, PSK);
- квадратурная амплитудная (Quadrature Amplitude Modulation, QAM).

При частотной модуляции в соответствии с текущими значениями модулирующего сигнала (передаваемых данных) изменяется частота физического сигнала (обычно синусоидального) при неизменной его амплитуде. В простейшем случае значениям первого и нулевого битов данных соответствуют два значения частот, например, 980 Гц и 1180 Гц, как было принято в одном из первых протоколов V.21 передачи данных. Частотная модуляция весьма помехоустойчива, так как при передаче искажается обычно лишь амплитуда сигнала.

Модемы для цифровых каналов связи. Развивающиеся цифровые технологии передачи данных, обеспечивающие значительно большие скорости передачи и качество связи, предоставляющие пользователям существенно лучший сервис, требуют использования модемов иного класса — цифровых. Цифровые модемы более правильно называть сетевыми адаптерами, поскольку о классической модуляции-демодуляции сигналов в них речи не идет — входной и выходной сигналы такого модема являются импульсными. Для цифровых модемов общепринятых стандартов работы вообще, и стандартов скорости в частности, пока не разработано.

Цифровые модемы выпускаются для работы в конкретных цифровых технологиях: ISDN, HDSL, ADSL, SDSL и т. д. Так, например, модемы для работы в ISDN бывают как внутренними, так и внешними. Внутренние модемы интегрируются на материнскую плату или могут использовать PCI-слоты на материнской плате. Они обеспечивают максимальную скорость 128 Кбит/с. Внешние модемы подключаются к компьютеру по последовательной шине USB и скорость передачи у них ограничивается величиной 115,2 Кбит/с. Выпускались комбинированные модемы для работы как по цифровым каналам ISDN, так и по аналоговым каналам (например, модем Courier-1 компании 3Com).

Модемы для работы в сетях xDSL имеют большие скорости, так, ADSL-модемы обеспечивают скорости до 24 Мбит/с при приеме информации и до 1,5 Мбит/с при передаче (стандарт RE-ADSL2+). Модемы VDSL способны принимать трафик со скоростью 10–50 Мбит/с и передавать со скоростью до 8 Мбит/с. Максимальная скорость линии зависит от ряда факторов, таких как длина линии, сечение и удельное сопротивление кабеля. Поэтому при работе на больших расстояниях скорость существенно уменьшается.

Выпускаются также:

- кабельные модемы для работы с сетями через коммуникации кабельного телевидения, например. Они обеспечивают скорости передачи данных в среднем до 10 Мбит/с, но сверхскоростной модем UBR 904 компании Cisco позволяет принимать данные со скоростью до 36 Мбит/с и передавать со скоростью до 2 Мбит/с;
- сотовые модемы для работы в системе сотовой телефонной связи. Это обычно PCMCIA-модемы для работы в стандартах

GSM, CDMA, NMT, NAMPS и т. д. Первые два стандарта являются цифровыми, а последние — аналоговыми;

- оптоволоконные модемы для работы по волоконно-оптическим каналам связи по протоколам FDDI;
- спутниковые радиомодемы для приема данных через спутник: прием информации осуществляется через спутниковую антенну со скоростями до 400 Кбит/с, а передача возможна только при наличии громоздкого дорогостоящего оборудования. Поэтому обычно для передачи данных используются проводные каналы связи и дополнительный соответствующий модем;
- силовые модемы для работы в сетях через систему электропитания компьютеров.

3.1.2. Беспроводная среда

Для передачи сообщений пригодны не только проводные каналы связи в виде воздушных линий, кабелей и др., но и радиоканалы.

В соответствии с Международным регламентом радиосвязи, все радиоволны разделены на *девять* диапазонов с номерами от четвертого до двенадцатого. Эти области радиочастот разделены границами $(0,3...3,0) \cdot 10^N$ Гц, где N — номер диапазона (таблица 3.1).

Соотношение длины волны λ , фазовой скорости v , периода волны T и частоты ν определяется формулой:

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} = \frac{2\pi v}{\omega}.$$

Таблица 3.1

Диапазоны радиоволн

Номер диапазона	Диапазон длин волн		Диапазон частот	
	Наименование	Границы	Наименование	Границы
4	Мириаметровые или сверхдлинные волны (СДВ)	10..100 км	Очень низкие частоты (ОНЧ), (VLF)	3..30 кГц
5	Километровые или длинные волны (ДВ), (RW)	1..10 км	Низкие частоты (НЧ), (LF)	30..300 кГц
6	Гектометровые или средние волны (СВ), (MW)	100..1000 м	Средние частоты (СЧ), (MW)	300..3000 кГц
7	Декаметровые или короткие волны (КВ), (SW)	10..100 м	Высокие частоты (ВЧ), (HF)	3..30 МГц

Номер диапазона	Диапазон длин волн		Диапазон частот	
	Наименование	Границы	Наименование	Границы
8	Метровые или ультракороткие (УКВ), (USW)	1..10 м	Очень высокие частоты (ОВЧ), (VHF)	30..300 МГц
9	Дециметровые волны (ДМВ)	10..100 см	Ультравысокие частоты (УВЧ), (UHF)	300..3000 МГц
10	Сантиметровые волны	1..10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ), (SHF)	3..30 ГГц
11	Миллиметровые волны	1..10 мм	Крайне высокие частоты (КВЧ), (EHF)	30..300 ГГц
12	Децимиллиметровые волны	0,1..1 мм	Гипервысокие частоты (ГВЧ), (GHF)	300..3000 ГГц (0,3..3 ТГц)

В зависимости от диапазона радиоволны имеют свои особенности и законы распространения:

Сверхдлинные волны: радиоволны с длиной волны свыше 10 км. Они легко огибают Землю, слабо поглощаются земной поверхностью, хорошо отражаются от ионосферы. До спутниковых систем связи дальняя радиосвязь с погруженными подводными лодками осуществляется главным образом в сверхдлинноволновом диапазоне и в звене «берег — подводная лодка». Сверхдлинные радиоволны имеют два решающих преимущества — они, во-первых, способны проникать вглубь морской воды и, во-вторых, могут распространяться на очень большие расстояния, не будучи при этом чувствительными к ионосферным возмущениям, вызванным последствием солнечной активностью или ядерным взрывом.

Длинные (километровые) волны: диапазон радиоволн с частотой от 30 кГц (длина волны 10 км) до 300 кГц (длина волны 1 км). Распространяются на расстояния до 1–2 тысяч км за счёт дифракции на сферической поверхности Земли. Затем их распространение происходит за счёт направляющего действия сферического волновода, не отражаясь. Они сильно поглощаются ионосферой. Их интенсивность по мере удаления от передатчика уменьшается сравнительно быстро. Диапазон используется для радиовещания (148,5–283,5 кГц), для радиотелеграфной связи, радионавигационных служб и для связи с подводными лодками (9–148,5 кГц).

Средние волны сильно поглощаются ионосферой днём, и район действия определяется приземной волной, вечером хорошо отражаются от ионосферы и район действия определяется отражённой волной.

Короткие волны распространяются исключительно посредством отражения ионосферой, поэтому вокруг передатчика существует т. н. зона радиомолчания. Днём лучше распространяются более короткие волны (30 МГц), ночью — более длинные (3 МГц). Короткие волны могут распространяться на большие расстояния при малой мощности передатчика.

УКВ распространяются прямолинейно и, как правило, не отражаются ионосферой, однако при определённых условиях способны огибать земной шар из-за разности плотностей воздуха в разных слоях атмосферы. Легко огибают препятствия и имеют высокую проникающую способность.

Дециметровые волны (ВЧ) не огибают препятствия, распространяются в пределах прямой видимости. Используются в WiFi, сотовой связи и т. д.

Сантиметровые и миллиметровые волны (КВЧ) не огибают препятствия, отражаются большинством препятствий, распространяются в пределах прямой видимости. Используются для спутниковой связи.

Децимиллиметровые волны (гипервысокие частоты) не огибают препятствия, отражаются подобно свету, распространяются в пределах прямой видимости. Использование ограничено.

В практике радиовещания и телевидения используется упрощённая классификация радиодиапазонов: сверхдлинные волны (СДВ); длинные волны (ДВ); средние волны (СВ); короткие волны (КВ); ультракороткие волны (УКВ).

Условия распространения радиоволн и замирания

Электромагнитные волны, излучаемые антенной, частично распространяются вдоль земной поверхности (поверхностная волна), но могут достигать и места приема за счет преломления или отражения от слоев ионосферы или отражения от поверхности Земли (пространственные волны). Иными словами, эти волны могут достигать места приема по одному или нескольким путям (лучам) различной длины, как показано на рисунке 3.8.

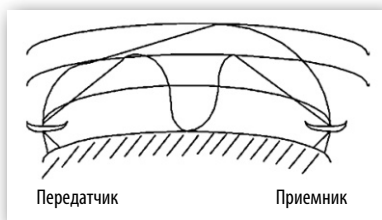


Рис. 3.8. Распространение радиоволн

Вследствие многолучевого распространения в месте приема может возникнуть интерференция волн вплоть до полного подавления, принимаемого сигнала. Поскольку высота каждого из отражающих слоев ионосферы постоянно изменяется, то явление интерференции подвержено еще и временным флуктуациям.

Возникающие при интерференции *замирания* в месте приема проявляются в более или менее сильных колебаниях уровня сигнала. Под *длительностью замирания* понимают время, в течение которого амплитуда принимаемого сигнала не превышает определенного значения, называемого *уровнем замираний* и задаваемого обычно по отношению к среднему уровню приема.

Действие помех, вызванных замираниями, при передаче данных можно ослабить если осуществлять прием одного и того же сообщения по двум или нескольким каналам, т. е. по нескольким ветвям разнесения. Этот способ называют *разнесенным приемом*. Для этого на приеме можно установить, например, две удаленные (разнесенные) друг от друга антенны. При таком виде разнесения используется тот факт, что помехи, обусловленные селективными замираниями, появляются на двух разнесенных друг от друга антеннах не одновременно, так что по крайней мере одной из них будет принят нормальный без замирания сигнал. Это метод пространственного разнесения. Также можно передавать одно и то же сообщение по двум каналам на разных частотах. Это метод разнесения по частоте.

На приеме, при обработке сигналов, поступившим по разным ветвям разнесения, обычно производится сравнение уровней приема в этих ветвях. Если амплитуды сигналов различаются не очень существенно, например, не более 7 дБ, то полученные после демодуляции напряжения суммируются. Такое суммирование позволяет повысить отношение сигнал/шум, т. к. полезные составляющие, содержащиеся в сигналах отдельных ветвей между собой коррелированы, а наложенный на них шум, не коррелирован. При различии уровней в ветвях более 7 дБ, ветвь с самым слабым сигналом не используется, поскольку снимаемый с нее сигнал не улучшил бы отношение сигнал/шум.

Эффективность рассмотренных способов борьбы с замираниями может быть весьма низкой если ощущается сильное воздействие других типов помех (промышленные и т. д.). В этом случае для повышения верности приема данных наряду с методами разнесения применяются методы помехоустойчивого кодирования.

Радиорелейные линии (РРЛ) являются одним из видов средств связи прямой видимости, которые используют для передачи многоканальных телефонных сообщений, радиовещания, телевидения, телеграфных и др. сигналов. Все виды сообщений передаются по РРЛ на большие расстояния с высоким качеством и большой надежностью.

Одним из важных условий, которое необходимо соблюдать при выборе трассы РРЛ, является условие «зигзагообразности», т. к. нельзя четыре станции подряд размещать на одной прямой линии. Это позволяет исключить помехи от станций через три-пять пролетов, т. к. при существующих частотных планах РРЛ на каждой четвертой станции частота приема совпадает с частотой первой станции. Схема трассы типовой РРЛ показана на рисунке 3.9.

При зигзагообразном расположении РРС ослабление мешающего сигнала достигается за счет направленного действия антенн. При этом угол между направлением на соседнюю станцию и направлением на станцию, отстоящую на три пролета, становится больше ширины диаграммы направленности антенны. Там, где из-за особенностей рельефа местности нельзя осуществлять зигзагообразное расположение РРС применяют специальные частотные планы распределения радиоволн по РРС, исключающие совпадение частот первой и четвертой РРС.

Применительно к радиорелейным линиям связи можно добавить, что использование цифровых способов передачи радиосигналов позволяет практически исключить накопление искажений за счет на-

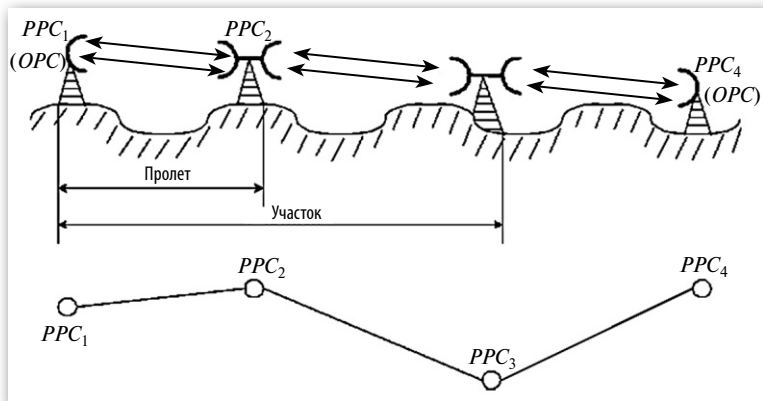


Рис. 3.9. Схема радиорелейной линии

личия ретрансляционных РРС и резко повысить качество передачи при наличии замираний на пролетах РРЛ. Пропускная способность современных РРЛ достигает нескольких гигабит, а высокая цена оправдывает себя длительным сроком службы оборудования: большинство моделей ведущих вендоров радиорелейных станций рассчитано на несколько десятков лет службы (20–30 лет), в том числе в суровых климатических условиях и там, где прокладка оптоволоконного кабеля затруднена из-за рельефа местности.

Спутниковая связь используется для организации высокоскоростных микроволновых протяженных линий. Так как для таких линий связи нужна прямая видимость, которую из-за кривизны Земли невозможно обеспечить на больших расстояниях, то спутник как отражатель сигнала является естественным решением этой проблемы (рис. 3.10).

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 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.

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

В зависимости от способа ретрансляции передаваемого сигнала спутниковые системы радиосвязи подразделяются на:

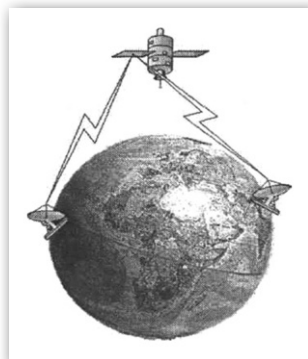


Рис. 3.10. Спутник, как отражатель сигнала

- системы с пассивной ретрансляцией, в которых ИСЗ используется как объект отражающий электромагнитные колебания без их усиления или преобразования;
- системы с активной ретрансляцией, в которых на борту ИСЗ при помощи специальной аппаратуры производится прием, усиление и ретрансляция сигнала.

В свою очередь системы с активной ретрансляцией в зависимости от высоты орбиты и расстояния между корреспондентами могут быть выполнены как системы с немедленной ретрансляцией, которые работают в реальном масштабе времени (корреспонденты находятся в зоне видимости ИСЗ); системы с задержанной ретрансляцией, которые предполагают накопление информации в специальном запоминающем устройстве на борту ИСЗ при пролете над одним из корреспондентов и спустя некоторое время ее ретрансляцию, при пролете над другим корреспондентом.

Задержанная ретрансляция позволяет осуществить дальнюю симплексную связь через ИСЗ. К ее достоинствам относится то, что: пункты приема и передачи могут не находиться одновременно в зоне видимости ИСЗ; возможность передачи информации отдельным корреспондентам при пролете ИСЗ на низких орбитах и, как следствие, скрытность передачи; меньшая энергетика системы в целом.

Исторически первым использовался спутниковый частотный диапазон С (3400—4200 МГц), 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 (950—2150 МГц) и S (2100 МГц) предназначаются для организации мобильных услуг с помощью спутников. Они также часто используются наземными системами [4].

Сегодня используется три группы орбит, отличающихся высотой над Землей (рис. 3.11):

- геостационарная орбита (Geostationary Orbit, GEO) — 35 863 км;
- средневысотная орбита (Medium Earth Orbit, MEO) — 5000—15000 км;
- маловысотная орбита (Low Earth Orbit, LEO) — 100—1000 км.

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

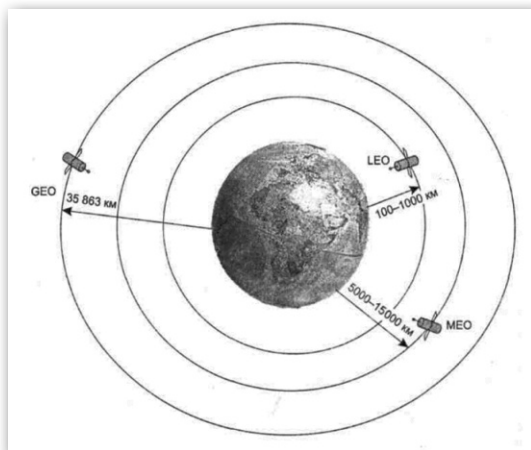


Рис. 3.11. Типы орбит спутников

Во - п е р в ы х, 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.

Во - в т о р ы х, сам спутник неподвижен для наземных антенн, что значительно облегчает организацию связи.

В - т р е т ь и х, 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 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 высоки потери сигнала, что означает необходимость использования мощных передатчиков и тарелок больших размеров (это не относится к антеннам VSAT, но при их использовании уменьшается область охвата).

Принципиальным недостатком геостационарного спутника с его круговой орбитой является также плохая связь для районов, близких к Северному и Южному полюсам. Сигналы 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. Примером такого спутника являются спутники серии «Молния», которые запускаются Россией, имеющей большие территории на Крайнем Севере.

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

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). GPS — это всеобщая система определения текущих координат пользователя на поверхности Земли или в околоземном пространстве. GPS состоит из 24 спутников, сети наземных станций слежения за ними и неограниченного количества пользовательских приемников-вычислителей. По радиосигналам спутников GPS-приемники пользователей устойчиво и точно определяют координаты. Погрешности не превышают десятков метров. Этого вполне достаточно для решения

задач навигации подвижных объектов (самолеты, корабли, космические аппараты, автомобили и т. д.).

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 вокруг Земли такого спутника составляет 1,5–2 часа, и время видимости спутника наземной станцией составляет 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.

3.2. Принципы передачи сообщений

При увеличении числа источников сигнала по ряду причин, в том числе и экономического характера, всегда стремятся передать как можно больше сигналов от разных источников по одной линии передачи. Передача сигналов от различных источников по одной линии называется разделением каналов.

