

КОМИТЕТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ ВОЛГОГРАДСКОЙ
ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «КОТОВСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»
(ГБПОУ «КОТОВСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»)

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УР

З.Ф. Дьякова

« 5 » 2022 г.



КУРС ЛЕКЦИЙ

ОП. 13 ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

09.02.06 Сетевое и системное администрирование

Форма обучения ОЧНАЯ

Котово,
2022

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине ОП. 13 ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ специальности 09.02.06 Сетевое и системное администрирование. Форма обучения очная

Организация-разработчик: Государственное профессиональное учреждение «Котовский экономический техникум» бюджетное образовательное промышленно-

Разработчики:
Трунова Людмила Владимировна, председатель ЦМО, преподаватель профессиональных дисциплин

РАССМОТРЕНО

На заседании ЦМО МЕМ и BT

Протокол № 4 от 3.02 2022 г.

Председатель ЦМО Трунова Л.В.

РЕКОМЕНДОВАНО

Научно-методический совет

Заключение № 6 от 5.02 2022 г.

Председатель методического совета З.Ф. Дьякова

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Физические среды передачи данных, типы линий связи	5
1.1. Классификация и характеристики линий связи.....	5
Первичные сети, линии и каналы связи.....	5
Характеристики линий связи	11
1.2. Стандарты кабелей	22
Структурированная кабельная система (СКС).....	29
Иерархия кабельных систем.	31
Выводы	34
Вопросы и задания	36
2. Современные методы передачи дискретной информации в сетях	38
2.1. Методы передачи дискретных данных на физическом уровне	38
Аналоговая модуляция	38
Методы кодирования	42
Логическое кодирование	48
Дискретная модуляция аналоговых сигналов	52
Асинхронная и синхронная передачи	55
Выводы	57
Вопросы и задания	58
2.2. Методы передачи данных канального уровня.....	58
Асинхронные протоколы.....	59
Синхронные символьно-ориентированные и бит-ориентированные протоколы.....	60
Передача с установлением соединения и без установления соединения..	65
Обнаружение и коррекция ошибок	66
Компрессия данных	72
Вопросы и упражнения.....	73
Выводы	74
2.3. Особенности протоколов канального уровня.....	75
Канальный уровень в модели OSI и TCP/IP-модели	75
Функции канального уровня	76
Формат данных канального уровня.....	77
Подуровни канального уровня.....	78
Протоколы.....	79
Протоколы второго подуровня	81
Протокол HDLC	84
LLC.....	88
Протоколы SLIP/CSLIP и PPP.....	90
Протокол управления канала связи PPP (LCP)	95
Выводы	96
Вопросы и упражнения.....	97
3. Принципы построения систем передачи информации.....	97
3.1. Принципы построения и структура взаимоувязанной сети связи РФ	97
Сети электросвязи	97

Вопросы и задания	110
3.2. Методы коммутации.....	110
Коммутация каналов	112
Коммутация пакетов	119
Коммутация сообщений	125
Выводы	127
Вопросы и упражнения.....	127
4. Беспроводная передача данных	128
4.1. Беспроводные каналы связи	128
Преимущества беспроводных коммуникаций.....	129
4.2. Беспроводные системы	136
4.3. Технология широкополосного сигнала	146
4.4. Системы мобильной связи	152
Стандарты мобильной связи	154
Сеть GSM с поддержкой GPRS	159
Выводы	164
Вопросы и задания	165
5. Первичные сети	166
5.1. Сети PDH	167
5.2. Сети SONET/SDH	170
5.3. Сети DWDM	180
Выводы	189
Вопросы и задания	190
Приложение	192
Глоссарий	196
Литература	200
Интернет ресурсы.....	200

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ТИПЫ ЛИНИЙ СВЯЗИ

В этом разделе рассматриваются общие характеристики линий связи, не зависящие от их физической природы, такие как полоса пропускания, пропускная способность, помехоустойчивость и достоверность передачи. Ширина полосы пропускания является фундаментальной характеристикой канала связи, так как определяет максимально возможную информационную скорость канала, которая называется пропускной способностью канала. Формула Найквиста выражает эту зависимость для идеального канала, а формула Шеннона учитывает наличие в реальном канале шума. Завершает главу рассмотрение конструкций и стандартов современных кабелей, которые составляют основу проводных линий связи.

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Список ключевых слов: линия связи, физическая среда передачи данных, проводная (воздушная) линия связи, кабельная линия связи, неэкранированная витая пара, экранированная витая пара, медный кабель, радиоканал, радио, диапазон очень высоких частот, диапазон ультравысоких частот, диапазон микроволн, аппаратура передачи данных, модем, терминальный адаптер сетей ISDN, устройства для подключения к цифровым каналам, оконечное оборудование данных, промежуточная аппаратура, повторитель, концентратор, усилитель, регенератор, мультиплексор, демультиплексор, коммутатор, аналоговая линия связи, цифровая линия связи.

ПЕРВИЧНЫЕ СЕТИ, ЛИНИИ И КАНАЛЫ СВЯЗИ

При описании технической системы, которая передает информацию между узлами сети, в литературе можно встретить несколько названий: линия связи, составной канал, канал, звено. Часто эти термины используются как синонимы, и во многих случаях это не вызывает проблем. В то же время есть и специфика в их употреблении.

□ Звено (*link*) — это сегмент, обеспечивающий передачу данных между двумя соседними узлами сети. То есть звено не содержит промежуточных устройств коммутации и мультиплексирования.

□ Каналом (*channel*) чаще всего обозначают часть пропускной способности звена, используемую независимо при коммутации. Например, звено первичной сети может состоять из 30 каналов, каждый из которых обладает пропускной способностью 64 Кбит/с.

□ Составной канал (*circuit*) — это путь между двумя конечными узлами сети. Составной канал образуется отдельными каналами промежуточных звеньев и внутренними соединениями в коммутаторах. Часто эпитет «составной» опускается, и термином «канал» называют как составной канал, так и канал между соседними узлами, то есть в пределах звена.

□ Линия связи может использоваться как синоним для любого из трех остальных терминов.

Не стоит относиться к путанице в терминологии очень строго. Особенно это относится к различиям в терминологии традиционной телефонии и более новой области — компьютерных сетей. Процесс конвергенции только усугубил проблему терминологии, так как многие механизмы этих сетей стали общими, но сохранили за собой по паре (иногда и больше) названий, пришедших из каждой области.

Кроме того, существуют объективные причины для неоднозначного понимания терминов. На рисунке 1 показаны два варианта линии связи. В первом случае (Рисунок 1, а) линия состоит из сегмента кабеля длиной несколько десятков метров и представляет собой звено. Во втором случае (Рисунок 1, б) линия связи представляет собой составной канал, развернутый в сети с коммутацией каналов. Такой сетью может быть первичная сеть или телефонная сеть.

Однако для компьютерной сети эта линия представляет собой звено, так как соединяет два соседних узла, и вся коммутационная промежуточная аппаратура является прозрачной для этих узлов. Повод для взаимного непонимания на уровне терминов компьютерных специалистов и специалистов первичных сетей здесь очевиден.

Первичные сети специально создаются для того, чтобы предоставлять услуги каналов передачи данных для компьютерных и телефонных сетей, про которые в таких случаях говорят, что они работают «поверх» первичных сетей и являются наложенными сетями.

Линия связи (Рисунок 1.) состоит в общем случае из физической среды, по которой передаются электрические информационные сигналы, аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры.

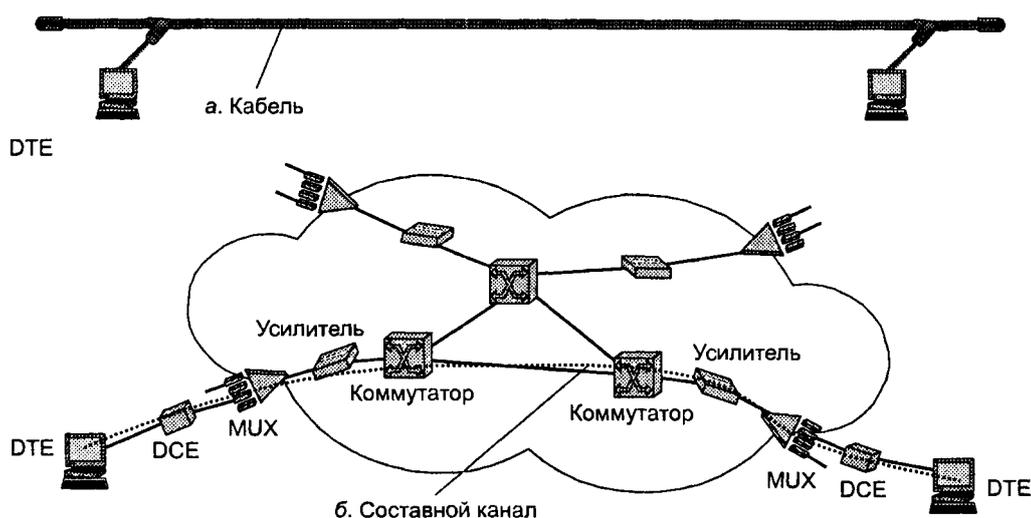


Рисунок 1. Состав линии связи

Физическая среда передачи данных (*medium*) может представлять собой кабель, то есть набор проводов, изоляционных и защитных оболочек и

соединительных разъемов, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.