Каналы, отличающиеся по виду или составу передаваемой информации, называют логическими. Примеры логических каналов — каналы трафика и каналы управления.

Канал управления — тот, по которому передаются сигналы, управляющие процессом передачи (сигналы синхронизации).

Канал трафика — это логический канал передачи той информации, ради которой создана система связи, т. е. передачи речи, музыки, изображений, данных и т. п.

Операция разделения каналов основана на присвоении каждому передаваемому сигналу индивидуального признака, разных значений некоторого существенного для передачи параметра (или параметров).

Известны различные способы разделения каналов [5]. Один из них состоит в том, что спектры передаваемых сигналов с помощью операции транспонирования спектра (преобразования частоты) перемещают по оси частот таким образом, чтобы они не пересекались. Например,

пусть есть конечное множество телефонных сигналов, каждый из которых занимает полосу частот от 300 Гц до 3400 Гц. Тогда станция коммутации на передающей стороне системы передачи формирует сигналы, состоящие из гармонических колебаний, находящихся в диапазонах [300 Гц ... 3400 Гц], [4300 Гц ... 7400 Гц], [8300 Гц ... 11400 Гц], ... и т. д.

Спектры этих сигналов показаны на рис. 3.12.

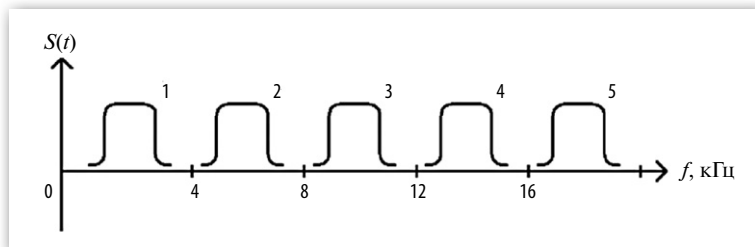


Рис. 3.12. Частотное разделение каналов

Как доказано в теории связи, сигналы с непересекающимися спектрами не оказывают влияние друг на друга и распространяются независимо. На приёмном конце станция коммутации разделяет сигналы с разными спектрами на разные выходы и переносит на этих выходах спектры сигналов «обратно» в область частот 300 Гц ... 3400 Гц.

Рассмотренный выше способ называют *частотным разделением каналов* — ЧРК (англ. Frequency Division Multiple Access, FDMA). Образующиеся при ЧРК каналы называют частотными.

Систему передачи с ЧРК широко применяют в настоящее время. По ним передают аналоговые сигналы. Поэтому, системы с ЧРК также называют аналоговыми. Они просты в эксплуатации, достаточно надёжны, обеспечивают хорошее качество передачи сигналов и необходимую дальность связи. Однако, у них есть крупный недостаток — низкая помехозащищённость, которая тем хуже, чем больше длина линии передачи.

От этого недостатка свободен способ *временного разделения каналов* — ВРК (англ. Time Division Multiple Access, TDMA).

В основу метода ВРК положен принцип поочерёдной поэлементной передачи нескольких сигналов по одной линии связи. Сначала по линии передаются первые элементы первого сигнала, затем второго и так до последнего n -го сигнала. Далее передаются вторые элементы

снова от первого до n -го сигнала. Подобная операция повторяется цикл за циклом до тех пор, пока не будут переданы последние элементы (значения) всех n сигналов. В итоге получается, что каждый сигнал передаётся в строго определённые интервалы времени. Тогда в системе передачи образуется n временных каналов, называемых ещё физическими каналами. Результат временного разделения каналов показан рис. 3.13.

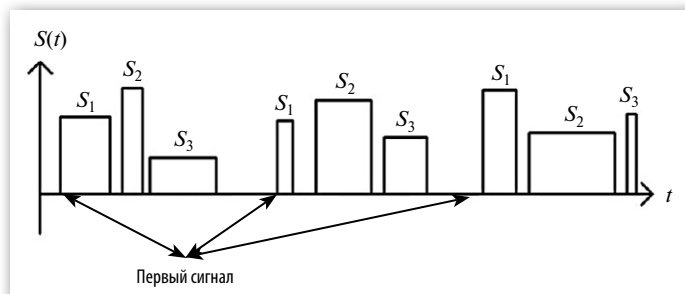


Рис. 3.13. Временное разделение каналов

Как видно из диаграммы рис. 3.13, при ВРК все сигналы должны быть дискретными и, в частности, цифровыми. Поэтому современные системы передачи с ВРК относят к цифровым системам передачи. Принцип временного разделения каналов можно пояснить схемой рис. 3.14.

Как видно из схемы рис. 3.14, сигналы от трёх телефонных аппаратов поступают последовательно на другие три аппарата с помощью двух синхронно и синфазно управляемых переключателей, находящихся на станции коммутации.



Рис. 3.14. Принцип временного разделения каналов

При реализации системы с ВРК нужно предусмотреть специальные каналы, по которым необходимо передавать сигналы, обеспечивающие синхронную и синфазную работу ключей на станциях коммутации, т. е. передавать дополнительную служебную информацию для обеспечения работы системы связи.

Сравнительно недавно при организации многоканальных систем передачи стал применяться способ *кодowego разделения каналов* — КРК (англ. Code Division Multiple Access, CDMA).

При кодовой модуляции применяется техника расширения спектра с множественным доступом. Она позволяет увеличить пропускную способность при неизменной мощности сигнала. Передаваемые данные комбинируются с более быстрым шумоподобным псевдослучайным сигналом (рис. 3.15) с использованием операции побитового взаимоисключающего ИЛИ (XOR).

Сигнал данных с длительностью импульса T_b комбинируется при помощи операции XOR с кодом сигнала, длительность импульса которого равна T_c . Ширина полосы пропускания сигнала с данными равна $1/T_b$ и ширина полосы пропускания получаемого сигнала равна $1/T_c$. Так как T_c много меньше T_b , ширина полосы частот получаемого сигнала намного больше, чем ширина полосы частот оригинального сигнала передаваемых данных. Величина T_b/T_c называется базой сигнала и, в какой-то мере, определяет верхний предел числа пользователей, поддерживаемых базовой станцией одновременно.

В сотовых телефонах стандарта CDMA для целей КРК применяют так называемые функции Уолша (Walsh). При этом образуются кодовые каналы.

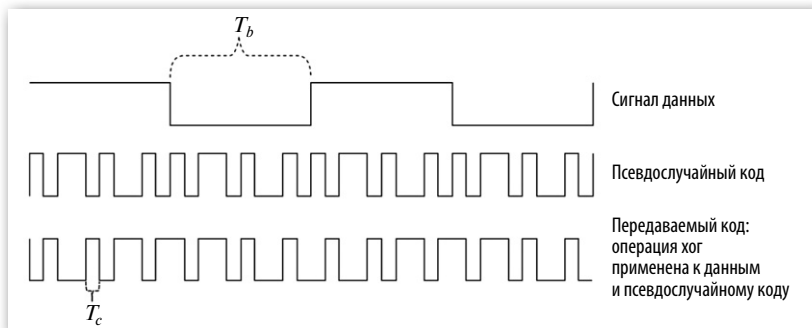


Рис. 3.15. Генерация передаваемого кода

Преимущества систем передачи с КРК:

- высокая спектральная эффективность. Кодовое разделение позволяет обслуживать больше абонентов на той же полосе частот, чем другие виды разделения (ВРК, ЧРК);
- гибкое распределение ресурсов. При кодовом разделении нет строгого ограничения на число каналов. С увеличением числа абонентов постепенно возрастает вероятность ошибок декодирования, что ведёт к снижению качества канала, но не к отказу обслуживания;
- более высокая защищённость каналов. Выделить нужный канал без знания его кода весьма трудно. Вся полоса частот равномерно заполнена шумоподобным сигналом;
- телефоны CDMA имеют меньшую пиковую мощность излучения и потому, возможно, менее вредны.

3.3. Технологии построения первичной сети

Современная первичная сеть строится на основе технологии цифровой передачи и использует в качестве сред передачи электрический и оптический кабели и радиоэфир и может строиться на основе трех технологий: PDH, SDH и ATM [6].

Технология PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, плезиохронная цифровая иерархия) цифровой метод передачи данных и голоса, основанный на временном разделении канала и технологии представления сигнала с помощью импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) была разработана в конце 60-х годов компанией AT&T для решения проблемы связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой.

Отсутствие полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в высокоскоростные и дало название технологии PDH («плезиохронный» означает «почти синхронный»). Иерархия скоростей передачи голоса и данных достигалась созданием систем Т-каналов (на основе мультиплексоров Т-1). К настоящему времени не используется в силу, в первую очередь, низкой скорости передачи данных.

Недостатки PDH, а также ряд других факторов привели к разработке в США ещё одной иерархии — иерархии синхронной оптической сети SONET, а в Европе аналогичной синхронной цифровой иерархии, предложенными для использования на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС).

Синхронная цифровая иерархия SDH (Synchronous Digital Hierarchy) была задумана как скоростная информационная среда передачи для транспортирования цифровых потоков с разными скоростями. В этой иерархии объединяются и разъединяются потоки со скоростями 155,52 Мбит/с и выше. Поскольку способ объединения был выбран синхронный, то данная иерархия получила название синхронной цифровой иерархии.

Основные принципы SDH:

1. Временное разделение каналов (ВРК).
2. SDH работает с гораздо большими скоростями передачи информации: 155,52 Мбит/с, 622,08 Мбит/с и т. д.
3. Синхронная цифровая иерархия включает в себя все предыдущие транспортные протоколы — это PDH, ISDN, ATM.
4. Контейнерный способ упаковки данных.

Для передачи цифрового потока создается синхронный транспортный модуль (Synchronous Transport Module) STM-1 (рис. 3.16). В сети SDH применены принципы контейнерных перевозок. Подлежащие транспортировке сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах (Container). Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания, чем и достигается прозрачность сети SDH, т. е. способность транспортировать различные сигналы, в частности сигналы PDH.

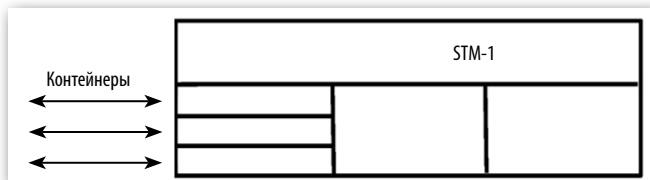


Рис. 3.16. Синхронный транспортный модуль

Чтобы создать более мощные цифровые потоки, в SDH-системах формируется следующая цифровая иерархия: четыре модуля STM-1 объединяются путем побайтового мультиплексирования в модуль STM-4, передаваемый со скоростью 622,080 Мбит/с; затем четыре модуля STM-4 объединяются в модуль STM-16 со скоростью передачи 2488,320 Мбит/с; четыре модуля STM-16 могут быть объединены в высокоскоростной модуль STM-64 (9953,280 Мбит/с) (таблица 3.2).

Таблица 3.2

Скорости передач иерархии SDH

Уровень SDH.	Скорость передачи, Мбит/с
STM-1	155,520
STM-4	622,080
STM-8	1244,160
STM-12	1866,240
STM-16	2487,320

Иерархии PDH и SDH взаимодействуют через процедуры мультиплексирования и демультимплексирования потоков PDH в системы SDH.

Технология АТМ (asynchronous transfer mode — асинхронный способ передачи данных) — сетевая высокопроизводительная технология коммутации и мультиплексирования, предоставляющая каналы с пропускной способностью 150,52 и 622,08 Мбит/с. Эти каналы, пригодные как для соединения локальных сетей, так и непосредственно для построения скоростных локальных вычислительных сетей (ЛВС), могут обеспечить любые современные телекоммуникационные услуги. Предусмотрен стандарт и на скорость передачи 2,48832 Гбит/с. Как технология построения первичной сети отличается от технологий PDH и SDH тем, что охватывает не только уровень первичной сети, но и технологию вторичных сетей, в частности, сетей передачи данных и широкополосной ISDN (B-ISDN). В результате при рассмотрении технологии АТМ трудно отделить ее часть, относящуюся к технологии первичной сети, от части, тесно связанной со вторичными сетями.

Технология использует асинхронное мультиплексирование с временным разделением и кодирует данные в небольшие пакеты фиксированного размера (кадры ISO-OSI), называемые ячейками. «Асинхронный» означает, что тактовые генераторы передатчика и приемника не синхронизированы, а ячейки передаются и мультиплексируются по запросам. Асинхронная передача не упорядочивает ячейки по каналам при пересылке и обеспечивает связь в сети без изменения формата ячеек. Поэтому АТМ является универсальным решением для ЛВС и телекоммуникаций.

Сети АТМ состоят из коммутаторов, соединенных транковыми каналами АТМ. Краевые коммутаторы, к которым подключаются

пользовательские устройства, обеспечивают функции адаптации, если ATM не используется до пользовательских станций. Данные функции восстанавливают из ячеек исходный поток данных и передают его устройству-получателю (рис. 3.17):

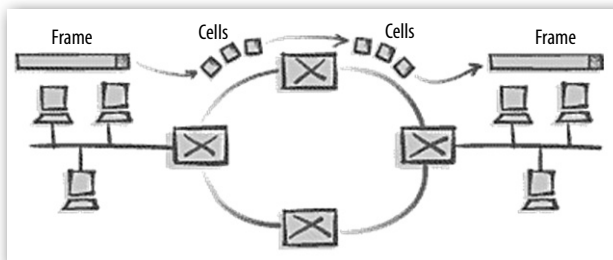


Рис. 3.17. Адаптация ATM

Другие коммутаторы в центре сети обеспечивают перенос ячеек, разделение каналов и распределение потоков данных.

Поскольку приходящие из разных источников ячейки могут содержать разные виды трафика, требуется обеспечить независимый контроль для передачи всех типов. Для этого используется концепция виртуальных устройств.

Виртуальным устройством называется связанный набор сетевых ресурсов, который выглядит как реальное соединение между пользователями, но на самом деле является частью разделяемого множеством пользователей оборудования. Для эффективной связи пользователей с сетями ATM виртуальные устройства включают пользовательское оборудование, средства доступа в сеть и сеть ATM.

Ячейка ATM имеет размер 53 байта, пять из них — заголовок, оставшиеся 48 — информация. Заголовок пакета предназначен для того, чтобы определить принадлежит ли данный пакет определенному виртуальному каналу. Если происходит ошибка в поле идентификатора виртуального пути или виртуального канала, то коммутатор может отправить ячейку другому получателю. Передача данных в коротких ячейках позволяет ATM эффективно управлять потоками информации и обеспечивает приоритизацию трафика.

В заголовке ATM виртуальный канал обозначается комбинацией двух полей — VPI (идентификатор виртуального пути) и VCI (идентификатор виртуального канала). Виртуальный путь применяется, когда

два пользователя АТМ имеют собственные коммутаторы на каждом конце пути и могут организовывать и поддерживать виртуальные соединения.

Виртуальные устройства могут быть «выделенными» или «коммутируемыми». Выделенные соединения — это постоянные виртуальные устройства (PVC), создаваемые по соглашению между пользователем и оператором (телефонная линия). Коммутируемые виртуальные устройства (SVC) устанавливаются путем передачи специальных сигналов между пользователем и сетью.

Виртуальные устройства АТМ поддерживаются за счет мультиплексирования трафика, что снижает расходы на организацию и поддержку магистральных сетей. Если в одном из виртуальных устройств уровень трафика невысок, другое устройство может использовать часть свободных возможностей. За счет этого обеспечивается высокий уровень эффективности использования пропускной способности АТМ.

Технологию АТМ можно эффективно использовать в ЛВС. Преимущества:

- позволяет пользователям организовать каналы доступа с полосой 25 Мбит/с для работы с серверами (избавляет от задержек);
- в локальных сетях позволяет обойтись одной кабельной системой и одним адаптером в компьютере, что приводит к значительному снижению расходов;
- высокая скорость доступа за приемлемую цену;
- возможность организации компактных магистралей на базе АТМ;
- повышает эффективность использования сетевых ресурсов.

В свое время сети АТМ обладали наивысшим быстродействием, что стимулировало адаптацию этого протокола для локальных сетей. И такая модификация (LANE) была разработана. LANE осуществляет взаимодействие соединенных посредством АТМ оконечных станций для сегментов ЛВС. LANE не оказывает воздействия на работу сети АТМ и не требует никаких специальных модификаций протокола. После внедрения высокоскоростных технологий Ethernet область использования техники LANE сместилась в область WAN. LANE работает как система «клиент-сервер», ее основная задача — установление соответствия между адресами MAC и АТМ.

3.4. Основные понятия теории телетрафика

Научной основой измерения и прогнозирования качества работы телекоммуникационной сети является теория телетрафика, которая выросла на почве традиционной телефонии и унаследовала из нее свое название. Телетрафик — это понятие, которое может быть определено как движение сообщений (информационных потоков). Теория телетрафика — это научная дисциплина о закономерностях и количественном описании процессов движения этих сообщений в сетях и системах.

Основоположником теории телетрафика, из которой 'выросла теория массового обслуживания, является датский ученый А. К. Эрланг (1878—1929 гг.) — сотрудник Копенгагенской телефонной компании.

Предметом теории телетрафика является количественная, сторона процессов обслуживания потоков сообщений в системах распределения информации [7].

Системой распределения информации могут быть совокупность коммутационных приборов, часть или весь коммутационный узел либо сеть связи, которые обслуживают по определенному алгоритму телефонные, телеграфные и другие сообщения.

Основная цель теории телетрафика заключается в разработке методов оценки качества функционирования систем распределения информации. В соответствии с этим на первом месте в теории телетрафика стоят задачи *анализа*, т. е. отыскание зависимостей и значений величин, характеризующих качество обслуживания, от характеристик и параметров входящего потока вызовов, схемы и дисциплины обслуживания. Эти задачи в начальный период развития телефонной техники были более актуальными, чем задачи *синтеза*, и решались, как правило, с помощью теории вероятностей.

Развитие координатной и особенно квазиэлектронной и электронной коммутационной техники поставило перед теорией телетрафика сложные вероятностно-комбинаторные задачи синтеза, в которых требуется определить структурные параметры коммутационных систем при заданных потоках, дисциплине и качестве обслуживания.

Основным математическим аппаратом теории телетрафика являются теория вероятностей, математическая статистика и комбинаторика.

Методы математической статистики применяются при оценке результатов наблюдений за параметрами потоков вызовов и показате-

лями качество обслуживания в действующих системах распределения информации, а также при моделировании таких систем.

При анализе, синтезе и оптимизации структурно-сложных систем распределения информации кроме вероятностных методов используются комбинаторные и алгебраические методы, теория множеств, принципы системного подхода (системотехники).

Основными методами решения задач в теории телетрафика являются *аналитические, численные и метод статистического моделирования.*

Аналитические методы позволяют решать задачи теории телетрафика в тех случаях, когда структура системы, характеристики потока и дисциплина обслуживания относительно просты. При этом рассматриваются все возможные состояния системы, определяемые положением каждой точки коммутации или другого элемента системы при наиболее подробном ее описании. Такие состояния называются микросостояниями системы. Каждый раз, когда поступает новый вызов, заканчивается какая-либо фаза работы управляющего устройства по установлению соединения или заканчивается соединение, система меняет свое микросостояние. Для каждого микросостояния записывается уравнение статистического равновесия. Решая систему таких уравнений, находят точное решение задачи в пределах принятой модели.

Для сложных систем число микросостояний так велико, что решить систему уравнений статистического равновесия не представляется возможным даже с помощью самых быстродействующих ЭВМ. Более перспективным является так называемый макроподход. В сложной системе с очень большим числом микросостояний имеется тот или иной признак, по которому микросостояния объединяются в классы-макросостояния. Путем усреднения определяются интенсивности переходов из одних макросостояний в другие. Для каждого макросостояния записывается уравнение статистического равновесия. В результате решения системы таких уравнений выводятся точные или приближенные формулы для вероятностей макросостояний. Чтобы представить трудности, связанные с использованием аналитических методов, достаточно указать, что число микросостояний неполнодопустного пучка из u линий оценивается как 2^u . Например, при $u = 20$ число состояний более 10^6 . Для решения задач такой размерности с помощью ЭВМ используются специальные алгоритмы, позволяющие находить приближенные решения итерационными или другими численными методами.

Наиболее универсальным методом, который пригоден для решения задач практически любой сложности, является метод статистического моделирования. Метод заключается в построении математической модели системы, реализация которой осуществляется в виде программы для ЭВМ. Моделирование позволяет получить численные результаты, характеризующие качество обслуживания при заданных параметрах потока, схемы и дисциплины обслуживания. Однако в силу специфики метода он менее удобен по сравнению с аналитическим и численным методами при определении скрытых закономерностей функционирования или зависимостей между отдельными характеристиками системы. Во многих случаях разумное сочетание аналитических и численных методов с методом статистического моделирования позволяет детально проанализировать исследуемую систему.

При малых значениях параметров системы удастся получить решение точными аналитическими методами и проанализировать предельные случаи при асимптотическом поведении характеристик изучаемой системы. Полученные сведения дополняются результатами статистического моделирования в области реальных значений параметров системы.

Математическая модель системы телетрафика включает следующие три основных элемента:

1. Входящий поток вызовов — P ;
2. Схему системы коммутации — S ;
3. Дисциплину обслуживания потока вызовов — D .

Поток вызовов — это последовательность однородных событий, наступающих через некоторые интервалы времени.

Дисциплина обслуживания характеризует взаимодействие потока вызовов с системой коммутации. Дисциплина обслуживания характеризуется:

- способами обслуживания вызовов (с потерями, с ожиданием, комбинированные);
- порядком обслуживания вызовов (в порядке наступления, в случайном порядке и др.);
- режимами искания выходов схемы (свободное, групповое, индивидуальное);
- законами изменения длительности обслуживания вызовов (показательный закон, постоянная или произвольная длительность обслуживания);

— другими характеристиками (наличие приоритетов, ограничений и т. д.).

Построение математической модели, адекватно отражающей реальную систему коммутации, является нетривиальной задачей. Правильно построить математическую модель — это уже половина дела.

Основными задачами теории телетрафика являются задачи анализа, синтеза и оптимизации.

Задача анализа заключается в отыскании функциональной зависимости между качеством обслуживания P , параметрами входящего потока вызовов Π , схемы S и дисциплины обслуживания D .

$$P = f(\Pi, S, D).$$

Задача синтеза заключается в отыскании структурных параметров коммутационных систем при заданных потоках, дисциплине и качестве обслуживания.

$$S = f(\Pi, P, D).$$

Задача оптимизации заключается обычно в минимизации объёма оборудования систем коммутации при заданных потоках, дисциплине и качестве обслуживания.

$$K(S) = f(\Pi, P, D) \rightarrow \min.$$

Потоком вызовов (в общем случае — событий) называется последовательность вызовов, поступающих через какие-либо интервалы или в какие-либо моменты времени. В теории массового обслуживания под потоком вызовов принято понимать не только последовательность вызовов, поступающих от группы абонентов или группы устройств телефонной сети, но и другие последовательности событий, например, поток телеграмм, поток писем, поток неисправностей отдельных коммутационных устройств или телефонных сооружений в целом, поток информации, поступающей на ЭВМ, поток неисправностей в станках и т. п.

Простейшим потоком называется стационарный ординарный поток без последействия. Простейший поток вызовов является наиболее распространенной моделью реального потока вызовов, применяемой в системах массового обслуживания, в том числе в теории телетрафика. Действительно, поток телефонных вызовов от большой группы абонентов характеризуется отсутствием последействия. Его можно

считать ординарным, а при ограничении исследуемого промежутка времени 1–3 часами и стационарным. Аналогичные случайные потоки событий характерны для многих отраслей народного хозяйства.

Математическая модель простейшего потока может быть выражена формулой Пуассона, как вероятность поступления точно k вызовов простейшего потока за отрезок времени t :

$$p_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

где λ — плотность вероятности поступления вызовов стационарного потока.

По этой причине простейший поток также называют стационарным пуассоновским потоком.

Цифровизация и интеллектуализация сетей связи и особенно их построение на принципах компьютерных сетей потребовали внесения существенно новых методов анализа работы сетей, отсутствовавших в арсенале классической теории телетрафика. В то же время методы анализа компьютерных сетей развивались в направлении оценок производительности, а не привычных для связистов понятий качества услуг связи и не могли быть применены непосредственно при оценивании транспортных услуг сети связи с компьютерной архитектурой. Потребность в таких оценках, а, иначе говоря, необходимость развития теории телетрафика применительно к компьютерным сетям связи привела к появлению целого ряда исследований и сопровождающих их публикаций, например, [7].

4. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

4.1. Взаимоувязанная сеть связи России

Связь между абонентными устройствами осуществляется с помощью узлов коммутации, в которых информация концентрируется, а затем направляется по определенным путям. Для этого узлы коммутации соединяются между собой линейными сооружениями (соединительными линиями), в которые входят системы каналаобразующего оборудования, организующие необходимые пучки каналов

по кабельным, радиорелейным и спутниковым линиям связи. Действующие средства связи в СССР были объединены в Единую автоматизированную сеть связи (ЕАСС). В настоящее время этот проект, отражая изменение геополитической ситуации и новые технические достижения в области связи, носит название взаимоувязанная сеть связи России (ВСС) [8].

Связь Российской Федерации как часть инфраструктуры страны представляет собой совокупность сетей, служб и оборудования связи, расположенных и функционирующих на территории страны. Она предназначена для удовлетворения потребностей населения, органов государственной власти и управления, обороны, безопасности, правопорядка, а также, пользователей всех категорий в услугах электро-связи.

Функционально ВСС РФ — это сети общего пользования, ведомственные сети и сети связи в интересах управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка.

Организационно ВСС РФ представляет собой совокупность взаимоувязанных сетей электросвязи, находящихся в ведении различных операторов.

Структурно ВСС РФ является иерархической системой и включает в себя три уровня (рис.4.1):

- первичная сеть ВСС представляет собой совокупность узлов, линий передачи, типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов ВСС. Первичная сеть представляет вторичным сетям каналы передачи и физические цепи;
- вторичные сети обеспечивают транспортировку, коммутацию, распределение сигналов в службах электросвязи (телефонная, телеграфная, передачи данных, сети распределения программ телевизионного и звукового вещания и др.) с помощью узлов и станций коммутации на основе типовых каналов передачи и физических цепей первичной сети;
- системы электросвязи, которые организуются на базе вторичных цепей; представляют собой комплексы технических средств, осуществляющие электросвязь определенного вида и включающие в себя соответствующую вторичную сеть.

Первичная сеть ВСС охватывает всю территорию страны и по территориальному признаку подразделяется на магистральные и зональные первичные сети.

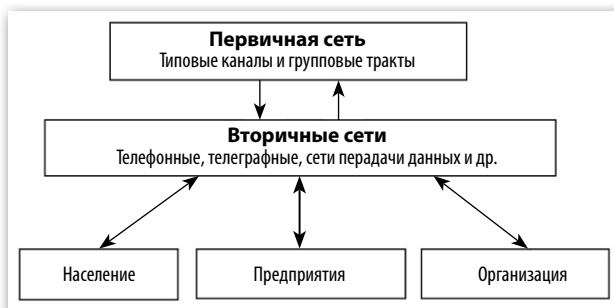


Рис. 4.1. Структура ВСС

Магистральная сеть соединяет Москву с центрами зон (субъектов Федерации), а также зоны между собой. Внутриобластная (*внутри-зоновая*) сеть является сетью субъекта Федерации (область, край или республика). Эта сеть обеспечивает связью областной, краевой или республиканский центр со своими городами и районными центрами и последние между собой, а также выход их на магистральную сеть.

Зоновая сеть организуется в пределах одной-двух областей (или республик, краев). Она подразделяется на внутризоновую и местную:

- внутризоновая связь соединяет областной (республиканский, краевой) центр с районами;
- местная сеть связи включает сельскую и городскую связь.

Международные сети связи — технологически сопряженные с сетями связи иностранных государств сети электросвязи, находящиеся в ведении хозяйствующих субъектов, которым предоставлены права международных операторов.

Составными частями ВСС являются следующие системы электросвязи общего пользования: автоматическая телефонная сеть; телеграфная сеть; сеть факсимильной связи; сеть звукового вещания; сеть телевизионного вещания; сеть передачи данных; ведомственные сети и др.

Развитие сетей ВСС РФ предусматривает переход на двухуровневую структуру организации связи (рис. 4.2):

- транспортную сеть;
- сеть доступа (абонентскую сеть).

Магистральные, внутризоновые и часть местных цифровых наложенных первичных сетей являются основой транспортной цифровой

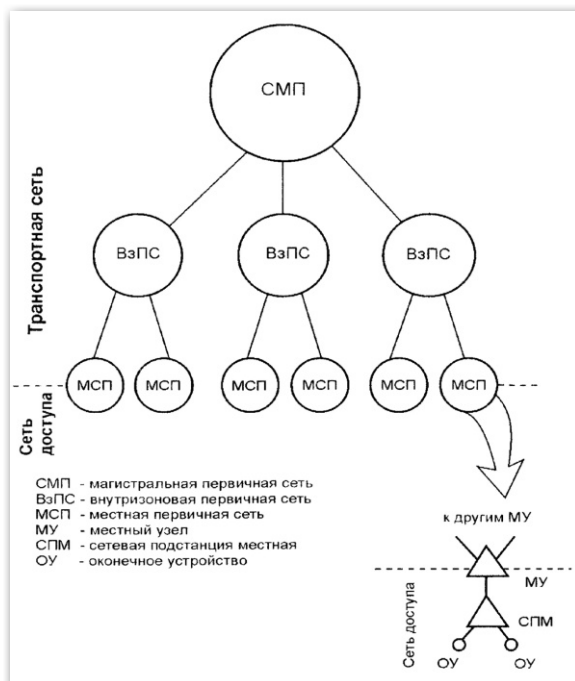


Рис. 4.2. Двухуровневая структура построения ВСС РФ

сети связи России. Местные и первичные сети на участке «местный узел — оконечное устройство» в соответствии с новой терминологией является сетью доступа [9].

Отметим, что описанная выше организация ВСС, а также ее составные части, находятся в непрерывном техническом развитии и отражены здесь в виде текущего состояния вопроса и не могут в целом отражать возможности ближайшего будущего.

4.2. Автоматическая телефонная сеть

Наиболее разветвленной вторичной сетью является система телефонной связи (СТФС). Она представляет собой совокупность автоматических телефонных станций, узлов коммутаций каналов, линий телефонной сети и оконечных абонентских устройств (рис. 4.3).

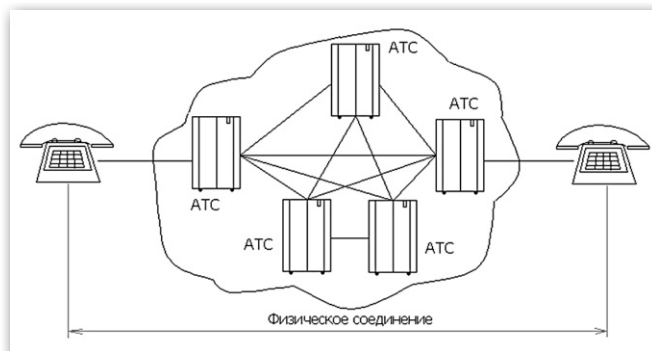


Рис. 4.3. Схема СТФС

Эта сеть предназначена для удовлетворения потребностей населения, учреждений и организаций в передаче телефонных сообщений в пределах страны.

Сеть СТФС строится по принципам, которые зависят от построения первичной сети. Вся территория страны разделена на зоны. Зона — это часть территории, на которой все абоненты телефонной сети охватываются единой *семизначной* нумерацией. Территория зоны, как правило, совпадает с территорией субъекта Федерации.

Зоновая телефонная сеть состоит из множества местных телефонных сетей, расположенных на территории зоны. Местные телефонные сети разделяются на городские (ГТС), обслуживающие город и ближайшие пригороды, и сельские (СТС), обеспечивающие связь в пределах сельского административного района. Существует также учрежденческо-производственная автоматическая телефонная сеть (УПАТС), которая служит для внутренней связи предприятий, учреждений, организаций. Она нередко соединена с телефонной сетью общего пользования (ТФОП), но может быть и автономной.

На территории каждой зоны устанавливаются одна (при числе абонентов до 10 тыс.) или несколько оконечных автоматических междугородных телефонных станций (АМТС), которые соединяются между собой каналами по принципу «каждая с каждой». В зоновую телефонную сеть входят расположенные в пределах зоны городские телефонные сети, сельские телефонные сети, а также внутризональная телефонная сеть.

Внутризоновая телефонная сеть состоит из АМТС зоны и соединительных линий, и каналов, связывающих АМТС зоны между собой, а также с ГТС и СТС этой зоны. Причем с АМТС непосредственно соединяются районные АТС (РАТС), входящие в состав ГТС, и центральные станции (ЦС), входящие в состав СТС.

Каждая местная телефонная сеть связывается с ближайшей АМТС зоны или Зоновым узлом исходящими соединительными линиями и входящими соединительными линиями, по которым осуществляется связь с абонентами других местных сетей в пределах как этой, так и других зон.

Для связи АМТС между собой и объединения зональных телефонных сетей страны в общегосударственную служит междугородная телефонная сеть. При этом сами АМТС являются оконечными станциями этой сети. Для их соединения между собой предусмотрены узлы автоматической коммутации, которые соединяются между собой по принципу «каждый с каждым», обслуживают определенные территориальные районы и являются центрами сети радиально-узлового построения.

Городская телефонная сеть. Телефонная сеть, создаваемая на территории города, называется городской телефонной сетью. Она строится таким образом, чтобы ее абоненты могли вести переговоры не только между собой, но и с каждым абонентом любой местной телефонной сети страны, а также с абонентами учреждений телефонных станций и службами специального назначения (полицией, скорой помощью и др.) путем набора сокращенного номера. По принципу построения ГТС делятся на нерайонированные и районированные. Районированные телефонные сети, в свою очередь, подразделяются на ГТС без узлов, ГТС с узлами входящего соединения.

Емкость нерайонированных телефонных сетей не превышает 10 тыс. номеров. Такие телефонные сети строятся в большинстве районных центров.

При емкости ГТС от 10 000 до 50 000 номеров территория города делится на районы, обслуживаемые РАТС. РАТС соединяются между собой соединительными линиями по принципу «каждая с каждой». Нумерация абонентских линий на таких ГТС пятизначная, а первая цифра номера является кодом РАТС.

При емкости ГТС от 50 000 до 500 000 номеров ГТС делится на узловые районы, в каждом из которых может быть установлено несколько РАТС, соединенных между собой либо по принципу «каждая

с каждой», либо через УВС своего района. На районированных ГТС применяют шестизначную нумерацию, при этом первая цифра является кодом узлового района, а вторая — кодом РАТС.

При емкости телефонной сети более 500 тыс. номеров территория города делится на миллионные зоны, каждая из которых может включать в себя до десяти узловых районов емкостью до 100 тыс. номеров каждый. В таких ГТС применяют семизначную нумерацию: первая цифра номера определяет код миллионной зоны, вторая — код узлового района, а третья — код РАТС.

Сельская телефонная сеть. Сельские телефонные сети охватывают более обширные территории, чем городские, но плотность телефонных аппаратов в них значительно меньше. Поэтому емкость АТС в сельских местностях значительно меньше, чем в городах.

В настоящее время используют одно- и двухступенчатое построение СТС. При одноступенчатом построении кроме центральной станции, которая устанавливается в районном центре и является коммутационным узлом, выполняющим одновременно функции городской телефонной станции районного центра, имеются оконечные телефонные станции. В этом случае в соединении между сельскими абонентами двух различных оконечных станций участвуют только один узел автоматической коммутации — центральная станция.

На СТС, занимающих большую территорию, из экономических соображений применяют двухступенчатое построение с различными коммутационными узлами которые образуют радиально-узловую структуру сети.

Современные функции телефонной сети общего пользования (ТфОП) охватывают большой набор услуг, делающие эту сеть одной из основных в предоставлении сервисов связи, передачи данных и мультимедиа (рис. 4.3). Главным поставщиком сервисов ТфОП в России является ПАО «Ростелеком».

Сигнальная система SS7 (англ. Common Channel Signaling) — набор сигнальных телефонных протоколов, используемых для настройки большинства телефонных станций по всему миру. Это универсальная многофункциональная система межстанционной сигнализации, ориентированная на поддержку практически всех уже известных, а также будущих услуг связи. В России SS7 называют ОКС-7 (общий канал сигнализации № 7). SS7 объединила телефонных операторов по всему

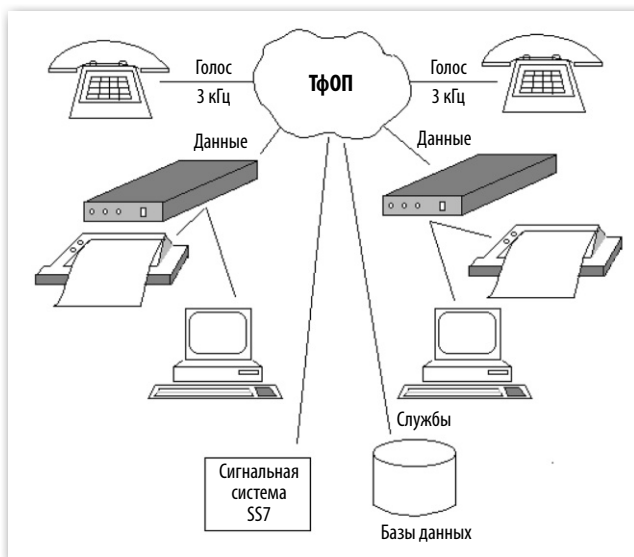


Рис. 4.3. Современные функции ТФОП

миру. В России, США, Азии, Европе протоколы называются по-разному, они незначительно различаются, но совместимы друг с другом; в целом система по своему устройству напоминает Интернет.