В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на следующие (Рисунок 2.):

- проводные (воздушные);
- кабельные (медные и волоконно-оптические);
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.

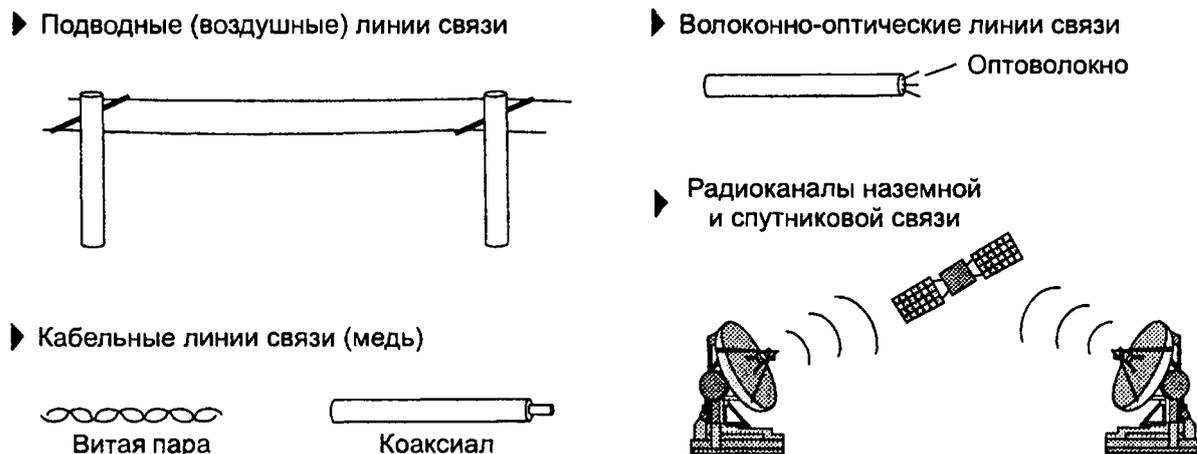


Рисунок 2. Типы линий связи

Проводные (воздушные) линии связи представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе. По таким линиям связи традиционно передаются телефонные или телеграфные сигналы, но при отсутствии других возможностей эти линии используются и для передачи компьютерных данных. Скоростные качества и помехозащищенность этих линий оставляют желать много лучшего. Сегодня проводные линии связи быстро вытесняются кабельными.

Кабельные линии представляют собой достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции: электрической, электромагнитной, механической, а также, возможно, климатической. Кроме того, кабель может быть оснащен разъемами, позволяющими быстро выполнять присоединение к нему различного оборудования. В компьютерных сетях применяются три основных типа кабеля: кабели на основе скрученных пар медных проводов, коаксиальные кабели с медной жилой, а также волоконно-оптические кабели.

Скрученная пара проводов называется *витой парой (twisted pair)*. Витая пара существует в экранированном варианте (*Shielded Twisted pair, STP*), когда пара медных проводов обертывается в изоляционный экран, и неэкранированном (*Unshielded Twisted pair, UTP*), когда изоляционная обертка отсутствует. Скручивание проводов снижает влияние внешних помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю. *Коаксиальный кабель (coaxial)* имеет несимметричную конструкцию и состоит из внутренней медной жилы и оплетки, отделенной от жилы слоем изоляции. Существует несколько типов коаксиального кабеля, отличающихся характеристиками и областями

применения - для локальных сетей, для глобальных сетей, для кабельного телевидения и т. п. *Волоконно-оптический кабель (optical fiber)* состоит из тонких (5-60 микрон) волокон, по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля - он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10 Гбит/с и выше) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех.

Радиоканалы наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн. Существует большое количество различных типов радиоканалов, отличающихся как используемым частотным диапазоном, так и дальностью канала. Диапазоны коротких, средних и длинных волн (КВ, СВ и ДВ), называемые также диапазонами амплитудной модуляции (Amplitude Modulation, АМ) по типу используемого в них метода модуляции сигнала, обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных. Более скоростными являются каналы, работающие на диапазонах ультракоротких волн (УКВ), для которых характерна частотная модуляция (Frequency Modulation, FM), а также диапазонах сверхвысоких частот (СВЧ или microwaves). В диапазоне СВЧ (свыше 4 ГГц) сигналы уже не отражаются ионосферой Земли и для устойчивой связи требуется наличие прямой видимости между передатчиком и приемником. Поэтому такие частоты используют либо спутниковые каналы, либо радиорелейные каналы, где это условие выполняется.

В компьютерных сетях сегодня применяются практически все описанные типы физических сред передачи данных, но наиболее перспективными являются волоконно-оптические. На них сегодня строятся как магистрали крупных территориальных сетей, так и высокоскоростные линии связи локальных сетей. Популярной средой является также витая пара, которая характеризуется отличным соотношением качества к стоимости, а также простотой монтажа. С помощью витой пары обычно подключают конечных абонентов сетей на расстояниях до 100 метров от концентратора. Спутниковые каналы и радиосвязь используются чаще всего в тех случаях, когда кабельные связи применить нельзя - например, при прохождении канала через малонаселенную местность или же для связи с мобильным пользователем сети, таким как шофер грузовика, врач, совершающий обход, и т. п.

АППАРАТУРА ЛИНИЙ СВЯЗИ

Аппаратура передачи данных (АПД или DCE – Data Circuit terminating Equipment) непосредственно связывает компьютеры или локальные сети пользователя с линией связи и является, таким образом, пограничным оборудованием. Традиционно аппаратуру передачи данных включают в состав линии связи. Примерами DCE являются модемы, терминальные адаптеры сетей ISDN, оптические модемы, устройства подключения к цифровым каналам. Обычно DCE работает на физическом

уровне, отвечая за передачу и прием сигнала нужной формы и мощности в физическую среду.

Аппаратура пользователя линии связи, вырабатывающая данные для передачи по линии связи и подключаемая непосредственно к аппаратуре передачи данных, обобщенно носит название *оконечное оборудование данных* (ООД или DTE - *DataTerminalEquipment*). Примером DTE могут служить компьютеры или маршрутизаторы локальных сетей. Эту аппаратуру не включают в состав линии связи.

Разделение оборудования на классы DCE и DTE в локальных сетях является достаточно условным. Например, адаптер локальной сети можно считать как принадлежностью компьютера, то есть DTE, так и составной частью канала связи, то есть DCE.

Промежуточная аппаратура обычно используется на линиях связи большой протяженности. Промежуточная аппаратура решает две основные задачи:

- улучшение качества сигнала;
- создание постоянного составного канала связи между двумя абонентами сети.

В локальных сетях промежуточная аппаратура может совсем не использоваться, если протяженность физической среды - кабелей или радиозфира - позволяет одному сетевому адаптеру принимать сигналы непосредственно от другого сетевого адаптера, без промежуточного усиления. В противном случае применяются устройства типа повторителей и концентраторов.

В глобальных сетях необходимо обеспечить качественную передачу сигналов на расстояния в сотни и тысячи километров. Поэтому без усилителей сигналов, установленных через определенные расстояния, построить территориальную линию связи невозможно. В глобальной сети необходима также и промежуточная аппаратура другого рода - мультиплексоры, демультиплексоры и коммутаторы. Эта аппаратура решает вторую указанную задачу, то есть создает между двумя абонентами сети составной канал из некоммутируемых отрезков физической среды - кабелей с усилителями. Важно отметить, что приведенные на Рисунок 1 мультиплексоры, демультиплексоры и коммутаторы образуют составной канал на *долговременной* основе, например на месяц или год, причем абонент не может влиять на процесс коммутации этого канала - эти устройства управляются по отдельным входам, абоненту недоступным (на рисунке не показаны). Наличие промежуточной коммутационной аппаратуры избавляет создателей глобальной сети от необходимости прокладывать отдельную кабельную линию для каждой пары соединяемых узлов сети. Вместо этого между мультиплексорами и коммутаторами используется высокоскоростная физическая среда, например волоконно-оптический или коаксиальный кабель, по которому передаются одновременно данные от большого числа сравнительно низкоскоростных абонентских линий. А когда нужно образовать постоянное соединение между

какими-либо двумя конечными узлами сети, находящимися, например, в разных городах, то мультиплексоры, коммутаторы и демультимплексоры настраиваются оператором канала соответствующим образом. Высокоскоростной канал обычно называют уплотненным каналом.

Промежуточная аппаратура канала связи прозрачна для пользователя, он ее не замечает и не учитывает в своей работе. Для него важны только качество полученного канала, влияющее на скорость передачи дискретных данных. В действительности же промежуточная аппаратура образует сложную сеть, которую называют *первичной сетью*, так как сама по себе она никаких высокоуровневых служб (например, файловой или передачи голоса) не поддерживает, а только служит основой для построения компьютерных, телефонных или иных сетей.