Функциональная архитектура SS7 соответствует семиуровневой эталонной модели взаимодействия открытых систем OSI (см.п.5.3). Первым трем уровням модели OSI (физический, канальный, сетевой) соответствуют протоколы сетевой службы SS7 — NSP, которая включает протоколы подсистемы передачи сообщений (MTP) и протоколы подсистемы управления сигнальным соединением SCCP. Подсистема пользователя цифровой сети с интеграцией служб ISUP использует протоколы NSP частично или полностью, в зависимости от предоставляемого пользователю сервиса. Подсистема пользователя телефонии TUP, является функциональной частью ISUP.

Прикладная подсистема обеспечения транзакций TCAP относится к седьмому уровню модели OSI и непосредственно использует сетевую службу, так как протоколы транспортного, сеансового и уровня представления модели OSI в настоящее время для SS7 не определены. Подсистема пользователя мобильной связи MAP и прикладной

протокол интеллектуальной сети INAP, строясь на базе транзакционной подсистемы SS7 и также относясь к прикладному уровню модели OSI.

IP-телефония. Появившаяся в конце прошлого века концепция передачи голоса по сети с помощью персонального компьютера развивается очень стремительно, вбирая в себя лучшие достижения в области аппаратных решений и сетевых технологий передачи данных. Современное оборудование для передачи голоса посредством протокола IP (*Voice over Internet protocol — VoIP*) позволяет обеспечивать приоритет передачи голосового трафика над передачей обычных данных, получать приемлемое качество звукового сигнала при сильном сжатии, эффективно подавлять различные шумы. Схема IP-сети показана на рис. 4.4.

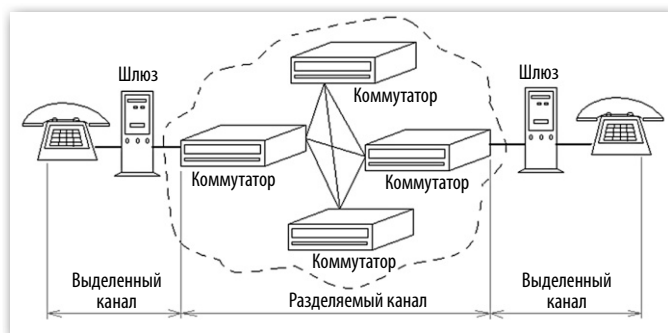


Рис. 4.4. IP-сеть

По мере своего развития IP-телефония претерпевает важные качественные изменения: из дополнительной услуги она постепенно превращается в базовый сервис, который в скором времени может стать одним из компонентов мультисервисной технологии и, в определенной степени, потеснить традиционную телефонию.

Актуальность развития решений IP-телефонии обусловлена не только возможностью снижения затрат на телефонные переговоры и техническое обслуживание инфраструктуры (хотя это имеет большое значение). В стратегическом плане IP-телефония может стать единой технической платформой, которая позволит объединить решения для передачи данных и голоса, а также для обработки и последующего использования этой информации во всех бизнес-процессах.

4.3. Телеграф

Телеграфная связь является старейшей из видов электросвязи. За годы своего развития она получила огромное распространение на Земле и в России с ее колоссальной территорией. В СССР существовал норматив: два часа от момента подачи телеграммы до доставки получателю!

Однако в начале 1990-х наметился кризис телеграфных услуг с развитием более современных технологий, таких как электронная почта, факсимильная и сотовая связь. Причина кризиса: отставание возможностей телеграфной связи от современных требований и морально устаревшее оборудование. Причем эта тенденция характерна не только для России. В ряде стран телеграфная связь прекратила работу. В России сеть проводного телеграфа на большей части территории демонтирована, но телеграфные сообщения могут передаваться при помощи специальных устройств — телеграфных модемов, сопряжённых в узлах электрической связи с персональными компьютерами операторов по современным каналам связи. Этот способ связи позволяет шифровать и дешифровать отправленные/полученные сообщения. Услуги по телеграфной связи оказывает только «Ростелеком» (время доставки телеграмм 4–8 час), в котором уверены, что телеграфная связь востребована. К тому же, телеграммы, отправленные как документы, могут быть признаны юридически значимыми.

В настоящее время в правительстве РФ нет единого мнения по поводу развития или, наоборот, сворачивания телеграфной связи. Время покажет.

4.4. Факсимильная связь

Факсимильная связь — процесс дистанционной передачи неподвижных изображений и текста. В основном факсимильная связь используется для отправления документов (текстов, чертежей, рисунков, схем, фотоснимков) на бумажные носители получателей

Тракт факсимильной связи включает передатчик, линию связи и приёмник. В передатчике факсимильного аппарата осуществляется анализ оригинала точечным световым пятном — развёртывающим элементом, который построчно обегает всю площадь оригинала,

разбивая её на элементарные площадки, характеризующиеся способностью в разной степени отражать падающий на них световой поток. Отражённый от поверхности оригинала световой поток, модулированный по интенсивности в соответствии с отражательной способностью площадок, падает на фотоэлектрический преобразователь, где превращается в пропорциональный световому потоку электрический ток — видеосигнал. В качестве фотоэлектрических преобразователей в факсимильной аппаратуре используют фотоэлектронные умножители (ФЭУ) или (реже) фотоэлементы. Далее в передатчике производится модуляция ВЧ колебаний видеосигналом с целью преобразования последнего к форме, удобной для передачи по каналу связи. В факсимильной связи, как правило, применяется амплитудная или (реже) частотная модуляция. В качестве каналов факсимильной связи используют стандартные телефонные каналы проводной связи или радиотелефонные каналы, характеризующиеся полосой пропускания от 0,3 до 3,4 кГц. Для быстрой передачи больших объёмов факсимильной информации (например, газетных полос) указанный диапазон частот становится недостаточным, в этом случае для передачи изображений необходимы более широкополосные каналы — первичный, с полосой 48 кГц, или вторичный — 240 кГц. В приёмнике факсимильного аппарата прежде всего осуществляется демодуляция принятого линейного сигнала, т. е. выделение из него видеосигнала.

Далее производится преобразование видеосигнала в изображение (копию), записываемое на носитель. Копия синтезируется в приёмнике из всех элементарных площадок, располагаемых на носителе в той же последовательности, в которой соответствующие площадки располагались на оригинале. Эту операцию называют свёрткой изображения. В факсимилии нашли применение следующие способы записи принимаемого изображения: фотографический, при котором в качестве носителя используется фотобумага или фотоплёнка (запись ведётся точечным источником света, яркость которого изменяется в соответствии с изменением видеосигнала во времени); электрохимический, основанный на использовании специальной бумаги, чернеющей при пропускании через неё электрического тока (записывающим элементом служат 2 точечных электрода, между которыми располагается бумага, и запись осуществляется непосредственно видеосигналом, усиленным до требуемой величины); штриховой,

или чернильный, при котором носителем является обычная бумага, а записывающим элементом — ролик, смазанный специальной краской, или чернильное перо, приводимое в движение электромагнитом (модификацией этого способа является запись через копировальную бумагу).

Стандарты факсимильной связи.

- В 1966 г. EIA (Ассоциация электронных отраслей промышленности) объявила о создании первого стандарта для факсимильной связи — EIA Standard RS-328 (Группа 1).
- в 1978 г., ССИТТ (Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии) объявил о новой спецификации (Группа 2), которая была принята всеми компаниями.
- В 1980 году появился новый стандарт — Группа 3, что окончательно определило путь развития такого направления индустрии телекоммуникаций, как факсимильная связь.

Радикальное отличие факсаппаратов группы 3 от более ранних заключается в полностью цифровом методе передачи со скоростями до 14400 бит/с. В результате, применяя сжатие данных, факс группы 3 передает страницу за 30–60с. Использование цифровых сигналов для обмена информацией позволило значительно увеличить качество и скорость передачи информации посредством обычных телефонных линий. Новые требования к разрешению 203х98 и 203х196 точек на дюйм соответственно в режимах Standard и Fine предоставляют возможность передачи черно-белых документов самого разного вида — начиная с обычных текстовых и заканчивая полноценными графическими. Страница документа передается в течение 30 с или более в зависимости от скорости передачи, на которую аппараты Группы 3 настраиваются автоматически, в соответствии с техническим состоянием телефонной линии.

В 1984 году ИТУ-Т принял стандарт группы 4, который предусматривает разрешение до 400х400 точек/дюйм и повышение скорости при более низком разрешении. Факсы группы 4 дают разрешение очень высокого качества. Однако, они нуждаются в высокоскоростных каналах связи, которые могут предоставить сети ISDN и LAN, способных принимать цифровые сигналы со скоростью передачи 64 кбит/с. Для таких сетей аппаратура группы 4 обеспечивает очень высокую скорость передачи документов: передача копии формата А4 занимает лишь 2–4 с.

Факсимильные аппараты группы 4 сопрягаются с терминалами ISDN, но могут также работать с факсимильными аппаратами группы 3.

Факс-сервер. Представляет собой компьютер, оборудованный несколькими специальными факсимильными платами (или одной многоканальной картой) и интегрированный с локальной вычислительной сетью (ЛВС). Возможные схемы организации факсимильной связи показаны на рис. 4.5.

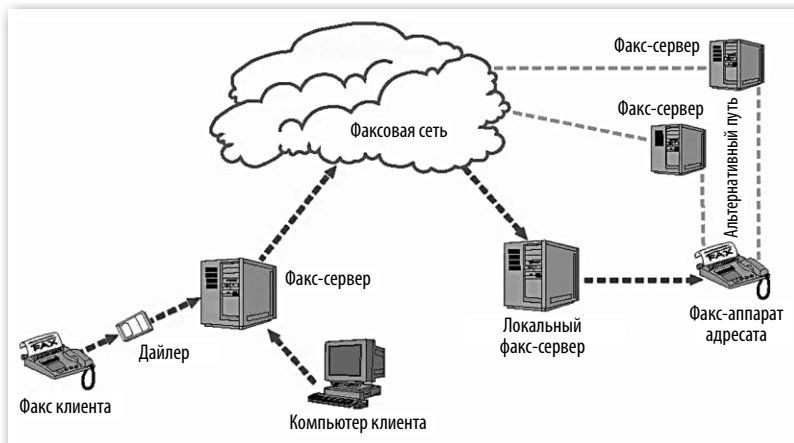


Рис. 4.5. Организация факсимильной связи

Факс-сервер обладает многими преимуществами по сравнению с группой из нескольких автономных телефаксов, позволяя обмениваться факсимильными сообщениями с лучшим качеством, большими удобствами и меньшими издержками. Факс-сервер наделяет каждого пользователя ЛВС возможностью передавать и принимать факсимильные сообщения с помощью своего рабочего ПК. При его использовании отпадает необходимость в дорогой термобумаге, так как все принятые сообщения сохраняются в виде файлов, которые в случае необходимости можно распечатать с помощью обычного сетевого или локального принтера; облегчается контроль затрат на пересылку сообщений (факс-сервер регистрирует все процессы в файле-отчете); и наконец, факс-сервер является более дешевым вариантом, чем подключение каждой рабочей станции к телефонной сети с помощью модема.

4.5. Системы звукового вещания

Звуковое вещание (ЗВ) — организация и распространение с помощью систем, сетей, средств электрической связи различных сообщений для населения. Вещание является средством массовой информации.

Существует следующая классификация: звуковое и телевизионное (ТВ) вещание — в зависимости от вида сообщений; радиовещание (РВ) и проводное вещание (ПВ) — в зависимости от технических средств; аналоговое и цифровое — по форме передаваемых сигналов.

Сообщения компонуется в блоки (передачи). Передачи объединены программой. Путь от источника до приемника — электрический канал вещания. Структура системы звукового вещания:

- тракт формирования программ (ТФП). Это оборудование студий и телевизионных центров;
- тракт первичного распределения программ (ТПРП). Это городские соединительные линии и междугородние каналы ЗВ;
- тракт вторичного распределения программ (ТВРП). Это радиопередатчики и все оборудование передающих центров;
- тракт приема программ (ТПП). Это приемники и абонентские устройства ПВ.

Организацией ЗВ занимаются государственные, частные ТРК и министерство связи. Они определяют число программ, объем вещания, согласование технических сторон с предприятиями связи. Оборудование ТПРП и ТВРП находится в ведении Минсвязи, некоторые ТВРП — в частных компаниях.

Россия занимает 10 часовых поясов, поэтому общенациональные программы, например, Радио России, выпускаются в пяти вариантах: А, Б, В, Г, М. Разница с Москвой 8, 4, 6, 2 часа.

Сеть — распределение по обслуживаемой территории выбранных технических средств. В ТПРП все большее место занимают спутниковые службы связи (ССС). Два типа СССР для вещания: ФСС (фиксированная служба связи) — часть тракта первичного распределения программ ЗВ и ТВ вещания; РВСС (радиовещательная служба связи) — часть тракта вторичного распределения программ. ФСС используют ИСЗ, расположенные по геостационарной и высокоэллиптической орбитах. РВСС — только на геостационарных орбитах. ФСС используется для связи между земными станциями, расположенными в фиксированных точках. Все полосы частот, выделенные ФСС,

предназначены для совместного использования с другими службами радиосвязи. Полосы занимают область 2–275 ГГц. В России основными системами ФСС являются «Орбита-2», «Орбита РВ», «Экран», «Москва». Земные станции этих систем действуют через ИСЗ «Радуга», «Горизонт», «Молния-3». Параметры качества устанавливаются национальными стандартами, которые пересматриваются раз в четыре года. Руководствуются также рекомендациями международных организаций.

Сегодня для подготовки и передачи радио- и телевизионной информации эффективным является использование цифровых технологий. Основными элементами при цифровой подготовке являются рабочие станции на базе персональных компьютеров. При этом все необходимые для производства программ материалы хранятся в цифровом виде. Таким централизованным местом хранения большого числа материалов являются серверы. Рабочие станции объединяются посредством локальной высокоскоростной сети в общее информационное пространство. Подключение комплекса рабочих станций к глобальной сети Internet позволяет обмениваться данными с удаленными рабочими станциями, а также собирать информацию по всему миру.

В общем виде тракт цифровой системы передачи (ЦСП) состоит из трех основных частей (рис. 4.6): кодирующего устройств (кодера) на передающей стороне; канала связи; декодирующего устройства (декодера) на приемной стороне.

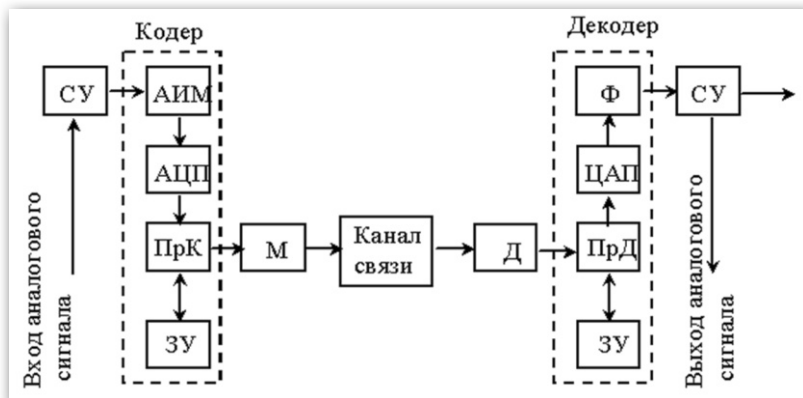


Рис. 4.6. Структурная схема цифровой системы передачи

Тип ЦСП определяется составом устройств кодера и декодера. В состав кодера входят следующие блоки: амплитудно-импульсный модулятор АИМ, осуществляющий дискретизацию непрерывных сигналов во времени; аналого-цифровой преобразователь АЦП, осуществляющий квантование сигналов по уровню и их кодирование каким-либо цифровым кодом; процессор кодера ПрК с запоминающим устройством ЗУ, осуществляющий статистическую обработку кодированной информации и управление порогами квантования в АЦП, а также кодирование каким-либо помехоустойчивым кодом.

В состав декодера входят процессор декодера ПрД с запоминающим устройством ЗУ, осуществляющий обратное преобразование кодированной информации к форме, пригодной для декодирования в цифро-аналоговом преобразователе ЦАП; ЦАП, осуществляющий декодирование информации, представленной цифровым кодом, и преобразование ее к виду АИМ сигнала; фильтр низких частот Ф, осуществляющий восстановление формы непрерывного сигнала по последовательным отсчетам АИМ сигнала

Передающая сеть радиовещания представляет собой комплекс технических средств (передатчики, антенные устройства, вспомогательное оборудование), осуществляющий излучение сигналов звукового вещания в виде радиоволн. При построении передающей сети, обслуживающей определенную территорию, следует учитывать условия передачи и приема радиосигналов, диапазон радиоволн, особенности расселения жителей на территории, рельеф местности.

При планировании сети определяются места расположения радиовещательных станций (РВС) и их мощности, коэффициенты усиления антенн, номера радиоканалов, стоимость различных вариантов и другие параметры сети. Основная задача рационального размещения РВС — обеспечение удовлетворительного качества приема в пределах всей территории при минимальных затратах на построение сети.

4.6. Телевидение

Для передачи подвижных (динамических) изображений широко используется *телевизионный сигнал*, состоящий из отдельных *кадров*. В телевидении, как и при факсимильной связи, первичный сигнал формируется методом развертки. Спектр телевизионного сигнала

(видеосигнала) зависит от характера передаваемого изображения, но его структура в основном определяется разверткой.

Стандарт телевизионного вещания — установленный международной технической организацией набор параметров, определяющих телевизионный сигнал.

Стандарт телевизионного вещания определяется совокупностью *стандарта телевизионного сигнала и системы цветного телевидения*.

Стандарт телевизионного сигнала определяет параметры сигнала без характеристик цветности:

- число строк в кадре,
- частота развертки полей,
- разностная частота несущих звука и изображения,
- ширина полосы ТВ-сигнала,
- тип модуляции несущих изображения и звука и т. д.

Система цветности — схема, определяющая способ передачи сигналов цветности. В настоящее время используется три основных системы цветности: NTSC, SECAM, PAL.

Базовая система NTSC, применявшаяся в США (т. н. NTSC-M), основана на использовании предыдущего стандарта чёрно-белого телевидения, принятого в 1941 году, со стандартом разложения 525/60. Для обеспечения совместимости вместо непосредственной передачи сигналов основных цветов используется передача сигнала яркости Y, соответствующего чёрно-белому изображению, и двух цветоразностных сигналов R-Y и B-Y, несущих информацию о красном и синем цветах соответственно.

Недостающая информация о зелёном цвете G восстанавливается в приёмнике вычитанием суммы цветоразностных сигналов из яркостного.

Главными достоинствами системы NTSC считаются хорошая совместимость с чёрно-белым телевидением, низкий уровень перекрёстных искажений сигналов яркости и цветности, а также хорошая помехоустойчивость и относительная простота приёмного устройства.

Жёсткие требования к каналу передачи и дороговизна передающего оборудования заставили разработчиков искать новые технические решения в период становления цветного телевидения в Европе. В результате этих усилий появились стандарты PAL и SECAM, в той или иной степени свободные от недостатков первой в мире системы. В настоящее время в большинстве стран вещание по системе NTSC

прекращено, так, например, в США большинство передатчиков были отключены в 2009 году, в Канаде и Японии — в 2011 году, и в Южной Корее и Мексике — в 2012 году. В этих странах произошёл переход на цифровые стандарты телевидения, в том числе, высокой чёткости

SECAM (от фр. *Séquentiel couleur avec mémoire*, позднее *Séquentiel couleur à mémoire* — последовательный цвет с памятью) система аналогового цветного телевидения, разработка которой началась во Франции в конце 1950-х годов. В 1965–1966 годах совместно с СССР была доработана, став первым европейским стандартом цветного телевидения. Регулярное вещание в этом стандарте было начато 1 октября 1967 года одновременно в Москве и Париже.

Принцип формирования цветности аналогичен NTSC и PAL. Сигнал цветности передается при помощи частотной модуляции поднесущей, для повышения устойчивости к амплитудным и фазовым искажениям. Поскольку система SECAM используется только с европейским стандартом разложения 625/50, длительность запоминания, равная периоду одной строки, составляет 64 микросекунды.

Основным преимуществом системы SECAM является отсутствие перекрёстных искажений между цветоразностными сигналами, достигаемое за счёт их последовательной передачи. К недостаткам системы стоит отнести в первую очередь, низкую помехозащищённость, проявляющуюся при соотношении сигнал/шум принимаемого сигнала менее 18 дБ.

PAL (англ. *Phase Alternating Line* — построчное изменение фазы) — система аналогового цветного телевидения, разработанная инженером немецкой компании «Telefunken» Вальтером Брухом и принятая в качестве стандарта телевизионного вещания в 1966 году в Германии, Великобритании и ряде других стран Западной Европы. В настоящее время система PAL является самой распространённой в мире.

Система PAL обладает теми же достоинствами, что и NTSC за счёт использования тех же принципов квадратурной модуляции: хорошая совместимость с чёрно-белыми телевизионными приёмниками, низкий уровень перекрёстных искажений сигналов яркости и цветности и высокая помехозащищённость. Недостатками системы является относительная сложность приёмника по сравнению с NTSC из-за использования линии задержки, а также уменьшенная по вертикали разрешающая способность по цвету.

Цифровое телевидение — технология передачи телевизионного изображения и звука при помощи кодирования видеосигнала и сигнала звука с использованием цифровых сигналов. Данная технология является современной альтернативой традиционному аналоговому телевидению и обеспечивает существенно более высокое качество изображения при равных затратах средств.

Цифровой сигнал представляет из себя последовательность единиц и нулей. Схема передачи и приема цифрового ТВ-сигнала показана на рис. 4.7.

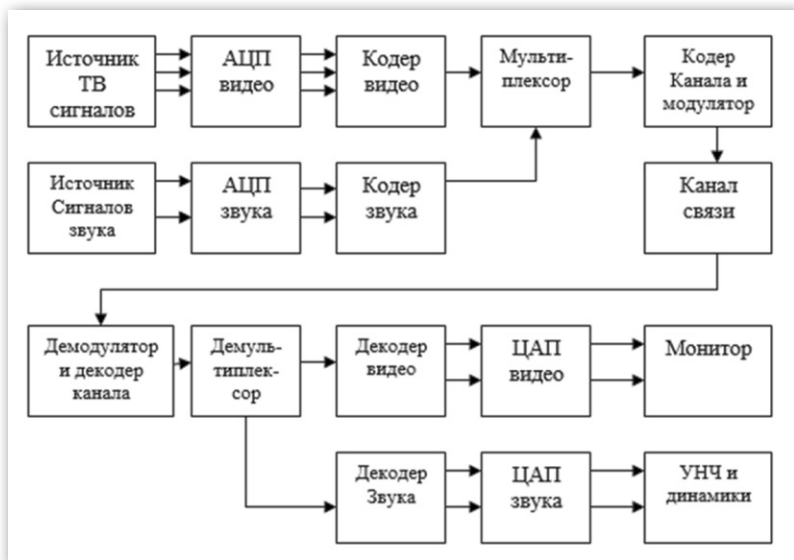


Рис. 4.7. Схема передачи и приема цифрового ТВ-сигнала

Данный сигнал получается путем преобразования из аналогового, для это необходимо выполнить три операции:

- дискретизация во времени т. е. замену непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений в дискретные моменты времени — отсчетов или выборок.
- квантование по уровню, заключающегося в нахождении для каждого отсчета сигнала ближайшего к нему уровня квантования из используемого набора уровней квантования.

— кодирование (оцифровку), в результате которой номер найденного уровня квантования представляется в виде двоичного числа в параллельной или последовательной форме

Все три операции выполняются в одном устройстве — аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Обратное преобразование цифрового сигнала в аналоговый осуществляется с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).

Для перехода от аналоговых к полностью цифровым телевизионным системам потребовалось разработать и утвердить совершенно новые стандарты вещания. Одной из групп, занимающейся стандартами цифрового вещания, является группа — MPEG (Moving Picture Expert Group).

Разработанный по инициативе Международной организации стандартизации в 1993 г. стандарт сжатия видеосигналов MPEG-2 явился движущей силой для становления цифрового телевизионного вещания и на многие годы определил пути развития этого направления техники.

MPEG-4 — следующий международный стандарт, используемый для сжатия цифрового аудио и видео. Он появился в 1998 году и позволяет осуществлять телевизионное эфирное, кабельное и спутниковое вещание со скоростями потока менее 2 Мбит/с на одну программу, обеспечивать высококачественную запись видеoinформации на оптические и магнитные носители (CD, DVD и др.), значительно ускорить передачу видеoinформации по сетям TCP/IP и доставку мультимедийных сообщений посредством мобильной связи.

MPEG-4 включает в себя многие функции MPEG-1, MPEG-2 и других подобных стандартов. Кроме работы с аудио- и видеоданными, стандарт позволяет работать с естественными и синтезированными компьютером 2D- и 3D-объектами, производить привязку их взаимного расположения и синхронизацию друг относительно друга, а также указывает их интерактивное взаимодействие с пользователем. AAC, который был стандартизован как дополнение к MPEG-2, был также расширен и включен в MPEG-4 [10].

Однако при этом усложняются проблемы декодирования, по приблизительной оценке, в 2,5—4 раза. Преодоление этих трудностей ложится на микросхему декодера приемника и соответствующее программное обеспечение приемного устройства.

Цифровой телевизионный сигнал передаётся и принимается с помощью трёх основных средств: кабелей, обычных эфирных антенн и спутниковых антенн.

К сожалению, не было создано единого стандарта цифрового телевидения.

В настоящее время существует всего четыре стандарта вещания цифрового телевидения:

- DVB — европейский стандарт цифрового телевидения;
- ATSC — американский стандарт цифрового телевидения;
- ISDB — японский стандарт цифрового телевидения;
- DTMB — китайский стандарт цифрового телевидения.

DVB (Digital Video Broadcasting) — это семейство стандартов цифрового телевидения, разработанных международным консорциумом DVB Project: DVB-T, DVB-S и DVB-C — эфирное цифровое вещание, кабельное цифровое вещание и спутниковое цифровое вещание соответственно. Эти три стандарта отличаются не только способом передачи, но и частотными каналами, способами модуляции. Европейская система DVB имеет большую устойчивость к помехам по сравнению с американской, и имеет скорость цифрового передатчика от 5 до 32 Мбит/с (для сравнения — 19 Мбит/с в системе ATSC). DVB позволяет передавать в одном канале одновременно телепрограммы и потоки данных. Телепрограммы могут иметь стандартное разрешение (720x576) и высокое разрешение HDTV.

DVB-T Эфирное цифровое вещание. То есть цифровой сигнал можно принимать на обычную телевизионную антенну. DVB-T позволяет предоставлять различные цифровые сервисы и услуги:

- телевидение стандартной чёткости SDTV в форматах соотношения сторон экрана 4:3 и 16:9;
- телевидение высокой чёткости HDTV;
- телевидение сверхвысокой чёткости UHDTV;
- 3D-телевидение в стандарте DVB 3D-TV;
- интерактивное гибридное телевидение в стандарте Hbb TV;
- широкополосный доступ в Интернет и др.

Сейчас DVB-T активно заменяется на усовершенствованный стандарт DVB-T2, который призван увеличить на 30–50% ёмкость сетей, сохраняя основную инфраструктуру и частотные ресурсы.

DVB-C Цифровое кабельное телевидение. Данный стандарт цифрового телевидения позволяет просматривать цифровые каналы, предоставляемые кабельным провайдером. То есть помимо аналоговых каналов провайдер может параллельно предоставлять каналы в цифровом качестве. Так как большинство телевизоров поддерживает стан-

дарт DVB-C, нет необходимости использовать дополнительные средства для просмотра телевидения передающегося с помощью этого стандарта.

Данный стандарт также заменяется стандартом нового поколения DVB-C2, который должен был предложить на 30% более эффективный спектр вещания при тех же самых условиях, что и у его предшественника, и, как следствие, увеличение пропускной способности на 60%. [11].

DVB-S2 Спутниковое вещание цифровых телевизионных каналов
DVB-S2 предназначен для ТВ-вещания, включая стандартное разрешение и высокой чёткости (HD). В этот стандарт внедрены интерактивные сервисы, такие как Internet access и передача контента. DVB-S2 достигает гораздо лучшего использования полосы частот, нежели предшественники. Повышается максимальный битрейт на той же полосе частот спутника.

Цифровое телевидение обеспечивает многие *преимущества* по сравнению с аналоговым телевидением, в том числе:

- повышение помехоустойчивости систем телевизионного вещания;
- повышение качества изображения в телевизионных приемниках с обычным стандартом разложения;
- уменьшение мощности передатчиков;
- создание новых телевизионных систем, обеспечивающих существенное повышение качества изображения телевизионных систем (телевидение высокой чёткости);
- увеличение количества передаваемых телевизионных программ, так как по стандартному телевизионному каналу с шириной полосы частот 6...8 МГц оказывается возможным передавать 4 и более программ телевидения обычной четкости или 1–2 программы телевидения высокой четкости;
- создание интерактивных телевизионных систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (например, видео по запросу);
- обеспечение защиты передаваемых телевизионных программ и другой информации от несанкционированного доступа, что дает возможность создавать системы платного ТВ-вещания и др.

Однако у цифрового телевидения так же есть *недостатки*:

- замирания и рассыпания картинки на отдельные квадратные группы одноцветных пикселей при недостаточном уровне принимаемого сигнала, данные либо принимаются достаточно

качественно для работы встроенных алгоритмов восстановления и видна вся картинка, либо принимаются плохо с невозможностью восстановления.

- практически полное замирание сигнала в грозу.
- передатчик даже с мощностью 10 кВт и высотой подвеса передающей антенны 350 м обеспечивает уверенный прием на расстоянии 50 км, а вследствие этого — необходимость в большем, чем при аналоговом ТВ, количестве передающих центров [11].

4.7. Сотовая связь

Сотовые технологии — основа мобильных беспроводных коммуникаций, которые обеспечивают связь с пользователем в таких местах, где использование проводных сетей невозможно. Сотовая технология — основная технология мобильных телефонов, персональных коммуникационных систем, беспроводного Интернета, а также много другого.

Сотовая радиосвязь — технология, которая разработана для увеличения доступной пропускной способности мобильного телефонного сервиса. До внедрения сотовой радиосвязи мобильный телефонный сервис обеспечивался только с помощью передатчиков/приемников большой мощности. Обычная такая система поддерживает около 25 каналов с эффективным радиусом действия около 80 км.

Основа сотовой сети — использование множества маломощных передатчиков мощностью порядка 100 Ватт или ниже. Поскольку диапазон таких передатчиков мал, область охвата подразделяется на ячейки, каждая из которых обслуживается своей антенной. Для каждой ячейки назначается полоса частот, которая обслуживается базовой станцией (BS, Base Station), состоящей из передатчика, получателя и блока управления. Соседним ячейкам назначаются другие частоты, чтобы избежать взаимного влияния или перекрестных помех. Однако ячейки, достаточно удаленные друг от друга, могут использовать одинаковую полосу частот [12].

Первое проектное решение — выбор формы ячеек для покрытия области. Простейший вариант — матрица квадратных ячеек (рис. 4.8, а).

Однако при этом, если ширина квадратной ячейки равна d , тогда у ячейки будет четыре соседа на расстоянии d и четыре соседа на расстоянии \sqrt{d} . Когда мобильный пользователь внутри ячейки перемещается

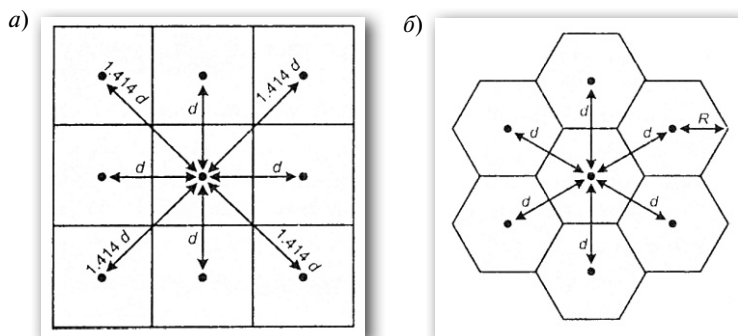


Рис. 4.8. Геометрия сот:
а — квадратный шаблон; б — шестиугольный шаблон

к ее границам, то лучше, если все соседние антенны будут эквидистантны. Это упрощает задачу определения момента переключения пользователя на соседнюю антенну и выбор антенны. Шестиугольная форма обеспечивает эквидистантность антенн (рис. 4.8, б). Радиус шестиугольника определяется как радиус описанной окружности (который также равен расстоянию от центра до каждой вершины или длине стороны шестиугольника). Для ячейки радиуса R расстояние между центром ячейки и центром каждой соседней ячейки равно $\sqrt{3}R$.

На практике точная шестиугольная форма не используется. Отклонения от идеала происходят из-за топографических ограничений, местных условий распространения сигнала и практических ограничений по размещению антенн.

В сотовой системе каждая ячейка имеет базовый приемопередатчик. Мощность передачи тщательно контролируется, чтобы обеспечить связь внутри ячейки, используя данную частоту с ограничением ее мощности при переходе из этой ячейки в соседнюю. Цель состоит в том, чтобы использовать ту же частоту в других соседних ячейках, таким образом, позволяя использовать эту частоту для множества одновременных сеансов связи. Обычно на каждую ячейку назначается 50–100 частот в зависимости от ожидаемого трафика.

Вторая проблема состоит в определении количества ячеек, которые должны находиться между двумя ячейками, и использовать ту же частоту, так чтобы две ячейки не мешали друг другу. По возможности различные значения частоты назначаются повторно. На рис. 4.9

представлено несколько примеров. Если образец состоит из N ячеек и каждой ячейке присвоено одинаковое число частот, то каждая ячейка может иметь K/N частот, где K — общее число частот, назначенных данной системе.

При описании повторного использования частот обычно применяются следующие параметры:

D — минимальное расстояние между центрами ячеек, которые используют одну и ту же полосу частот (называются внутриканальными);

R — радиус ячейки;

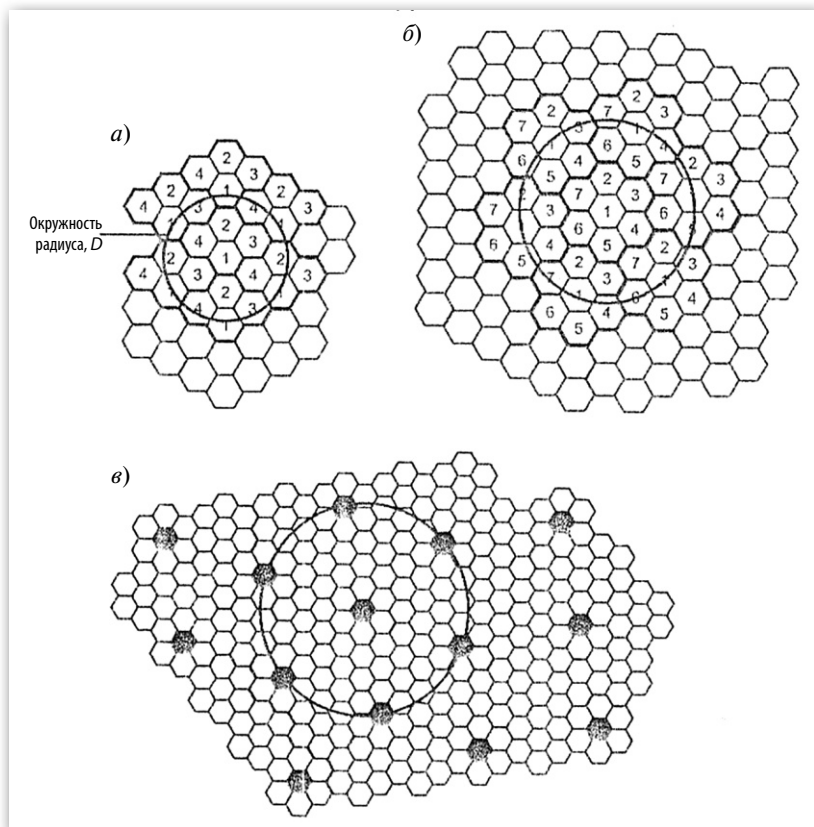


Рис. 4.9. Шаблоны повторного использования частоты:
а — для $N = 4$; б — для $N = 7$; в — черные ячейки указывают
на повторное использование частоты для $N = 19$

d — дистанция между центрами смежных ячеек ($d = \sqrt{3}R$)

N — число ячеек в повторяющемся шаблоне (каждая ячейка в шаблоне использует уникальную полосу частот), оно называется коэффициентом повторного использования (reuse factor).