В зависимости от типа промежуточной аппаратуры все линии связи делятся на аналоговые и цифровые. В *аналоговых линиях* промежуточная аппаратура предназначена для усиления аналоговых сигналов, то есть сигналов, которые имеют непрерывный диапазон значений. Такие линии связи традиционно применялись в телефонных сетях для связи АТС между собой. Для создания высокоскоростных каналов, которые мультиплексируют несколько низкоскоростных аналоговых абонентских каналов, при аналоговом подходе обычно используется техника частотного мультиплексирования (FrequencyDivisionMultiplexing, FDM).

В *цифровых линиях* связи передаваемые сигналы имеют конечное число состояний. Как правило, элементарный сигнал, то есть сигнал, передаваемый за один такт работы передающей аппаратуры, имеет 2 или 3 состояния, которые передаются в линиях связи импульсами прямоугольной формы. С помощью таких сигналов передаются как компьютерные данные, так и оцифрованные речь и изображение. В цифровых каналах связи используется промежуточная аппаратура, которая улучшает форму импульсов и обеспечивает их ресинхронизацию, то есть восстанавливает период их следования. Промежуточная аппаратура образования высокоскоростных цифровых каналов (мультиплексоры, демультимплексоры, коммутаторы) работает по принципу временного мультиплексирования каналов (TimeDivisionMultiplexing, TDM), когда каждому низкоскоростному каналу выделяется определенная доля времени (тайм-слот или квант) высокоскоростного канала.

Аппаратура передачи дискретных компьютерных данных по аналоговым и цифровым линиям связи существенно отличается, так как в первом случае линия связи предназначена для передачи сигналов произвольной формы и не предъявляет никаких требований к способу представления единиц и нулей аппаратурой передачи данных, а во втором - все параметры передаваемых линией импульсов стандартизованы. Другими словами, на цифровых линиях связи протокол физического уровня определен, а на аналоговых линиях - нет.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Список ключевых слов: гармоника, спектральное разложение (спектр) сигнала, ширина спектра сигнала, формулы Фурье, внешние помехи, внутренние помехи, или наводки, затухание сигнала, погонное затухание, окно прозрачности, абсолютный уровень мощности, относительный уровень мощности, порог чувствительности приемника, волновое сопротивление, помехоустойчивость линии, электрическая связь, магнитная связь, наведенный сигнал, перекрестные наводки на ближнем конце, перекрестные наводки на дальнем конце, защищенность кабеля, достоверность передачи данных, интенсивность битовых ошибок, полоса пропускания, пропускная способность, физическое, или линейное, кодирование, несущий сигнал, несущая частота, модуляция, такт, бод.

ТИПЫ ХАРАКТЕРИСТИК И СПОСОБЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

К основным характеристикам линий связи относятся:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- перекрестные наводки на ближнем конце линии;
- пропускная способность;
- достоверность передачи данных;
- удельная стоимость.

В первую очередь разработчика вычислительной сети интересуют пропускная способность и достоверность передачи данных, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемой сети. Пропускная способность и достоверность - это характеристики как линии связи, так и способа передачи данных. Поэтому если способ передачи (протокол) уже определен, то известны и эти характеристики. Например, пропускная способность цифровой линии всегда известна, так как на ней определен протокол физического уровня, который задает битовую скорость передачи данных - 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т. п.

Однако нельзя говорить о пропускной способности линии связи, до того как для нее определен протокол физического уровня. Именно в таких случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие характеристики.

Для определения характеристик линии связи часто используют анализ ее реакций на некоторые эталонные воздействия. Такой подход позволяет достаточно просто и однотипно определять характеристики линий связи любой природы, не прибегая к сложным теоретическим исследованиям. Чаще всего в качестве эталонных сигналов для исследования реакций линий связи

используются синусоидальные сигналы различных частот. Это связано с тем, что сигналы этого типа часто встречаются в технике и с их помощью можно представить любую функцию времени - как непрерывный процесс колебаний звука, так и прямоугольные импульсы, генерируемые компьютером.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ НА ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и различных амплитуд (Рисунок 3). Каждая составляющая синусоида называется также гармоникой, а набор всех гармоник называют спектральным разложением исходного сигнала. Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие всего спектра частот, от $-\infty$ до $+\infty$ (Рисунок 4).

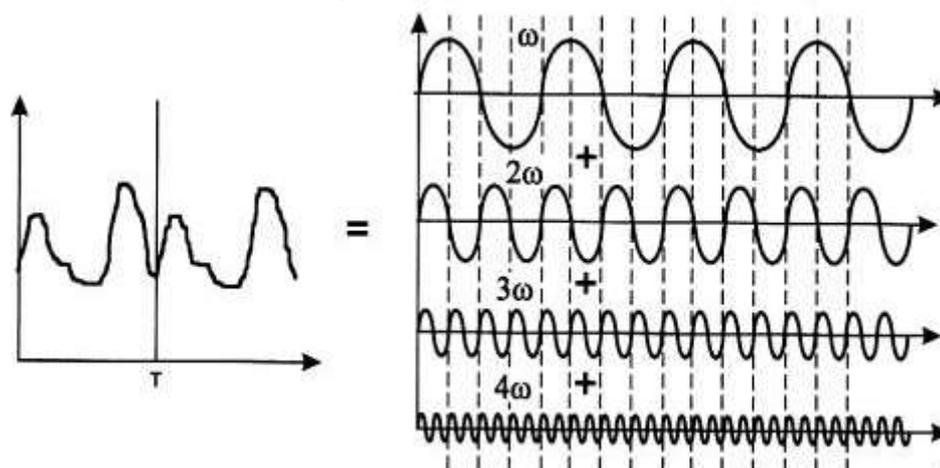


Рисунок 3. Представление периодического сигнала суммой синусоид

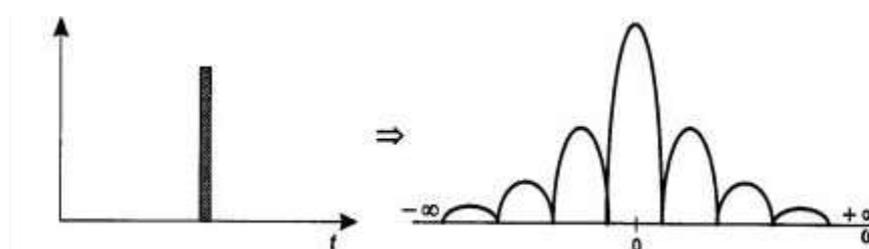


Рисунок 4. Спектральное разложение идеального импульса

Техника нахождения спектра любого исходного сигнала хорошо известна. Для некоторых сигналов, которые хорошо описываются аналитически (например, для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды), спектр легко вычисляется на основании формул Фурье. Для сигналов произвольной формы, встречающихся на практике, спектр можно найти с помощью специальных приборов - спектральных анализаторов, которые измеряют спектр реального сигнала и отображают амплитуды составляющих гармоник на экране или распечатывают их на принтере.

Искажение передающим каналом синусоиды какой-либо частоты приводит в конечном счете к искажению передаваемого сигнала любой формы, особенно если синусоиды различных частот искажаются неодинаково. Если это аналоговый сигнал, передающий речь, то изменяется тембр голоса за счет искажения обертонов - боковых частот. При передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму (Рисунок 5). Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

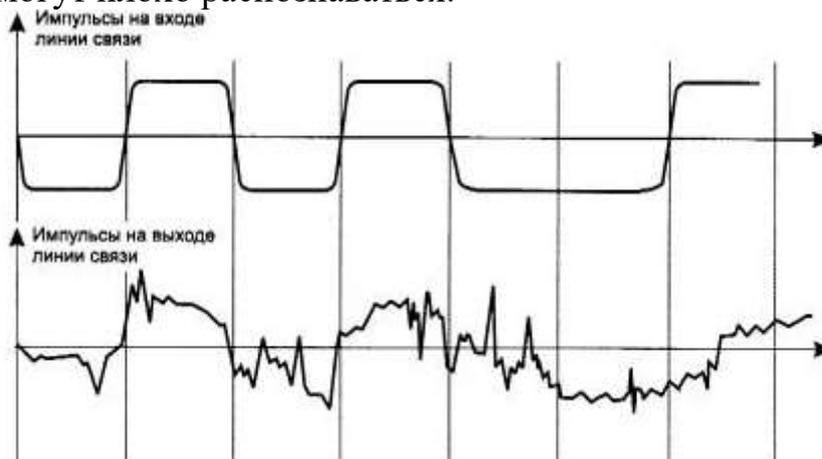


Рисунок 5. Искажение импульсов в линии связи

Линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных. Так, например, медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузки (Рисунок 6). В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному. Волоконно-оптический кабель также имеет отклонения, мешающие идеальному распространению света. Если линия связи включает промежуточную аппаратуру, то она также может вносить дополнительные искажения, так как невозможно создать устройства, которые бы одинаково хорошо передавали весь спектр синусоид, от нуля до бесконечности.