Увеличение пропускной способности системы достигают следующими способами:

Добавление новых каналов. Обычно когда система устанавливается в данной области, то используются не все каналы, и разрастание и расширение могут происходить упорядоченным способом путем добавления новых каналов.

Заимствование частот. В простейшем случае перегруженные ячейки заимствуют частоты из соседних ячеек. Частоты могут также назначаться ячейкам динамически.

Разбивка ячеек. Ячейки в областях интенсивного использования могут разбиваться на ячейки меньшего размера. В основном исходные ячейки имеют размер от 6,5 до 13 км. Однако размер ячейки в 1,5 км близок к практическому минимуму (микроячейки). Для использования ячеек меньшего размера необходимо уменьшать уровень мощности для сохранения сигнала внутри ячейки. Также по мере перемещения мобильного устройства, оно передается от ячейки к ячейке, что требует передачи вызова от одного базового приемопередатчика к другому. Этот процесс называется перепасовкой (hand-off). По мере того, как размер ячейки уменьшается, перепасовка становится все более частой. Радиус уменьшается с коэффициентом F_1 , уменьшая область покрытия и увеличивая необходимое число базовых станций с коэффициентом F_2 .

Разбиение ячейки на секторы. При этом ячейка разбивается на некоторое число угловых секторов (обычно 3 или 6), каждый из которых имеет собственный набор каналов. Каждому сектору назначается отдельное подмножество каналов ячейки и направленные антенны базовой станции, которые используются для наведения каждого сектора.

Микроячейки. По мере уменьшения ячеек антенны перемещаются от вершин высоких строений или холмов к вершинам небольших строений или к стенам больших строений и, наконец, на фонарные столбы, где они и формируют микроячейки. Каждое уменьшение размера ячейки сопровождается уменьшением уровня мощности излучения от базовой станции и мобильного устройства. Микроячейки полезны на городских улицах в перегруженных областях, вдоль скоростных трасс и внутри больших общественных зданий.

В табл. 4.1 предлагаются типичные параметры традиционных ячеек, которые называются макроячейками и микроячейками в современных технологиях.

Таблица 4.1

Типовые параметры для макроячеек и микроячеек

	Макроячейка	Микроячейка
Радиус ячейки	От 1 до 20 км	От 0,1 до 1 км
Мощность передачи	От 1 до 10 Вт	От 0,1 до 1 Вт
Средняя задержка распространения	От 0,1 до 10 мс	От 10 до 100 нс
Максимальная скорость передачи	0,3 Мбит/с	1 Мбит/с

Упрощенная схема сотовой сети проиллюстрирована на рис. 4.10.

Приблизительно в центре каждой ячейки находится базовая станция (BS). В состав BS входит антенна, контроллер и множество приемопередатчиков для коммуникации каналов, назначенных на эту ячейку. Контроллер используется для обработки процесса вызова между мобильным устройством и остальной частью сети. В любой момент времени могут быть активны множество мобильных пользователей, которые перемещаются примерно внутри ячейки, связываясь с BS. Каждая BS связана с мобильным центром коммутации (MTSO, Mobile Telephone Switching Office), причем один MTSO обслуживает несколько BS. Обычно канал связи между MTSO и BS представляет собой проводную линию, хотя беспроводной канал связи также возможен. MTSO выполняет коммутацию звонков между мобильными

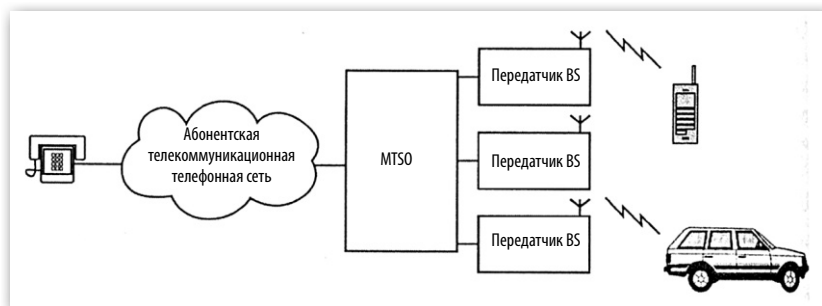


Рис. 4.10. Схема сотовой сети

устройствами, соединяет телефоны-автоматы или телекоммуникационную сеть, соединяет фиксированных абонентов с открытой сетью и мобильных абонентов с сотовой сетью. назначает голосовой канал на каждый звонок, выполняет прерывание разговора и контролирует телефонные звонки для выставления счетов.

Использование сотовой системы полностью автоматическое и не требует действий со стороны пользователя, кроме выполнения вызова и ответа на звонок. Между мобильным устройством и BS возможны два типа каналов: управляющие каналы и каналы трафика. *Управляющие каналы* (control channels) используются для обмена информацией, связанной с установкой и обслуживанием вызовов (звонков) и с установкой связи между мобильным устройством и ближайшей BS. По *каналам трафика* (traffic channels) передаются голос или данные между подключенными пользователями. Рис. 4.11 иллюстрирует шаги при выполнении звонка между двумя мобильными пользователями.

Инициализация мобильного устройства (mobile unit initialization). Когда мобильное устройство включено, оно сканирует эфир и выбирает наилучший управляющий канал, использующийся для данной системы (рис. 4.11, а). Затем между мобильным устройством и MTSO, контролирующим данную ячейку, происходит квотирование установки связи через BS данной ячейки. Квотирование используется для идентификации пользователя и регистрации его местоположения. До тех пор пока мобильное устройство включено, эта процедура сканирования повторяется периодически для расчета перемещения мобильного устройства. Если устройство входит в зону действия новой ячейки, тогда выбирается новая BS. Вдобавок мобильное устройство отслеживает пейджинг, о чем мы поговорим далее.

Вызов с мобильного устройства (mobile-originated call). Мобильное устройство начинает вызов, посылая номер вызываемого устройства на предварительно выбранный канал (рис. 4.11, б). Когда выясняется, что канал свободен, мобильное устройство может передавать по соответствующему обратному каналу (к BS). BS отправляет запрос на MTSO.

Пейджинг (paging). MTSO затем пытается завершить соединение с вызванным объектом. MTSO посылает пейджинговое сообщение на некоторую BS в зависимости от вызванного мобильного номера (рис. 4.11, в). Каждая BS передает пейджинговый сигнал на свой собственный присвоенный канал.

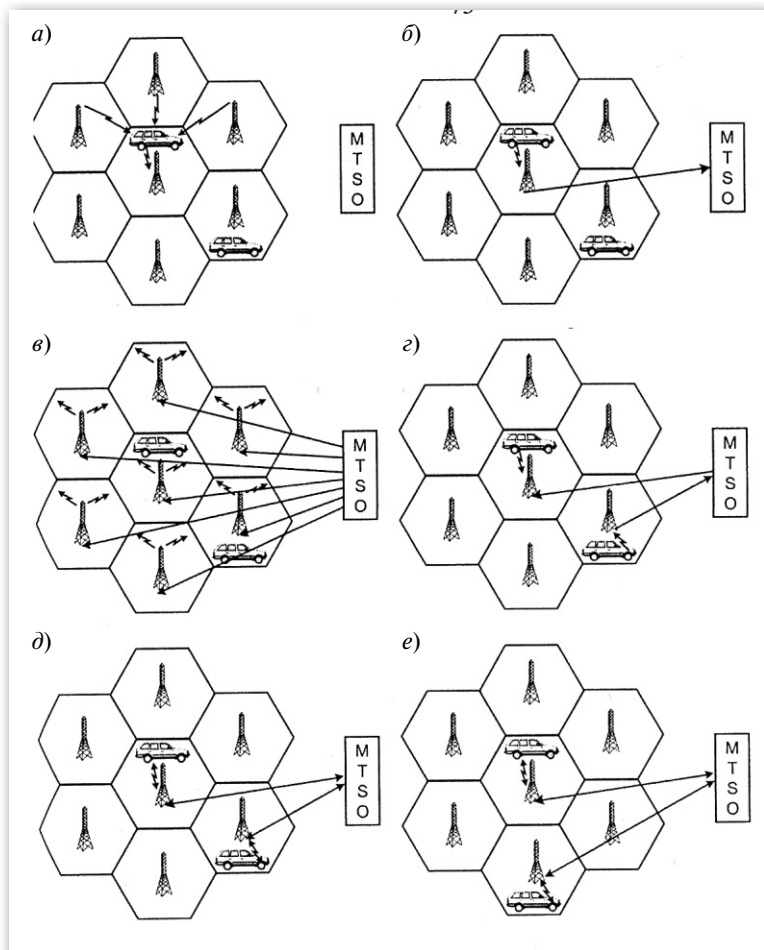


Рис. 4.11. Этапы вызова в сотовой сети:

а — наблюдение за сигналом; б — запрос на соединение; в — пейджинг;
г — получение вызова; д — поступивший вызов; е — переадресовка

Прием вызова (call accepted). Вызванное мобильное устройство распознает номер на проверяемом канале и отвечает MTSO. MTSO устанавливает канал между вызывающей и вызываемой BS. В то же самое время MTSO выбирает доступный канал для трафика внутри каждой ячейки BS и уведомляет каждую BS, которая в свою очередь уведомляет свое мобильное устройство (рис. 4.11, з). Два мобильных устройства настраиваются на соответствующие назначенные каналы.

Обслуживание вызова (ongoing call). В процессе обслуживания соединения два мобильных устройства обмениваются голосовыми данными или информационными сигналами, проходящими через соответствующие BS и MTSO (рис. 4.11, д).

Переадресация (hand-off). Если мобильное устройство в процессе соединения перемещается за сферу действия одной ячейки и входит в сферу действия другой, то канал трафика должен меняться на присвоенный BS в новой ячейке (рис. 4.11, е). Система выполняет это изменение без прерывания вызова или предупреждения пользователя.

Система выполняет также ряд других функций:

Блокировка вызова (call blocking). Если все каналы трафика, назначенные на ближайшую BS, заняты, то мобильное устройство выполняет заранее определенное число повторных попыток, и после некоторого числа безуспешных попыток сигнал занятости возвращается пользователю.

Прерывание вызова (call termination). Когда один или оба пользователя вешают трубку, MTSO информируется об этом, и каналы трафика на двух BS удаляются.

Сброс звонка (call drop). Во время соединения из-за интерференции или слабого сигнала в некоторых областях, если BS не может поддерживать минимально необходимый уровень сигнала в течение некоторого времени, канал трафика к пользователям сбрасывается, и об этом информируется MTSO.

Вызовы на/от фиксированного и удаленного мобильного абонента (calls to/from fixed and remote mobile subscriber). MTSO подключается к общей коммутируемой телефонной сети и поэтому может устанавливать соединение между мобильным пользователем в своей области и фиксированным абонентом через телефонную сеть, а также может подключаться к удаленной MTSO через телефонную сеть или через выделенные линии

В России сотовая связь начала внедряться с 1990 г., коммерческое использование началось с 9 сентября 1991 г., когда в Санкт-Петербурге компанией «Дельта Телеком» была запущена первая в России сотовая сеть (работала в стандарте NMT-450) и был совершён первый символический звонок по сотовой связи мэром Санкт-Петербурга Анатолием Собчаком.

GSM (Global System for Mobile Communications) относится к сетям второго поколения (2 Generation) (1G — аналоговая сотовая связь, 2G — цифровая сотовая связь, 3G — широкополосная цифровая сотовая связь, коммутируемая многоцелевыми компьютерными сетями, в том числе Интернет). Сотовые телефоны выпускаются для 4 диапазонов частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц. GSM на сегодняшний день является наиболее распространённым стандартом связи. По данным ассоциации GSM (GSMA) на данный стандарт приходится 82% мирового рынка мобильной связи, 29% населения земного шара использует глобальные технологии GSM. В GSMA в настоящее время входят операторы более чем 210 стран и территорий.

Преимущества стандарта GSM:

- меньшие по сравнению с аналоговыми стандартами (NMT-450, AMPS-800) размеры и вес телефонных аппаратов при большем времени работы без подзарядки аккумулятора;
- хорошее качество связи при достаточной плотности размещения базовых станций;
- большая ёмкость сети, возможность большого числа одновременных соединений;
- низкий уровень промышленных помех в данных частотных диапазонах;
- улучшенная (по сравнению с аналоговыми системами) защита от подслушивания и нелегального использования, что достигается путём применения алгоритмов шифрования с разделяемым ключом;
- эффективное кодирование (сжатие) речи;
- возможность роуминга.

Недостатки стандарта GSM:

- искажение речи при цифровой обработке и передаче;
- связь возможна на расстоянии не более 120 км от ближайшей базовой станции даже при использовании усилителей и направ-

ленных антенн. Поэтому для покрытия определённой площади необходимо большее количество передатчиков, чем в NMT-450 и AMPS.

В CDMA-телефонах (англ. Code Division Multiple Access — множественный доступ с кодовым разделением), в отличие от GSM, одновременно применяется временное и кодовое разделение каналов. Сотовые телефоны CDMA используют очень широкую полосу частот для приема и передачи информации.

Расширение полосы частот CDMA телефонов позволяет получить следующие преимущества по сравнению с GSM:

- увеличение количества передаваемой информации за единицу времени. Это выражается в улучшенном качестве связи и большей скоростью доступа в Интернет;
- уменьшение мощности передатчика сотового телефона;
- улучшенная помехозащищенность.

Так же, как и в GSM телефонах, в CDMA используется криптографическое и помехоустойчивое кодирование.

Последующее развитие технологии CDMA происходит в рамках технологии CDMA2000. При построении системы мобильной связи на основе технологии CDMA2000 1X первая фаза обеспечивает передачу данных со скоростью до 153 кбит/с, что позволяет предоставлять услуги голосовой связи, передачу коротких сообщений, работу с электронной почтой, Интернетом, базами данных, передачу данных и неподвижных изображений.

Разработчики оборудования CDMA связи решают вопрос достижения в ближайшее время следующих скоростей на одном частотном канале: 4,9 Мбит/с к абоненту и 2,4 Мбит/с от абонента.

4.8. Транкинговая связь

Системы транкинговой радиосвязи представляют собой радиально-зональные системы подвижной УКВ-радиосвязи и являются классом систем подвижной связи, ориентированным, прежде всего, на создание различных ведомственных и корпоративных сетей связи, в которых предусматривается активное применение режима связи абонентов в группе. Они широко используются силовыми и правоохранительными структурами, службами общественной безопасности различных стран для обеспечения связи подвижных абонентов между собой,

со стационарными абонентами и абонентами телефонной сети. В них осуществляется автоматическое распределение каналов связи ретрансляторов между абонентами.

Термин «транкинг» происходит от английского Trunking, что можно перевести как «объединение в группу, пучок».

Существует большое количество различных стандартов транкинговых систем подвижной радиосвязи общего пользования (СПР-ОП), отличающихся друг от друга следующими характеристиками, но имеющие при этом общую однозоновую схему (рис. 4.12):

- методом передачи речевой информации (аналоговые и цифровые);
- типом многостанционного доступа (МДЧР — с частотным разделением каналов, МДВР — с временным разделением каналов или МДКР — с кодовым разделением каналов);
- способом поиска и назначения канала (с децентрализованным и централизованным управлением);
- типом канала управления (выделенный и распределенный);
- количеством зон (однозоновые и многозоновые);
- способом организации канала (полудуплексные и дуплексные)

Ретранслятор (РТ) — набор приемопередающего оборудования, обслуживающего одну пару несущих частот

Антенны. Важнейший принцип построения транкинговых систем заключается в том, чтобы создавать зоны радиопокрытия настолько большими, насколько это возможно. Поэтому антенны базовой станции, как правило, размещаются на высоких мачтах или сооружениях и имеют круговую диаграмму направленности. Разумеется, при расположении базовой станции на краю зоны применяются направленные антенны. Базовая станция может располагать как единой приемопередающей антенной, так и отдельными антеннами для приема и передачи. В некоторых случаях на одной мачте могут размещаться несколько приемных антенн для борьбы с замираниями, вызванными многолучевым распространением.

Устройство объединения радиосигналов позволяет использовать одно и то же антенное оборудование для одновременной работы приемников и передатчиков на нескольких частотных каналах. Ретрансляторы транкинговых систем работают только в дуплексном режиме, причем разнос частот приема и передачи (дуплексный разнос) в зависимости от рабочего диапазона составляет от 3 МГц до 45 МГц.

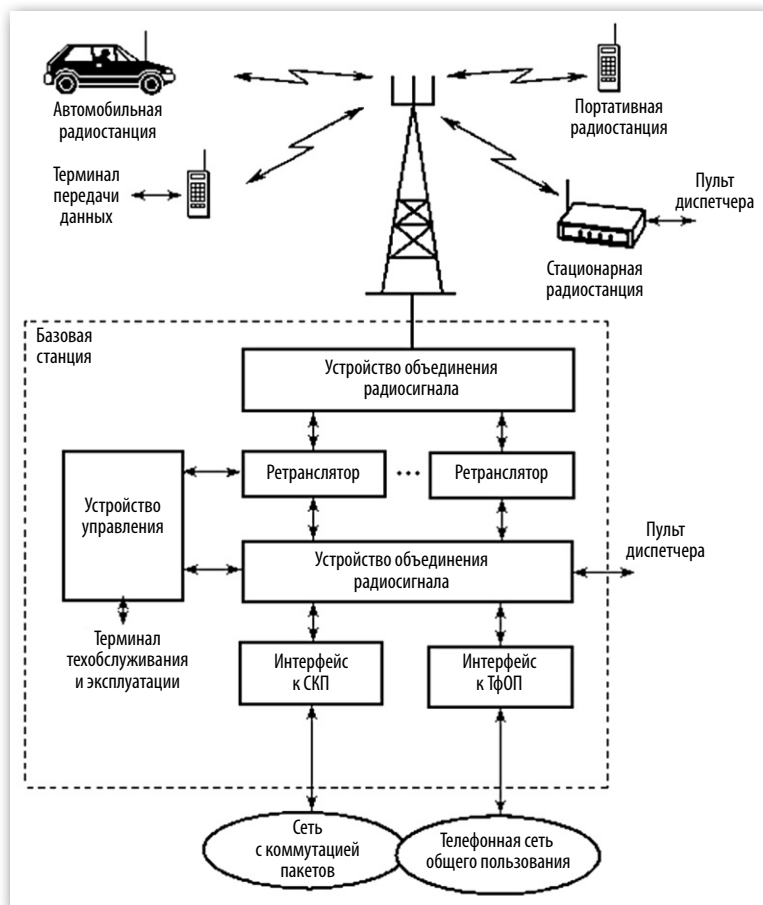


Рис. 4.12. Общая схема однозоновой транкинговой системы

Коммутатор в однозоновой транкинговой системе обслуживает весь ее трафик, включая соединение подвижных абонентов с телефонной сетью общего пользования (ТФОП) и все вызовы, связанные с передачей данных.