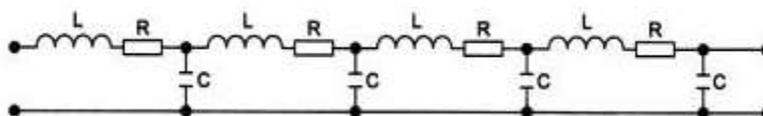


Рисунок 6. Представление линии как распределенной индуктивно-емкостной нагрузки

Кроме искажений сигналов, вносимых внутренними физическими параметрами линии связи, существуют и внешние помехи, которые вносят свой вклад в искажение формы сигналов на выходе линии. Эти помехи создают различные электрические двигатели, электронные устройства, атмосферные явления и т. д. Несмотря на защитные меры, предпринимаемые разработчиками кабелей и усилительно-коммутирующей аппаратуры, полностью компенсировать влияние внешних помех не удастся. Поэтому сигналы на

выходе линии связи обычно имеют сложную форму (как это и показано на Рисунок 5), по которой иногда трудно понять, какая дискретная информация была подана на вход линии.

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ И ЗАТУХАНИЕ

Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание на определенной частоте.

Амплитудно-частотная характеристика (Рисунок 7) показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.

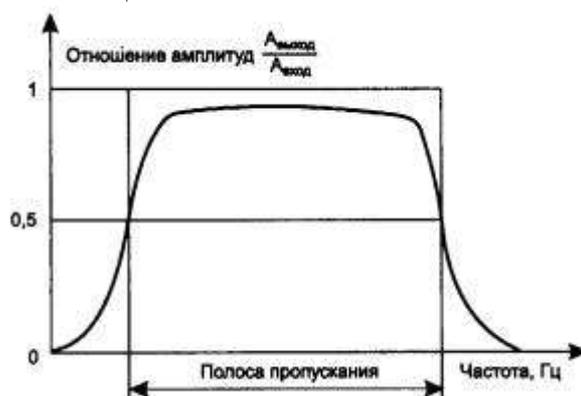


Рисунок 7. Амплитудно-частотная характеристика

Знание амплитудно-частотной характеристики реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники.

Несмотря на полноту информации, предоставляемой амплитудно-частотной характеристикой о линии связи, ее использование осложняется тем обстоятельством, что получить ее весьма трудно. Ведь для этого нужно провести тестирование линии эталонными синусоидами по всему диапазону частот от нуля до некоторого максимального значения, которое может встретиться во входных сигналах. Причем менять частоту входных синусоид нужно с небольшим шагом, а значит, количество экспериментов должно быть очень большим. Поэтому на практике вместо амплитудно-частотной характеристики применяются другие, упрощенные характеристики - полоса пропускания и затухание.

Полоса пропускания (bandwidth) - это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал

передается по линии связи без значительных искажений. Знание полосы пропускания позволяет получить с некоторой степенью приближения тот же результат, что и знание амплитудно-частотной характеристики. Как мы увидим ниже, *ширина* полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи. Именно этот факт нашел отражение в английском эквиваленте рассматриваемого термина (width - ширина).

Затухание (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Таким образом, затухание представляет собой одну точку из амплитудно-частотной характеристики линии. Часто при эксплуатации линии заранее известна основная частота передаваемого сигнала, то есть та частота, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по линии сигналов. Более точные оценки возможны при знании затухания на нескольких частотах, соответствующих нескольким основным гармоникам передаваемого сигнала.

Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel - dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \log_{10} P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}},$$

где $P_{\text{вых}} \sim$ мощность сигнала на выходе линии, $P_{\text{вх}}$ - мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Например, кабель на витой паре категории 5 характеризуется затуханием не ниже -23,6 дБ для частоты 100 МГц при длине кабеля 100 м. Частота 100 МГц выбрана потому, что кабель этой категории предназначен для высокоскоростной передачи данных, сигналы которых имеют значимые гармоники с частотой примерно 100 МГц. Кабель категории 3 предназначен для низкоскоростной передачи данных, поэтому для него определяется затухание на частоте 10 МГц (не ниже -11,5 дБ). Часто оперируют с абсолютными значениями затухания, без указания знака.

Абсолютный уровень мощности, например уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт. Таким образом, уровень мощности p вычисляется по следующей формуле:

$$p = 10 \log_{10} P / 1 \text{ мВт} \text{ [дБм]},$$

где P - мощность сигнала в милливаттах, а дБм (dBm) - это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание являются универсальными характеристиками, и их знание

позволяет сделать вывод о том, как через линию связи будут передаваться сигналы любой формы.

Полоса пропускания зависит от типа линии и ее протяженности. На Рисунк 8 показаны полосы пропускания линий связи различных типов, а также наиболее часто используемые в технике связи частотные диапазоны.

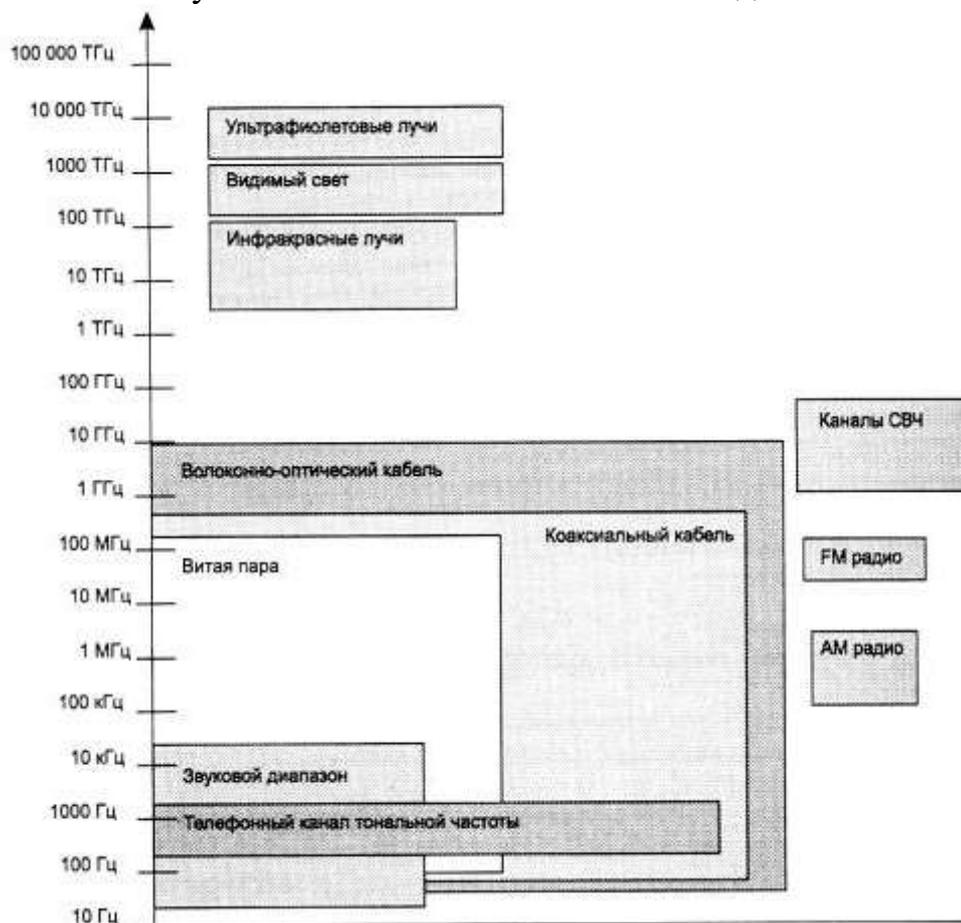


Рисунок 8. Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИНИИ

Пропускная способность (*throughput*) линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду - бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д.

ПРИМЕЧАНИЕ Пропускная способность линий связи и коммуникационного сетевого оборудования традиционно измеряется в битах в секунду, а не в байтах в секунду. Это связано с тем, что данные в сетях передаются последовательно, то есть побитно, а не параллельно, байтами, как это происходит между устройствами внутри компьютера. Такие единицы измерения, как килобит, мегабит или гигабит, в сетевых технологиях строго соответствуют степеням 10 (то есть килобит - это 1000 бит, а мегабит - это 1 000 000 бит), как это принято во всех отраслях науки и техники, а не близким к

этим числам степеням 2, как это принято в программировании, где приставка «кило» равна $2^{10}=1024$, а «мега» - $2^{20}=1\ 048\,576$.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как амплитудно-частотная характеристика, но и от спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком (Рисунок 9, а). Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажаться, приемник будет ошибаться при распознавании информации, а значит, информация не сможет передаваться с заданной пропускной способностью (Рисунок 9, б).

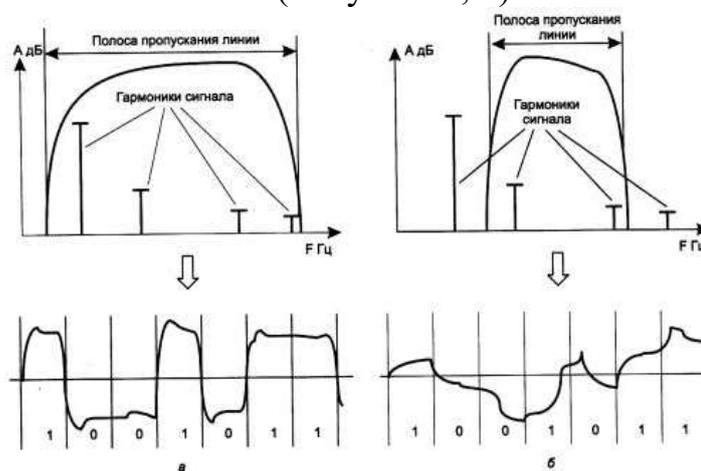


Рисунок 9. Соответствие между полосой пропускания линии связи и спектром сигнала

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется *физическим* или *линейным кодированием*. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и, соответственно, пропускная способность линии. Таким образом, для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого - другой. Например, витая пара категории 3 может передавать данные с пропускной способностью 10 Мбит/с при способе кодирования стандарта физического уровня 10Base-T и 33 Мбит/с при способе кодирования стандарта 100Base-T4. В примере, приведенном на Рисунок 9, принят следующий способ кодирования - логическая 1 представлена на линии положительным потенциалом, а логический 0 - отрицательным.

Теория информации говорит, что любое различимое и непредсказуемое изменение принимаемого сигнала несет в себе информацию. В соответствии с этим прием синусоиды, у которой амплитуда, фаза и частота остаются неизменными, информации не несет, так как изменение сигнала хотя и происходит, но является хорошо предсказуемым. Аналогично, не несут в себе информации импульсы на тактовой шине компьютера, так как их изменения также постоянны во времени. А вот импульсы на шине данных предсказать

заранее нельзя, поэтому они переносят информацию между отдельными блоками или устройствами.

Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала - частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют *несущим сигналом* или *несущей частотой*, если в качестве такого сигнала используется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что можно различить только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации - биту. Если же сигнал может иметь более двух различимых состояний, то любое его изменение будет нести несколько бит информации.

Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в *бодах (baud)*. Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Если сигнал имеет более двух различимых состояний, то пропускная способность в битах в секунду будет выше, чем число бод. Например, если информационными параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды, причем различаются 4 состояния фазы в 0, 90, 180 и 270 градусов и два значения амплитуды сигнала, то информационный сигнал может иметь 8 различимых состояний. В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400 Гц) передает информацию со скоростью 7200 бит/с, так как при одном изменении сигнала передается 3 бита информации.

При использовании сигналов с двумя различимыми состояниями может наблюдаться обратная картина. Это часто происходит потому, что для надежного распознавания приемником пользовательской информации каждый бит в последовательности кодируется с помощью нескольких изменений информационного параметра несущего сигнала. Например, при кодировании единичного значения бита импульсом положительной полярности, а нулевого значения бита - импульсом отрицательной полярности физический сигнал дважды изменяет свое состояние при передаче каждого бита. При таком кодировании пропускная способность линии в два раза ниже, чем число бод, передаваемое по линии.

На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и логическое кодирование. *Логическое кодирование* выполняется до физического кодирования и подразумевает замену бит исходной информации новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности - это пример очень часто применяемого способа логического

кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрация данных, обеспечивающая их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ ЛИНИИ И ЕЕ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ

Чем выше частота несущего периодического сигнала, тем больше информации в единицу времени передается по линии и тем выше пропускная способность линии при фиксированном способе физического кодирования. Однако, с другой стороны, с увеличением частоты периодического несущего сигнала увеличивается и ширина спектра этого сигнала, то есть разность между максимальной и минимальной частотами того набора синусоид, которые в сумме дадут выбранную для физического кодирования последовательность сигналов. Линия передает этот спектр синусоид с теми искажениями, которые определяются ее полосой пропускания. Чем больше несоответствие между полосой пропускания линии и шириной спектра передаваемых информационных сигналов, тем больше сигналы искажаются и тем вероятнее ошибки в распознавании информации принимающей стороной, а значит, скорость передачи информации на самом деле оказывается меньше, чем можно было предположить.

Связь между полосой пропускания линии и ее *максимально возможной пропускной способностью*, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил Клод Шеннон:

$$C = F \log_2 (1 + P_c/P_{ш}),$$

где C - максимальная пропускная способность линии в битах в секунду, F - ширина полосы пропускания линии в герцах, P_c - мощность сигнала, $P_{ш}$ - мощность шума.

Из этого соотношения видно, что хотя теоретического предела пропускной способности линии с фиксированной полосой пропускания не существует, на практике такой предел имеется. Действительно, повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помех) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошими защитными экранами, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма не просто. К тому же влияние мощностей полезного сигнала и шума на пропускную способность ограничено логарифмической зависимостью, которая растет далеко не так быстро, как прямо-пропорциональная. Так, при достаточно

типичном исходном отношении мощности сигнала к мощности шума в 100 раз повышение мощности передатчика в 2 раза даст только 15 % увеличения пропускной способности линии.

Близким по сути к формуле Шеннона является следующее соотношение, полученное Найквистом, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума на линии:

$$C = 2F \log_2 M,$$

где M - количество различных состояний информационного параметра.

Если сигнал имеет 2 различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи (Рисунок 10, а). Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько бит исходных данных, например 2 бита при наличии четырех различных состояний сигнала (Рисунок 10, б).

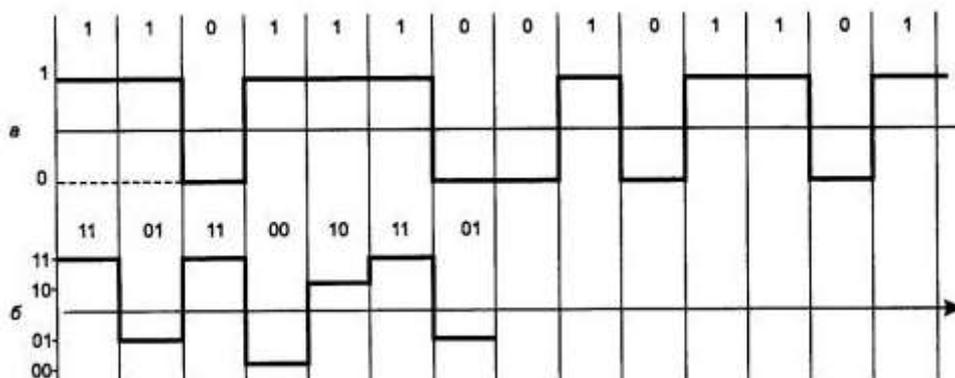


Рисунок 10. Повышение скорости передачи за счет дополнительных состояний сигнала

Хотя формула Найквиста явно не учитывает наличие шума, косвенно его влияние отражается в выборе количества состояний информационного сигнала. Для повышения пропускной способности канала хотелось бы увеличить это количество до значительных величин, но на практике мы не можем этого сделать из-за шума на линии. Например, для примера, приведенного на Рисунок 10, можно увеличить пропускную способность линии еще в два раза, используя для кодирования данных не 4, а 16 уровней. Однако если амплитуда шума часто превышает разницу между соседними 16-ю уровнями, то приемник не сможет устойчиво распознавать передаваемые данные. Поэтому количество возможных состояний сигнала фактически ограничивается соотношением мощности сигнала и шума, а формула Найквиста определяет предельную скорость передачи данных в том случае, когда количество состояний уже выбрано с учетом возможностей устойчивого распознавания приемником.

Приведенные соотношения дают предельное значение пропускной способности линии, а степень приближения к этому пределу зависит от конкретных методов физического кодирования, рассматриваемых ниже.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ

Помехоустойчивость линии определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде, на внутренних проводниках. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной - волоконно-оптические линии, малочувствительные ко внешнему электромагнитному излучению. Обычно для уменьшения помех, появляющихся из-за внешних электромагнитных полей, проводники экранируют и/или скручивают.

Перекрестные наводки на ближнем конце (NearEndCrossTalk - NEXT) определяют помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех, когда электромагнитное поле сигнала, передаваемого выходом передатчика по одной паре проводников, наводит на другую пару проводников сигнал помехи. Если ко второй паре будет подключен приемник, то он может принять наведенную внутреннюю помеху за полезный сигнал. Показатель NEXT, выраженный в децибелах, равен $10 \log P_{\text{вых}}/P_{\text{нав}}$, где $P_{\text{вых}}$ - мощность выходного сигнала, $P_{\text{нав}}$ - мощность наведенного сигнала.

Чем меньше значение NEXT, тем лучше кабель. Так, для витой пары категории 5 показатель NEXT должен быть меньше -27 дБ на частоте 100 МГц.