Устройство управления обеспечивает взаимодействие всех узлов базовой станции. Оно также обрабатывает вызовы, осуществляет аутентификацию вызывающих абонентов (проверку «свой-чужой»),

ведение очередей вызовов и внесение записей в базы данных повременной оплаты. В некоторых системах управляющее устройство регулирует максимально допустимую продолжительность соединения с телефонной сетью. Как правило, используются два варианта регулирования: уменьшение продолжительности соединений в заранее заданные часы наибольшей нагрузки, или адаптивное изменение продолжительности соединения в зависимости от текущей нагрузки.

Интерфейс ТфОП реализуется через аппаратуру прямого набора номера DID (Direct Inward Dialing), обеспечивающую доступ к абонентам транкинговой сети с использованием стандартной нумерации АТС.

Диспетчерский пульт. Транкинговые системы используются в первую очередь теми потребителями, чья работа не обходится без диспетчера. Это службы охраны правопорядка, скорая медицинская помощь, пожарная охрана, транспортные компании, муниципальные службы. Диспетчерские пульта могут включаться в систему по абонентским радиоканалам, или подключаться по выделенным линиям непосредственно к коммутатору базовой станции. Следует отметить, что в рамках одной транкинговой системы может быть организовано несколько независимых сетей связи, каждая из которых может иметь свой диспетчерский пульт. Пользователи каждой из таких сетей не будут замечать работы соседей, и что не менее важно, не смогут вмешиваться в работу других сетей.

Абонентское оборудование. Наиболее многочисленными являются полудуплексные радиостанции, т. к. именно они в наибольшей степени подходят для работы в замкнутых группах. В большинстве своем это радиостанции с ограниченным числом функций, не имеющие цифровой клавиатуры. Их пользователи имеют возможность связываться лишь с абонентами внутри своей рабочей группы, а также посылать экстренные вызовы диспетчеру. Выпускаются и полнодуплексные радиостанции с широким набором функций и цифровой клавиатурой, но они предназначены для более узкого круга абонентов.

Архитектура многозоновых транкинговых систем может строиться по двум различным принципам. В том случае, если определяющим фактором является стоимость оборудования, используется распределенная межзональная коммутация. Каждая базовая станция в такой системе имеет свое собственное подключение к ТфОП. При необходимости вызова из одной зоны в другую он производится через интер-

фейс ТфОП, включая процедуру набора телефонного номера. Кроме того, базовые станции могут быть непосредственно соединены с помощью физических выделенных линий связи.

Транкинговые сети предоставляют абонентам возможность производить различные типы вызовов внутри системы: индивидуальный (персональный) и групповой (диспетчерский). В первом случае вызов направляется только одному абоненту, во втором — нескольким абонентам.

Групповой вызов в рамках одной группы является Основным типом вызова в транкинговых системах (рис. 4.13). Групповой вызов принципиально может быть произведен только в полудуплексном режиме. Пока вызывающий абонент говорит и его радиостанция находится в режиме передачи, все остальные члены группы принимают сообщение вызывающего абонента. В ходе последующего радиообмена реплика каждого члена группы автоматически становится слышна всем участникам группы. Групповой вызов может производиться с полудуплексной радиостанции — для этого пользователю достаточно нажать на кнопку «Передача». Вхождение в связь со «своей» группой абонентов производится автоматически. Если надо связаться с абонентами других групп, следует вначале набрать на клавиатуре радиостанции номер нужной группы. Групповой вызов обеспечивают все известные транкинговые системы.

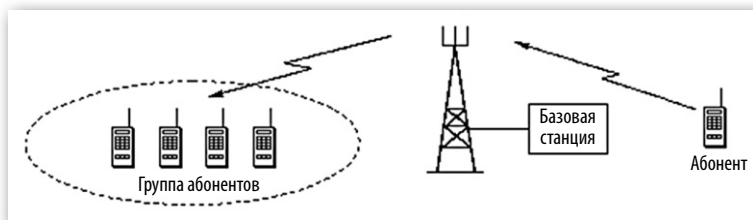


Рис. 4.13. Вызов произвольно выбранной группы

Персональный внутренний вызов (рис. 4.14) является привилегированным типом вызова. Для его послышки пользователь должен использовать радиостанцию с цифровой клавиатурой. Персональный внутренний вызов может быть произведен не только в полудуплексном, но и в дуплексном режиме (обе абонентские радиостанции являются дуплексными).

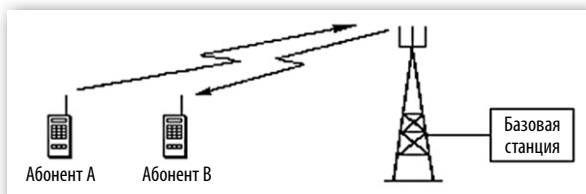


Рис. 4.14. Персональный вызов

Исторически первыми появились аналоговые транкинговые системы радиосвязи, такие как SmartTrunk, системы протокола MPT1327 (ACCESSNET, ACTIONET и др.), системы фирмы Motorola (Startsite, Smartnet, Smartzone), системы с распределенным каналом управления (LTR и Multi-Net фирмы E.F. Johnson Co и ESAS фирмы Uniden). Наибольшее распространение получили системы MPT1327, что объясняется значительными преимуществами данного стандарта по сравнению с другими аналоговыми системами.

В России большинство крупных транкинговых сетей также было построено на базе оборудования стандарта MPT1327. Однако первой транкинговой системой была советская система полностью автоматической мобильной связи «Алтай». В 1963 году в Москве была запущена опытная зона системы «Алтай». Аналогичная система в США (MTS, Mobile Telephone Service), была запущена в 1964 году.

Радиотелефонная система «Алтай» была задумана в конце 50-х как средство телефонной связи руководителей государства, партийной и промышленной номенклатуры и была создана в Воронежском НИИ Связи. Позднее был осуществлен переход на более прогрессивную транкинговую систему «КаPaT» (протокол MPT 1327), работавшую совместно с «Алтаем» на тех же частотах и на одном коммутаторе.

В настоящее время процесс развертывания сетей транкинговой радиосвязи во всем мире характеризуется широким внедрением цифровых систем. Практически все ведущие мировые поставщики оборудования, системные интеграторы и операторы, а также многие крупные потребители услуг транкинговой радиосвязи (в России это, в первую очередь, крупные ведомства и корпорации, такие как РАО ЕЭС, Минтранс, МПС, Сибнефть и другие, а также силовые структуры и правоохранительные органы) объявили о своем переходе к цифровым системам.

К наиболее популярным стандартам цифровой транкинговой радиосвязи относятся:

- EDACS, разработанный фирмой Ericsson;
- TETRA, разработанный Европейским институтом стандартов связи;
- APCO 25, разработанный Ассоциацией официальных представителей служб связи органов общественной безопасности;
- Tetrapol, разработанный фирмой Matra Communication (Франция);
- iDEN, разработанный фирмой Motorola (США);
- ASTRO разработанный фирмой Motorola (США).

Рассмотрим характеристики стандартов TETRA и APCO 25, которые являются открытыми и системы на их базе широко представлены в России и за рубежом, таблица 4.2.

Т а б л и ц а 4.2

Характеристики стандартов TETRA и APCO 25

Стандарт	Метод разделения каналов	Диапазон частот, МГц	Дальность связи город, км	Дальность связи пригород, км	Время установления связи, сек
APCO-25	FDMA	138–174; 406–512; 746–869	35	7,6	0,2–0,5
TETRA	TDMA	150–900	17,5	3,8	0,2–0,5

Из таблицы видно, что системы с FDMA обеспечивают большую дальность по сравнению с системами с TDMA. Это объясняется меньшей энергией сигнала на один бит информации.

Архитектура современных транкинговых систем представляет собой несколько многоканальных радиосайтов, размещённых в разных частях города, и объединённых между собой IP-сетью (рис. 4.15).

Такая система обеспечивает устойчивую радиосвязь абонентам, находящимся в любых частях территории обслуживания сети связи, вне зависимости от того, в зоне действия одного радиосайта они находятся, или в разных. При этом по-прежнему возможна поддержка аналогового стандарта МРТ 1327. Всё оборудование имеет высокие показания по резервированию, в том числе по электроснабжению, что позволяет обеспечивать долгое время работу пользователей в системе в экстренных ситуациях в случае пропадания основного электропитания базового оборудования.

Безопасность связи. Понятие безопасности связи включает в себя требования по обеспечению секретности переговоров (исключение

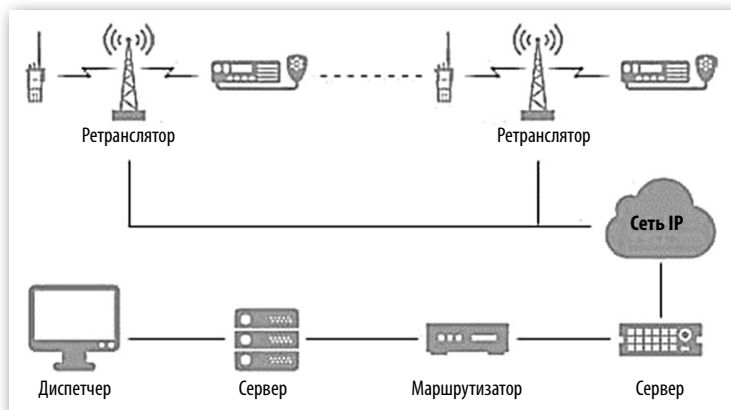


Рис. 4.15. Схема современной транкинговой системы

возможности извлечения информации из каналов связи кому-либо кроме санкционированного получателя) и защиты от несанкционированного доступа к системе (исключение возможности захвата управления системой, попыток вывести ее из строя и т. п.). Если сравнивать сами стандарты, а не системы и комплексы технических средств на их основе, то можно сказать, что все стандарты обладают сравнимой степенью как защиты информации, так и защиты от несанкционированного доступа. Они обеспечивают возможность применения стандартных алгоритмов защиты информации, а также возможность использования оригинальных алгоритмов, разработанных пользователями сетей радиосвязи. Например, в стандарте APCO 25 речевое сообщение может подвергаться двойному шифрованию (сначала по алгоритму Рида—Соломона, а затем — по упрощенному алгоритму Голея).

5. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

5.1. Типы компьютерных сетей

Компьютерные сети, называемые также сетями передачи данных, являются логическим результатом эволюции двух важнейших научно-технических отраслей современной цивилизации — компьютерных и телекоммуникационных технологий.

С одной стороны, сети представляют собой частный случай распределенных вычислительных систем, в которых группа компьютеров согласованно выполняет набор взаимосвязанных задач, обмениваясь данными в автоматическом режиме. С другой стороны, компьютерные сети могут рассматриваться как средство передачи информации на большие расстояния, получившие развитие в различных телекоммуникационных системах.

Компьютерная сеть — это совокупность вычислительных систем, объединённых каналами передачи информации для её распространения и использования [13].

Самая простая сеть состоит из двух компьютеров, соединённых друг с другом кабелем, что позволяет им обмениваться данными. Рождение компьютерных сетей было обусловлено практической потребностью в совместном использовании данных. Концепция соединённых и совместно использующих ресурсы компьютеров называется сетевым взаимодействием.

Первоначально компьютерные сети были небольшими и объединяли до 10 компьютеров и один принтер. В начале 80-х годов самой популярной была сеть до 30 компьютеров с общей длиной кабеля до 200 метров. Эти сети располагались в пределах одного этажа здания или небольшой фирмы, поэтому они получили название локальных вычислительных сетей (ЛВС). Локальную сеть характеризуют высокая скорость и надежность передачи, эффективные механизмы управления обменом данными, ограниченное число компьютеров в сети.

Глобальные вычислительные сети (ГВС) рассчитаны на неограниченное число сетевых абонентов (включая ЛВС) и не имеют территориальных ограничений. Глобальные сети уступают локальным сетям по скорости и надежности передачи, по эффективности управления обменом данными. Главным для глобальной сети является факт существования связи на неограниченном расстоянии.

На структурном уровне все сети имеют некоторые общие функциональные компоненты, в том числе:

- серверы — компьютеры сети, ресурсы которых доступны сетевым пользователям;
- клиенты — компьютеры сети, использующие сетевые ресурсы серверов;
- рабочие станции — компьютеры сети, с помощью которых пользователи регистрируются в сети и получают доступ к ресурсам

сети. Рабочая станция является, как правило, компьютером-клиентом сети.

- среда передачи — способ соединения компьютеров;
- разделяемые ресурсы сети.

Компьютеры, входящие в сеть, могут совместно использовать:

- данные;
- сообщения;
- принтеры;
- факсимильные аппараты;
- модемы;
- другие устройства.

На программном уровне под приложением-сервером и приложением-клиентом понимаются процессы, выполняющие соответственно функции предоставления и использования сетевых услуг (ресурсов).

В соответствии с распределением функций компьютеров в локальных сетях, последние делят на два типа: одноранговые и сети на основе выделенного сервера (двухранговые).

Выбор типа сети зависит от ряда факторов:

- размера предприятия;
- необходимой степени безопасности;
- доступности административной поддержки;
- объёма сетевого трафика;
- вида бизнеса.

В *одноранговых* сетях все компьютеры равноправны и обычно каждый компьютер выступает и как клиент и как сервер. Пользователи сами решают, какие данные на своём компьютере сделать доступными по сети. Одноранговые сети объединяют до 15 компьютеров и называются рабочими группами.

Одноранговые сети относительно простые, т. к. нет необходимости устанавливать мощный центральный сервер и другие компоненты, необходимые для больших сетей. Этим объясняется их низкая стоимость.

В операционные системы (ОС) всех современных компьютеров поддержка одноранговых сетей встроена и нет необходимости устанавливать дополнительные компоненты. Одноранговая сеть подходит там, где количество пользователей невелико, они расположены компактно, вопросы защиты данных не критичны и в обозримом будущем не ожидается значительного расширения фирмы, а, следовательно,

и сети. Пользователи должны обладать достаточным уровнем знаний, чтобы успешно выполнять обязанности администратора своего компьютера.

Сети на основе выделенного сервера. Выделенным называют такой сервер, который функционирует только как сервер и не используется в качестве рабочей станции. Он оптимизирован для быстрой обработки запросов от сетевых клиентов и для повышения защищённости файлов и каталогов. Сети на основе сервера стали промышленным стандартом.

Чтобы сети отвечали современным требованиям пользователей, в больших сетях серверы делают специализированными. Например, серверы файлов и печати, серверы приложений, почтовые серверы, коммуникационные серверы, серверы служб каталогов.

5.2. Топология сети

Термин компоновка или топология сети обозначает физическое расположение компьютеров, кабелей и других сетевых компонентов. От топологии зависит характеристика сети. Выбор топологии влияет на состав и возможности сетевого оборудования, возможности расширения сети и на способ управления сетью. Для соединения компьютеров в большинстве случаев используется кабель.

Базовые топологии

Все сети строятся на основе трёх базовых топологий: шина (bus), звезда (star) и кольцо (ring).

В топологии *шина* (рис. 5.1) используется один кабель, называемый магистралью или сегментом, к которому подключены все компьютерные сети. Это самая простая и поначалу была самая распространённая реализация сети.

Данные в виде электрических сигналов передаются всем компьютерам сети. Информацию получает тот компьютер, чей адрес закодирован в этих сигналах. Производительность этой сети зависит от количества компьютеров, подключённых к шине. Чем больше компьютеров, тем большее их число ожидает передачи, тем медленнее сеть. Передачу может вести только один компьютер. Однако вывести прямую зависимость между производительностью и числом компьютеров нельзя, т. к. на производительность влияют и другие факторы,

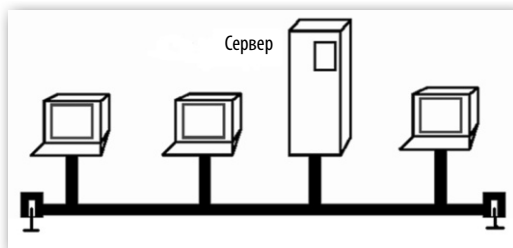


Рис. 5.1. Сеть с топологией шина

например: тип аппаратного обеспечения компьютеров; тип работающих приложений; тип сетевого кабеля; расстояние между компьютерами в сети.

Шина — это пассивная топология. Это значит, что компьютеры только слушают передаваемые данные, но не перемещают их от отправителя к получателю. Если один из компьютеров выйдет из строя, это не скажется на работе всей сети. Электрические сигналы распространяются от одного конца кабеля к другому. Сигнал, достигая конца кабеля, будет отражаться и создавать помехи полезному сигналу. Чтобы предотвратить отражение сигнала на каждом свободном конце кабеля устанавливаются согласователи, (по американской терминологии — терминаторы), которые поглощают отраженные сигналы, заземляя их через резистор.

Расширение сети с топологией шина производят двумя способами:

1. Используют коаксиальный разъём (barrel connector). Сигнал при этом ослабевает.
2. Используют повторитель. В отличие от разъёма он усиливает сигнал перед передачей его в последующий сегмент. Его использование предпочтительнее.

Повторители работают на физическом уровне модели OSI, восстанавливая сигнал и передавая его через другие сегменты. Чтобы данные поступали в другой сегмент, каждый из сегментов должен использовать одинаковые пакеты и протоколы. Повторители не имеют функции преобразования и фильтрации, но повторитель может передавать пакеты из одного типа физического носителя в другой. Повторители — это самый дешёвый способ расширить сеть. Их применение целесообразно, когда необходимо увеличить длину сегмента или количество узлов и при этом нет ограничения на трафик. Повторители

передают пакеты, даже если данные имеют искажённую информацию или не предназначены для данного сегмента. Кроме того, повторители передают все широковещательные пакеты, распространяя их по всей сети.

При топологии *звезда* (рис. 5.2) все компьютеры с помощью сегментов кабеля подключаются к центральному компоненту — концентратору (hub). Сигналы от передающего компьютера поступают через концентратор ко всем остальным.

Недостатки этой топологии:

- для больших сетей значительно увеличивается расход кабеля.
- если концентратор выйдет из строя, остановится вся сеть.