Показатель NEXT обычно используется применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, так как в этом случае взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин. Для одинарного коаксиального кабеля (то есть состоящего из одной экранированной жилы) этот показатель не имеет смысла, а для двойного коаксиального кабеля он также не применяется вследствие высокой степени защищенности каждой жилы. Оптические волокна также не создают сколь-нибудь заметных помех друг для друга.

В связи с тем, что в некоторых новых технологиях используется передача данных одновременно по нескольким витым парам, в последнее время стал применяться показатель *PowerSUM*, являющийся модификацией показателя NEXT. Этот показатель отражает суммарную мощность перекрестных наводок от всех передающих пар в кабеле.

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют *интенсивностью битовых ошибок (BitErrorRate, BER)*. Величина BER для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, 10^{-4} - 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи - 10^{-9} . Значение достоверности передачи данных, например, в 10^{-4} говорит о том, что в среднем из 10000 бит искажается значение одного бита.

Искажения бит происходят как из-за наличия помех на линии, так и по причине искажений формы сигнала ограниченной полосой пропускания линии. Поэтому для повышения достоверности передаваемых данных нужно повышать

степень помехозащищенности линии, снижать уровень перекрестных наводок в кабеле, а также использовать более широкополосные линии связи.

1.2. СТАНДАРТЫ КАБЕЛЕЙ

Список ключевых слов: витая пара, экранированная витая пара, неэкранированная витая пара, коаксиальный кабель, «толстый» коаксиальный кабель, «тонкий» коаксиальный кабель, телевизионный кабель, волоконно-оптический кабель, мода луча, одномодовый кабель, многомодовый кабель, структурированная кабельная система.

Кабель - это достаточно сложное изделие, состоящее из проводников, слоев экрана и изоляции. В некоторых случаях в состав кабеля входят разъемы, с помощью которых кабели присоединяются к оборудованию. Кроме этого, для обеспечения быстрой перекоммутации кабелей и оборудования используются различные электромеханические устройства, называемые кроссовыми секциями, кроссовыми коробками или шкафами.

В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам, что позволяет строить кабельную систему сети из кабелей и соединительных устройств разных производителей. Сегодня наиболее употребительными стандартами в мировой практике являются следующие.

- Американский стандарт EIA/TIA-568A, который был разработан совместными усилиями нескольких организаций: ANSI, EIA/TIA и лабораторией UnderwritersLabs (UL). Стандарт EIA/TIA-568 разработан на основе предыдущей версии стандарта EIA/TIA-568 и дополнений к этому стандарту TSB-36 и TSB-40A).

- Международный стандарт ISO/IEC 11801.
- Европейский стандарт EN50173.

Эти стандарты близки между собой и по многим позициям предъявляют к кабелям идентичные требования. Однако есть и различия между этими стандартами, например, в международный стандарт 11801 и европейский EN50173 вошли некоторые типы кабелей, которые отсутствуют в стандарте EIA/TIA-568A.

До появления стандарта EIA/TIA большую роль играл американский стандарт *системы категорий кабелей* UnderwritersLabs, разработанный совместно с компанией Anixter. Позже этот стандарт вошел в стандарт EIA/TIA-568.

Кроме этих открытых стандартов, многие компании в свое время разработали свои фирменные стандарты, из которых до сих пор имеет практическое значение только один - стандарт компании IBM.

При стандартизации кабелей принят протольно-независимый подход. Это означает, что в стандарте оговариваются электрические, оптические и механические характеристики, которым должен удовлетворять тот или иной тип кабеля или соединительного изделия - разъема, кроссовой коробки и т. п. Однако для какого протокола предназначен данный кабель, стандарт не

оговаривает. Поэтому нельзя приобрести кабель для протокола Ethernet или FDDI, нужно просто знать, какие типы стандартных кабелей поддерживают протоколы Ethernet и FDDI.

В ранних версиях стандартов определялись только характеристики кабелей, без соединителей. В последних версиях стандартов появились требования к соединительным элементам (документы TSB-36 и TSB-40A, вошедшие затем в стандарт 568A), а также к *линиям (каналам)*, представляющим типовую сборку элементов кабельной системы, состоящую из шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля (длиной до 90 м для витой пары), точки перехода (например, еще одной розетки или жесткого кроссового соединения) и шнура до активного оборудования, например концентратора или коммутатора.

Мы остановимся только на основных требованиях к самим кабелям, не рассматривая характеристик соединительных элементов и собранных линий.

В стандартах кабелей оговаривается достаточно много характеристик, из которых наиболее важные перечислены ниже (первые две из них уже были достаточно детально рассмотрены).

- *Затухание (Attenuation)*. Затухание измеряется в децибелах на метр для определенной частоты или диапазона частот сигнала.

- *Перекрестные наводки на ближнем конце (NearEndCrossTalk, NEXT)*. Измеряются в децибелах для определенной частоты сигнала.

- *Импеданс (волновое сопротивление)* - это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи. Импеданс измеряется в Омах и является относительно постоянной величиной для кабельных систем (например, для коаксиальных кабелей, используемых в стандартах Ethernet, импеданс кабеля должен составлять 50 Ом). Для неэкранированной витой пары наиболее часто используемые значения импеданса - 100 и 120 Ом. В области высоких частот (100-200 МГц) импеданс зависит от частоты.

- *Активное сопротивление* - это сопротивление постоянному току в электрической цепи. В отличие от импеданса активное сопротивление не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля.

- *Емкость* - это свойство металлических проводников накапливать энергию. Два электрических проводника в кабеле, разделенные диэлектриком, представляют собой конденсатор, способный накапливать заряд. Емкость является нежелательной величиной, поэтому следует стремиться к тому, чтобы она была как можно меньше (иногда применяют термин «паразитная емкость»). Высокое значение емкости в кабеле приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания линии.

- *Уровень внешнего электромагнитного излучения или электрический шум*. Электрический шум - это нежелательное переменное напряжение в проводнике. Электрический шум бывает двух типов: фоновый и импульсный. Электрический шум можно также разделить на низко-, средне- и высокочастотный. Источниками фонового электрического шума в диапазоне до 150 кГц являются линии электропередачи, телефоны и лампы дневного света; в

диапазоне от 150 кГц до 20 МГц - компьютеры, принтеры, ксероксы; в диапазоне от 20 МГц до 1 ГГц - телевизионные и радиопередатчики, микроволновые печи. Основными источниками импульсного электрического шума являются моторы, переключатели и сварочные агрегаты. Электрический шум измеряется в милливольтгах.

- *Диаметр или площадь сечения проводника.* Для медных проводников достаточно употребительной является американская система AWG (American Wire Gauge), которая вводит некоторые условные типы проводников, например 22 AWG, 24 AWG, 26 AWG. Чем больше номер типа проводника, тем меньше его диаметр. В вычислительных сетях наиболее употребительными являются типы проводников, приведенные выше в качестве примеров. В европейских и международных стандартах диаметр проводника указывается в миллиметрах. Естественно, приведенный перечень характеристик далеко не полон, причем в нем представлены только электромагнитные характеристики и его нужно дополнить механическими и конструктивными характеристиками, определяющими тип изоляции, конструкцию разъема и т. п. Помимо универсальных характеристик, таких, например, как затухание, которые применимы для всех типов кабелей, существуют характеристики, которые применимы только к определенному типу кабеля. Например, параметр *шаг скрутки проводов* используется только для характеристики витой пары, а параметр *NEXT* применим только к многопарным кабелям на основе витой пары.

Основное внимание в современных стандартах уделяется кабелям на основе витой пары и волоконно-оптическим кабелям.

Кабели на основе неэкранированной витой пары

Медный неэкранированный кабель UTP в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий (Category 1 - Category 5). Кабели категорий 1 и 2 были определены в стандарте EIA/TIA-568, но в стандарт 568A уже не вошли, как устаревшие.

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, когда был разработан *Стандарт телекоммуникационных кабельных систем для коммерческих зданий* (EIA-568), на основе которого затем был создан действующий стандарт EIA-568A. Стандарт EIA-568 определил электрические характеристики кабелей категории 3 для частот в диапазоне до 16 МГц, поддерживающих, таким образом, высокоскоростные сетевые приложения. Кабель категории 3 предназначен как для передачи данных, так и для передачи голоса. Шаг скрутки проводов равен примерно 3 витка на 1 фут (30,5 см).

Кабели категории 3 сейчас составляют основу многих кабельных систем зданий, в которых они используются для передачи и голоса, и данных.

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. Кабели категории 4 хорошо подходят для применения в системах с увеличенными расстояниями (до 135 метров) и в сетях TokenRing с пропускной способностью 16 Мбит/с. На практике используются редко.

Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Поэтому их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство новых высокоскоростных стандартов ориентируются на использование витой пары 5 категории. На этом кабеле работают протоколы со скоростью передачи данных 100 Мбит/с - FDDI (с физическим стандартом TP-PMD), FastEthernet, 100VG-AnyLAN, а также более скоростные протоколы - АТМ на скорости 155 Мбит/с, и GigabitEthernet на скорости 1000 Мбит/с (вариант GigabitEthernet на витой паре категории 5 стал стандартом в июне 1999 г.). 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 волоконно-оптическим).

Наиболее важные электромагнитные характеристики кабеля категории 5 имеют следующие значения:

- полное волновое сопротивление в диапазоне частот до 100 МГц равно 100 Ом (стандарт ISO 11801 допускает также кабель с волновым сопротивлением 120 Ом);
- величина перекрестных наводок NEXT в зависимости от частоты сигнала должна принимать значения не менее 74 дБ на частоте 150 кГц и не менее 32 дБ на частоте 100 МГц;
- затухание имеет предельные значения от 0,8 дБ (на частоте 64 кГц) до 22 дБ (на частоте 100 МГц);
- активное сопротивление не должно превышать 9,4 Ом на 100 м;
- емкость кабеля не должна превышать 5,6 нф на 100 м.

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.

Для соединения кабелей с оборудованием используются вилки и розетки RJ-45, представляющие 8-контактные разъемы, похожие на обычные телефонные разъемы. RJ-11.

Особое место занимают кабели *категорий 6 и 7*, которые промышленность начала выпускать сравнительно недавно. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 200 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. Некоторые специалисты сомневаются в необходимости применения кабелей категории 7, так как стоимость кабельной системы при их использовании получается соизмеримой по стоимости сети с использованием волоконно-оптических кабелей, а характеристики кабелей на основе оптических волокон выше.

Кабели на основе экранированной витой пары

Экранированная витая пара STP хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитных колебаний вовне, что защищает, в свою очередь, пользователей сетей от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку, так как требует выполнения качественного заземления. Экранированный кабель применяется только для передачи данных, а голос по нему не передают.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы: Type I, Type 2,..., Type 9.

Основным типом экранированного кабеля является кабель Type 1 стандарта IBM. Он состоит из 2-х пар скрученных проводов, экранированных проводящей оплеткой, которая заземляется. Электрические параметры кабеля Type 1 примерно соответствуют параметрам кабеля UTP категории 5. Однако волновое сопротивление кабеля Type 1 равно 150 Ом (UTP категории 5 имеет волновое сопротивление 100 Ом), поэтому простое «улучшение» кабельной проводки сети путем замены неэкранированной пары UTP на STP Type 1 невозможно. Трансиверы, рассчитанные на работу с кабелем, имеющим волновое сопротивление 100 Ом, будут плохо работать на волновое сопротивление 150 Ом. Поэтому при использовании STP Type 1 необходимы соответствующие трансиверы. Такие трансиверы имеются в сетевых адаптерах TokenRing, так как эти сети разрабатывались для работы на экранированной витой паре. Некоторые другие стандарты также поддерживают кабель STP Type I - например, 100VG-AnyLAN, а также FastEthernet (хотя основным типом кабеля для FastEthernet является UTP категории 5). В случае если технология может использовать UTP и STP, нужно убедиться, на какой тип кабеля рассчитаны приобретаемые трансиверы. Сегодня кабель STP Type 1 включен в стандарты EIA/TIA-568A, ISO 11801 и EN50173, то есть приобрел международный статус.

Экранированные витые пары используются также в кабеле IBM Type 2, который представляет кабель Type 1 с добавленными 2 парами неэкранированного провода для передачи голоса.

Для присоединения экранированных кабелей к оборудованию используются разъемы конструкции IBM.

Не все типы кабелей стандарта IBM относятся к экранированным кабелям - некоторые определяют характеристики неэкранированного телефонного кабеля (Type 3) и оптоволоконного кабеля (Type 5).

КОАКСИАЛЬНЫЕ КАБЕЛИ

Существует большое количество типов коаксиальных кабелей, используемых в сетях различного типа - телефонных, телевизионных и компьютерных. Ниже приводятся основные типы и характеристики этих кабелей.

- RG-8 и RG-11 - «толстый» коаксиальный кабель, разработанный для сетей Ethernet 10Base-5. Имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр 0,5 дюйма (около 12 мм). Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм, который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10 МГц - не хуже 18 дБ/км). Зато этот кабель сложно монтировать - он плохо гнется.

- RG-58/U, RG-58 A/U и RG-58 C/U - разновидности «тонкого» коаксиального кабеля для сетей Ethernet 10Base-. Кабель RG-58/U имеет сплошной внутренний проводник, а кабель RG-58 A/U - многожильный. Кабель RG-58 C/U проходит «военную приемку». Все эти разновидности кабеля имеют волновое сопротивление 50 Ом, но обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем. Тонкий внутренний проводник 0,89 мм не так прочен, зато обладает гораздо большей гибкостью, удобной при монтаже. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле, что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте. Для соединения кабелей с оборудованием используется разъем типа BNC.

- RG-59 - телевизионный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Широко применяется в кабельном телевидении.

- RG-62 - кабель с волновым сопротивлением 93 Ома, использовался в сетях ArcNet, оборудование которых сегодня практически не выпускается. Коаксиальные кабели с волновым сопротивлением 50 Ом (то есть «тонкий» и «толстый») описаны в стандарте EIA/TIA-568. Новый стандарт EIA/TIA-568A коаксиальные кабели не описывает, как морально устаревшие.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

Волоконно-оптические кабели состоят из центрального проводника света (сердцевины) - стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла - оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают:

- многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (Рисунок 11, а);

- многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления (Рисунок 11,б);

- одномодовое волокно (Рисунок 11, в).

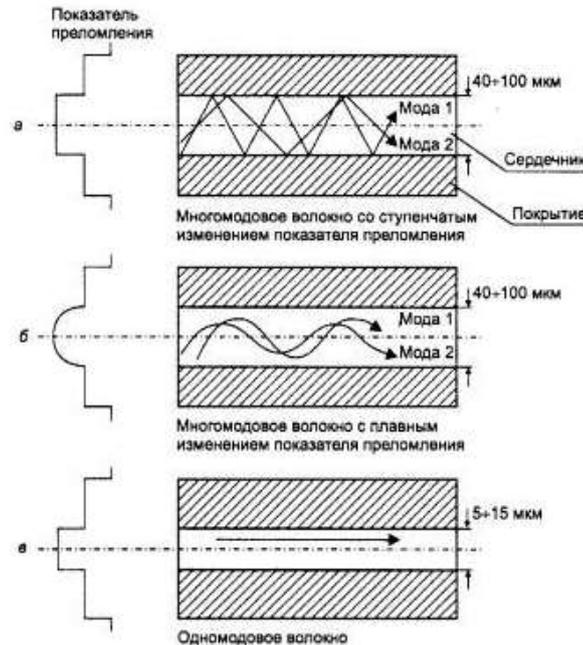


Рисунок 11. Типы оптического кабеля

Понятие «мода» описывает режим распространения световых лучей во внутреннем сердечнике кабеля. В одномодовом кабеле (*SingleModeFiber, SMF*) используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света - от 5 до 10 мкм. При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Полоса пропускания одномодового кабеля очень широкая - до сотен гигагерц на километр. Изготовление тонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим. Кроме того, в волокно такого маленького диаметра достаточно сложно направить пучок света, не потеряв при этом значительную часть его энергии.

В многомодовых кабелях (*MultiModeFiber, MMF*) используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготовить технологически. В стандартах определены два наиболее употребительных многомодовых кабеля: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 мкм или 50 мкм - это диаметр центрального проводника, а 125 мкм - диаметр внешнего проводника.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от внешнего проводника под разными углами. Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим распространения каждой моды имеет более сложный характер.

Многомодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания - от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также из-за интерференции лучей разных мод.

В качестве источников излучения света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды;
- полупроводниковые лазеры.

Для одномодовых кабелей применяются только полупроводниковые лазеры, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно. Для многомодовых кабелей используются более дешевые светодиодные излучатели.

Для передачи информации применяется свет с длиной волны 1550 нм (1,55 мкм), 1300 нм (1,3 мкм) и 850 нм (0,85 мкм). Светодиоды могут излучать свет с длиной волны 850 нм и 1300 нм. Излучатели с длиной волны 850 нм существенно дешевле, чем излучатели с длиной волны 1300 нм, но полоса пропускания кабеля для волн 850 нм уже, например 200 МГц/км вместо 500 МГц/км.

Лазерные излучатели работают на длинах волн 1300 и 1550 нм. Быстродействие современных лазеров позволяет модулировать световой поток с частотами 10 ГГц и выше. Лазерные излучатели создают когерентный поток света, за счет чего потери в оптических волокнах становятся меньше, чем при использовании некогерентного потока светодиодов.

Использование только нескольких длин волн для передачи информации в оптических волокнах связано с особенностью их амплитудно-частотной характеристики. Именно для этих дискретных длин волн наблюдаются ярко выраженные максимумы передачи мощности сигнала, а для других волн затухание в волокнах существенно выше.

Волоконно-оптические кабели присоединяют к оборудованию разъемами MIC, ST и SC.

Волоконно-оптические кабели обладают отличными характеристиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток - сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля.