При топологии *кольцо* все компоненты подключаются к кабелю, замкнутому в кольцо (рис. 5.3). Сигналы передаются по кольцу в одном направлении и проходят через каждый компьютер. Каждый компьютер выступает в роли повторителя, усиливая сигналы (это активная топология, как и звезда). Недостаток: если выходит из строя один компьютер, прекращает работу вся сеть.

Один из способов передачи данных по кольцевой сети называется передачей маркера. Маркер (token) последовательно от одного компьютера к другому передаётся до тех пор, пока его не получит тот компьютер, который хочет передавать данные. Передающий компьютер видоизменяет маркер, добавляет к нему данные, адресную информацию и отправляет дальше по кольцу. Данные проходят через каждый компьютер, пока не окажутся у того, чей адрес совпадает с адресом получателя. После этого принимающий компьютер посылает передающему сообщение, подтверждающее приём. Получив подтверждение, передающий компьютер генерирует новый маркер и возвращает его в сеть.

Концентраторы. Одним из стандартных компонентов сетей являются концентраторы. Концентраторы

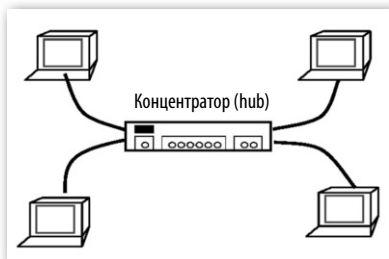


Рис. 5.2. Сеть с топологией звезда

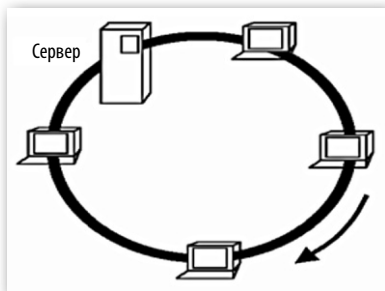


Рис. 5.3. Сеть с топологией кольцо

бывают активные и пассивные. Активные концентраторы регенерируют и передают сигналы так же как повторители (отсюда другое название — многопортовые повторители). Обычно они имеют от 8 до 24 портов подключения к компьютеру. Активные концентраторы надо обязательно подключать к электросети. Пассивные концентраторы пропускают через себя сигналы как узлы коммутации, не усиливая их. Эти концентраторы не надо подключать к электросети.

Гибридными называются концентраторы, к которым можно подключать кабели различных типов.

Концентраторы дают преимущества:

- упрощается изменение конфигурации сети и её расширение;
- можно использовать различные порты для подключения кабелей разного типа;
- есть возможность централизованного контроля за работой сети и сетевым трафиком. Многие активные коммутаторы имеют возможность диагностики и выявления неработоспособных соединений.

Комбинированные топологии

Звезда-шина (рис. 5.4). Несколько топологий звезда соединяются с помощью магистральной линейной шины.

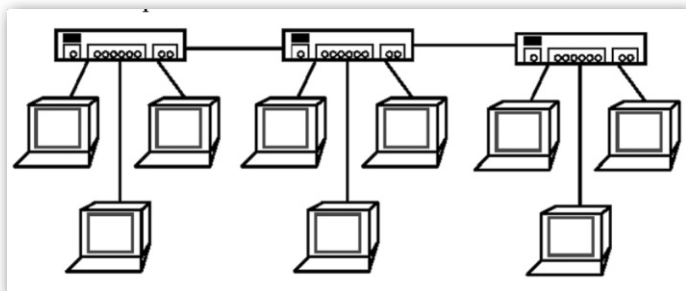


Рис. 5.4. Сеть с топологией звезда-шина

Звезда-кольцо (рис. 5.5). Отличие топологии от предыдущей в том, что все концентраторы подключены к центральному концентратору. Логическое кольцо организуется внутри главного концентратора.

Полносвязная топология (рис. 5.6) соответствует сети, в которой каждый компьютер непосредственно связан со всеми остальными

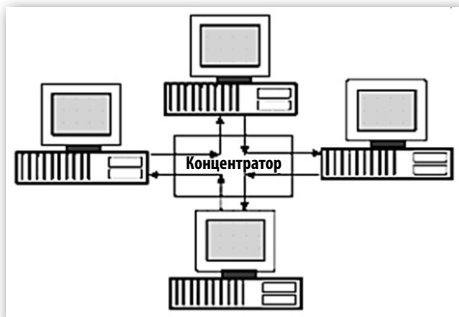


Рис. 5.5. Сеть с топологией звезда-кольцо

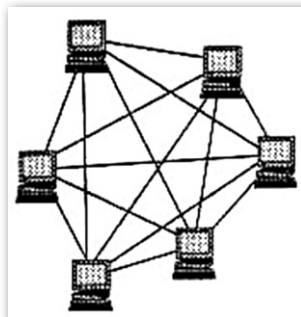


Рис. 5.6. Полносвязная топология

(может рассматриваться как комбинация предыдущих топологий). Несмотря на логическую простоту, этот вариант оказывается громоздким и неэффективным. Действительно, в таком случае каждый компьютер в сети должен иметь большое количество коммуникационных портов, достаточное для связи с каждым из остальных компьютеров сети. Для каждой пары компьютеров должна быть выделена отдельная физическая линия. Полносвязные топологии в крупных сетях применяются редко, так как для связи N узлов требуется $N(N-1)/2$ физических дуплексных линий связей, то есть имеет место квадратичная зависимость от числа узлов. Чаще этот вид топологии используется в глобальных сетях, объединяющих небольшое количество узлов.

5.3. Сетевые модели и протоколы

В процессе передачи данных от одного компьютера к другому можно выделить следующие задачи:

- распознать данные;
- разбить данные на управляемые блоки;
- добавить информацию к каждому блоку, чтобы указать местонахождение данных и получателя;
- добавить информацию синхронизации и проверки ошибок;
- поместить данные в сеть и отправить по адресу.

Сетевая ОС при выполнении всех этих задач следует строгому набору процедур (протоколов). Они регламентируют каждую сетевую операцию. Взаимодействие компьютеров в сети описывается моделью OSI и её модификацией Project 802.

Модель OSI. В 1978 году организация ISO выпустила ряд спецификаций, описывающих архитектуру сети с неоднородными свойствами. Исходный документ относится к открытым системам, чтобы все они могли использовать одинаковые протоколы и стандарты для обмена информацией. В 1984г. ISO выпустила новую версию своей модели: «эталонная модель взаимодействия открытых систем» — Open System Interconnection (OSI). Она стала международным стандартом, и её спецификации используют производители при разработке сетевых продуктов. Являясь многоуровневой системой, она отражает взаимодействие аппаратного и программного обеспечения при осуществлении сеанса связи. В модели OSI все функции распределены по семи уровням (рис. 5.7).

7. Прикладной
6. Представительский
5. Сеансовый
4. Транспортный
3. Сетевой
2. Канальный
1. Физический

Рис. 5.7. Модель OSI

Нижние уровни (1,2) определяют физическую связь передачи данных и соответствующие задачи. Верхние уровни определяют, каким образом осуществляется доступ приложений к услугам связи. Уровни отделяются границами — интерфейсами. Каждый уровень при выполнении функций пользуется услугами нижележащего уровня. Каждый уровень на компьютере отправителя работает так, как будто он напрямую связан с таким же уровнем на компьютере получателя. Связь существует виртуально между смежными уровнями компьютера-отправителя и компьютера-получателя, т. е. программное обеспечение каждого уровня реализует определённые сетевые функции в соответствии с набором протоколов.

Перед передачей в сеть данные разбиваются на пакеты. Пакет — единица информации, передаваемая между устройствами сети как единое целое. Пакеты проходят последовательно через все уровни программного обеспечения. На каждом уровне к пакету добавляется некоторая информация — формирующая или адресная, которая не-

обходима для успешной передачи данных по сети. На принимающей стороне пакет проходит все уровни в обратном порядке. Программное обеспечение читает информацию пакета, затем удаляет информацию, добавленную пакету на этом же уровне отправителя, и передаёт информацию следующему уровню. Когда пакет дойдёт до прикладного уровня, вся адресная информация будет удалена, и данные примут первоначальный вид. За исключением нижнего уровня сетевой модели никакой другой уровень не может послать информацию соответствующему уровню приёмника.

Прикладной уровень представляет собой интерфейс для доступа прикладных процессов к сетевым услугам и поддерживает напрямую приложения пользователей, например, доступ к базам данных, передачу файлов, электронную почту. Прикладной уровень управляет общим доступом сети, потоком данных и восстановлением данных после сбоев связи.

Представительский уровень определяет формат, используемый для обмена данными между сетевыми компьютерами (уровень-переводчик). На компьютере-отправителе данные, поступающие от прикладного уровня, переводятся в общепонятный промежуточный формат. На этом же уровне компьютера-получателя производится обратный перевод из промежуточного формата в тот, который используется прикладным уровнем данного компьютера. Представительский уровень отвечает за преобразование протоколов, трансляцию данных, их шифрование, преобразование применяемого набора символов (кодировку) и обработку расширений графических команд. Он так же отвечает за сжатие данных для уменьшения объёма трафика. На этом уровне работает утилита, называемая редиректором. Её назначение — перенаправлять локальные операции ввода/вывода на сетевой сервер.

Сеансовый уровень позволяет двум приложениям, установленным на разных компьютерах, начинать, использовать, завершать соединения, называемые сеансом. На данном уровне выполняется распознавание имён и защита, необходимые для связи двух приложений. Сеансовый уровень обеспечивает синхронизацию между пользовательскими задачами посредством расстановки в потоке данных контрольных точек. В случае ошибки потребуется заново передать только данные, следующие за последней контрольной точкой. Этот уровень управляет диалогом между взаимодействующими процессами, т. е. регулирует, какая из сторон, когда и как долго должна осуществлять передачу.

Транспортный уровень гарантирует доставку пакетов без ошибок в той же последовательности без потерь и дублирования. На этом уровне компьютера-отправителя данные переупаковываются: длинные разбиваются на несколько пакетов, а короткие объединяются в один. Это повышает эффективность передачи пакетов по сети. На транспортном уровне получателя сообщение распаковывается и обычно посылается сигнал подтверждения приёма.

Сетевой уровень отвечает за адресацию сообщений и перевод логических адресов и имён в физические адреса. Здесь определяется маршрут от компьютера-отправителя к компьютеру-получателю; решаются задачи, связанные с сетевым трафиком, такие, как коммутация пакетов, маршрутизация и перегрузки. Если сетевой адаптер маршрутизатора не может передавать большие блоки данных, посланных отправителем на сетевом уровне, эти блоки разбиваются на меньшие. Сетевой уровень получателя собирает эти данные в исходное состояние.

Канальный уровень осуществляет передачу кадров данных от сетевого уровня к физическому. Кадр — логически организованная структура, в которую можно помещать данные (рис. 5.8).

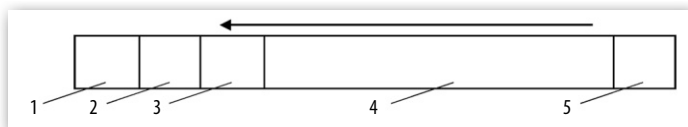


Рис. 5.8. Структура кадра данных

На рисунке 5.8: 1 — идентификатор получателя; 2 — идентификатор отправителя; 3 — управляющая информация: используется для маршрутизации и указывает на тип пакета и сегментацию; 4 — данные; 5 — контрольный байт — это сведения, которые помогают выявить ошибку при передаче.

Канальный уровень компьютера-получателя упаковывает «сырой» поток битов, поступающих от физического уровня в кадры данных. Он обеспечивает точность передачи данных между двумя компьютерами через физический уровень.

Физический уровень осуществляет передачу неструктурированного («сырого») потока битов по физической среде. Здесь реализуется электрический, оптический, механический и функциональный интерфейс с кабелем. Физический уровень формирует служебные сигналы, которые

переносят данные, поступившие от вышележащего уровня. Содержание самих битов на данном уровне значения не имеет. Этот уровень отвечает за кодирование данных и синхронизацию битов, гарантируя, что переданная единица будет воспринята как единица, а не как ноль. Этот уровень устанавливает длительность каждого бита и способ его перевода в соответствующие электрические или оптические импульсы.

Модель Project 802. Проект Project 802 выпущен в феврале 1980 года, был разработан в Институте инженеров по электротехнике и электронике — IEEE (англ. Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Project 802 устанавливает стандарты для физических компонентов сети, интерфейсных плат и кабельных систем, с которыми связаны физические и канальные уровни OSI. Стандарты, называемые 802-спецификациями, распространяются на платы сетевых адаптеров, компоненты глобальных вычислительных сетей и компоненты сетей, использующих кабели. Например, 802.3 — локальная вычислительная сеть архитектуры Ethernet; 802.4 — ЛВС топологии шина с передачей маркера; 802.10 — безопасность сетей.

Project 802, подробно описывая канальный уровень, разделил его на два подуровня:

- управление логической связью (LLC), т. е. установление и разрыв соединения, управление потоком данных, упорядочивание и подтверждение приёма кадров;
- управление доступом к среде (MAC): определение границ кадров, контроль ошибок, распознавание адресов кадров.

Подуровень MAC связан с платой сетевого адаптера и отвечает за безошибочную передачу данных между двумя компьютерами.

Протокол — это набор правил и процедур, регулирующий порядок осуществления некоторой связи.

Сетевые протоколы — правила и технические процедуры, позволяющие нескольким компьютерам при объединении в сеть общаться друг с другом.

Основные особенности:

- каждый протокол имеет свои цели, выполняет конкретные задачи, обладает своими преимуществами и ограничениями;
- протоколы работают на разных уровнях OSI. Функции протоколов определяются уровнем, на котором он работает;
- несколько протоколов могут работать совместно. В этом случае они образуют стек или набор протоколов.

Данные, передаваемые из одной локальной сети в другую по одному из возможных маршрутов, называются маршрутизированными. Протоколы, поддерживающие передачу данных между сетями по нескольким маршрутам, называются маршрутизируемыми.

Каждый уровень стека протоколов определяет различные протоколы для управления функциями связи. Процесс, называемый привязкой, позволяет гибко настраивать сеть и сочетать протоколы и платы сетевых адаптеров. Если на компьютере установлено более одной платы сетевого адаптера, стек протоколов может быть привязан как к одной, так и к нескольким платам. Если с одной платой сетевого адаптера связано несколько протоколов, то порядок привязки определяет очерёдность, с которой будут использоваться протоколы при попытках установить соединение. Привязку выполняют при установлении операционной системы или протокола. Если попытка связи по первому протоколу неудачна, компьютер попытается установить соединение, используя следующий по порядку протокол в списке привязки.

Стандартные стеки. В качестве стандартных моделей протоколов разработано несколько моделей стеков: OSI, Novell Netware; набор протоколов Интернета TCP/IP, протоколы фирмы IBM: SNA и др. Протоколы этих стеков выполняют специфическую для своего уровня работу. Коммуникационные задачи, которые возложены на сеть, позволяют выделить среди протоколов три типа: прикладные, транспортные и сетевые.

Прикладные протоколы работают на трех верхних уровнях модели OSI, обеспечивают взаимодействие приложений и обмен данными между ними. Наиболее популярные прикладные протоколы:

- SMTP — протокол Интернета для обмена электронной почтой;
- FTP — протокол Интернета для передачи файлов;
- SNMP — протокол Интернета для мониторинга сети и сетевых ПК;
- Telnet — протокол Интернета для регистрации удалённых хостов и обработки данных на них;
- X 400 — протокол для международного обмена электронной почтой;
- X 500 — протокол службы файлов и каталогов.

Транспортные протоколы — поддерживают сеанс связи между ПК и гарантируют надёжный обмен данными:

- TCP — прокол гарантированной доставки данных, разбитых на пакеты;
- SPX — протокол фирмы Novell.
- UDP — протокол пользовательских дейтаграмм стека TCP/IP.

Сетевые протоколы — обеспечивают услуги связи, имеют дело с адресной и маршрутной информацией:

- IP — сетевой протокол стека TCP/IP;
- IPX — маршрутизированный протокол фирмы Novell.

Установка и удаление протоколов выполняется, так же, как и установка и удаление драйверов. Основные протоколы автоматически подключаются при первоначальной установке самой системы. В ОС Windows протоколом по умолчанию является TCP/IP.

Стек протоколов Интернет TCP/IP образует сегодня наиболее распространённый набор, поскольку может быть использован для обмена данными между любыми связанными сетями и одинаково подходит для локальных и глобальных сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Услуги связи по видам. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/statistic/rating/telekommunikacii/>, дата доступа: 30.03.2019.
2. Кунегин С.В. Системы передачи информации. Курс лекций. М.; в/ч 33965, 1997, — 317 с.
3. Варламова О. Помехоустойчивые кодеки — будущее цифровой телефонии // Сети. Режим доступа <https://www.osp.ru/nets/1997/10/142940>, дата доступа: 22.03.2019.
4. Силяков В.А., Красюк В.Н. Системы авиационной радиосвязи: Учеб. пособие / Под ред. В.А. Силякова; СПбГУАП. СПб., 2004. 160 с.
5. Коровин В.М. Средства связи с подвижными объектами // Введение в специальность. Режим доступа: https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&dtype=F&etype=.pdf&key=000384761, дата доступа 15.03.2019.
6. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е изд., исправ. — М.: Радио и связь, 2003. — 468 с.
7. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 288 с.
8. ВСС РФ. // Минсвязи России. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/search/?term=%D0%B2%D1%81%D1%81>, дата доступа 15.03.2019.

9. Основные принципы построения и организации технической эксплуатации // Книга 1. Режим доступа: <http://rykovodstvo.ru/exspl/2641/index.html>, дата доступа 15.03.2019.

10. Семенов Ю.А. Алгоритмы и протоколы каналов и сетей передачи данных. 2-е изд., исп. Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016.

11. Карякин В.Л. Цифровое телевидение: Учебное пособие для вузов, 3-е изд. — М.: Солон-Пресс, 2013. — 448 с.

12. Столингс В. Компьютерные сети, протоколы и технологии Интернета: пер. с англ. — СПб: БХВ-Петербург, 2005. — 832 с.

13. Чернокнижный Г.М. Вычислительные сети. Контроль безопасности в компьютерных сетях: Учебное пособие. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2016. — 97 с.

14. Васильева И.Н. Управление рисками информационной безопасности. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2016. — 177 с.

Учебное издание

Чернокнижный Геннадий Михайлович

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 17.05.19. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 6,5. Тираж 60 экз. Заказ 673.

Издательство СПбГЭУ. 191023, Санкт-Петербург, Садовая ул., д. 21.

Отпечатано на полиграфической базе СПбГЭУ