Сама стоимость волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, однако проведение монтажных работ с оптоволокном обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного оборудования. Так, присоединение оптического волокна к разъему требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения путем сложной операции склеивания, а не обжатия, как это делается для витой пары. Выполнение же некачественных соединений сразу резко сужает полосу пропускания волоконно-оптических кабелей и линий.

СТРУКТУРИРОВАННАЯ КАБЕЛЬНАЯ СИСТЕМА (СКС)

Представьте себе ситуацию, когда в работе сети постоянно сопровождается тем, что в кабелях происходят или короткие замыкания, или отходят контакты

разъемов. А при необходимости добавить новую станцию, нужно протестировать десяток контактов разъемов из-за того, что документация на физические соединения не ведется. Вполне очевидно, что на основе такой кабельной системы любое, пусть даже супер-современное и производительное сетевое оборудование будет работать "мягко говоря", плохо, а грубо говоря, оно вообще работать не будет.

Какие пользователи выдержат постоянные простои сети, обрывы и низкую скорость работы. Мало того, и администраторам грозит находиться в постоянной "запарке", разыскивая места коротких замыканий, обрывов и плохих контактов. Причем проблем с кабельной системой становится намного больше при увеличении размеров сети.

В общем, как в любом серьезном деле, здесь необходим хорошо продуманный, структурированный подход. Нужно максимально учесть все тонкости и требования к проектированию локальной сети в целом, начиная от проводки кабелей в здании, и заканчивая непосредственным подключением компьютеров.

Эти проблемы поможет решить структурированная кабельная система.

Что же это такое - Структурированная кабельная система (СКС)?

Из самого названия следует, что мы имеем дело с тремя понятиями:

Система - набор объектов или структур, которые связаны между собой по определенным правилам в сложное единое целое. Система выполняет какие-то специальные функции, содержит в себе какие-то компоненты, которые могут заменяться аналогичными и быть взаимозаменяемы внутри системы;

Кабельная. Кабельная система - система, элементами которой являются кабельные компоненты. Это не только собственно кабели и проводники, но и все пассивное коммутационное оборудование, служащее для их соединения или физического окончания (терминирования) - телекоммуникационные розетки на рабочих местах, коммутационные блоки и панели (пэтч-панели) в телекоммуникационных помещениях, муфты и адаптеры и т.п;

Структурированная. Структура - любой набор или комбинация связанных и зависимых составляющих частей. "Структурированная" означает, с одной стороны, способность системы поддерживать различные телекоммуникационные приложения (передачу речи, данных и видеоизображений). С другой - возможность применения различных компонентов и продукции различных производителей. С третьей - способность к реализации так называемой мультимедийной среды, в которой используются несколько типов передающих сред - коаксиал, витая пара, экранированная витая пара и оптическое волокно.

В понятии "структурированная кабельная система" акцент, ставится именно на слове структурированная.

Итак, в общем:

Структурированная кабельная система (Structured Cabling System, SCS) - это набор коммутационных элементов (кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов),

а также методика их совместного использования, которая позволяет создавать надежные постоянные, но легко расширяемые структуры связей в вычислительных сетях.

Надо отметить, что в действительности разработка и проектирование СКС начинается не с выбора кабельных и коммутационных компонентов и даже не с создания топологической схемы соединений.

Первой и самой сложной задачей является анализ архитектурных и инженерных особенностей самого здания и на основе полученных результатов проектирование кабельных трасс и телекоммуникационных помещений.

С точностью до 90 - 95 % будущую конфигурацию СКС сразу можно определить только на этапе разработки архитектурных чертежей будущего здания и его назначения. Конечно, такая работа, которая выполняется еще на стадии проектирования самого здания, это идеальный случай для конфигурации СКС. Правда не все еще потеряно в самом начале и во время строительства. Этот вариант обойдется вначале дороже, зато потом уже в процессе работы и развития системы сможет вполне окупить себя.

Хуже всего, когда здание уже построено, и пользователи будущей системы уже приступили к работе. Тут уже сложнее, приходится придумывать решения не универсальные, с различными отклонениями и нарушениями стандартных правил. В таких случаях, каждый раз приходится тратить немалые суммы на перекоммутацию существующей системы. Хотя надо заметить, что в большинстве случаев так и получается, предприятие вначале закупает компьютеры, а уже потом решается создавать локальную сеть, когда уже проведена вся разводка кабелей в здании.

Итак, давайте с вами сейчас познакомимся с общими подходами при проектировании СКС. Какие особенности, какие ограничения, какие перспективы, и в общем, как это происходит? Подробно рассматривать этот вопрос не будем, поскольку для этого нам нужно будет потратить не один урок, но представление об основах проектирования СКС мы должны иметь.

ИЕРАРХИЯ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Структурированная кабельная система представляет своего рода "конструктор". Проектировщик сети с помощью такого конструктора сможет построить определенную конфигурацию из стандартных кабелей, соединенных стандартными разъемами и коммутируемых на стандартных кроссовых панелях. В общем, "любое желание за ваши деньги".

Затем, при необходимости он сможет легко изменить конфигурацию связей - добавить компьютер, сегмент, коммутатор, изъять ненужное оборудование, а также поменять соединения между компьютерами и концентраторами.

В любом случае, при построении **структурированной кабельной системы** подразумевается, что как минимум нужно обеспечить, чтобы каждое рабочее место было оснащено розетками для подключения телефона и компьютера, даже если в данный момент этого не требуется. Другими словами:

Хорошая структурированная кабельная система должна строиться избыточной с самого начала.

Если придерживаться этого нехитрого правила, то в будущем это может сэкономить средства, так как изменения в подключении новых устройств можно производить за счет перекоммутации уже проложенных кабелей.

Структурированная кабельная система является как бы нервной системой здания, она сосредотачивает все внутренние магистрали локальной сети.

Кроме того, должны быть предусмотрены также способы и устройства соединения структурированной проводки и с другими сетями, а также выходы в более крупные - местные, региональные и глобальные сети.

Итак, можно попытаться сформулировать цель проектирования СКС:

создать фундамент такой локальной сети, в которой в процессе эксплуатации было бы несложно модернизировать, расширить или даже перепрофилировать ее кабельную подсистему.

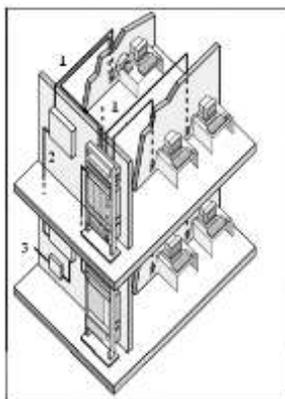
Структурированная кабельная система планируется и строится иерархически, с главной магистралью и многочисленными ответвлениями от нее.

В принципе СКС может быть построена на базе уже существующих современных телефонных кабельных систем, в которых кабели, представляют собой набор витых пар. Такие кабели, как правило, прокладываются в каждом здании, разводятся между этажами, на каждом этаже используется специальный **кроссовый шкаф**. От этого кроссового шкафа провода в трубах и коробах подводятся к каждой комнате и разводятся по розеткам.

К сожалению, в нашей стране далеко не во всех зданиях телефонные линии прокладываются витыми парами, поэтому они непригодны для создания компьютерных сетей, и кабельную систему в таком случае нужно строить заново.

В общем случае, СКС имеет типичную иерархическую структуру, которая состоит из отдельных подсистем:

- 1) горизонтальной;
- 2) вертикальной;
- 2) подсистемы кампуса.



Горизонтальная подсистема (в пределах этажа) соединяет кроссовый шкаф этажа здания, в котором проектируется сеть, через соединительные шнуры с розетками станций пользователей сети. Подсистемы этого типа соответствуют этажам здания, то есть они определяют разводку кабеля на этажах здания. Обычно основной объем работ по прокладкам кабеля приходится именно на горизонтальную подсистему. В этих подсистемах стараются использовать наиболее высокоскоростные протоколы, работающие на скоростях **не менее 100 Мбит/сек**. И даже в тех же случаях, когда в ближайшей перспективе нет смысла в использовании сетевого оборудования с пропускной способностью выше **10 Мбит/сек**, но есть перспектива развития сети, все равно лучше сразу установить кабельную систему, способную работать со скоростью **100 Мбит/сек**. Это позволит, во-первых, заранее немного приподнять общую производительность сети благодаря уменьшению количества коллизий, связанных, а во-вторых, и это самое главное, при дальнейшем развитии сети не придется производить никаких работ, связанных с заменой кабельного хозяйства. Подробнее о выборе кабеля для горизонтальных подсистем мы поговорим позже.

Вертикальная подсистема (внутри здания) соединяет кроссовые шкафы каждого этажа с центральной аппаратной здания. Это территориальные подсистемы, служащие для подключения горизонтальных подсистем друг к другу. Надо отметить, что и в этой подсистеме также следует стремиться к использованию технологий со скоростью выше **10 Мбит/с**. Но, не стоит забывать, что всегда нужно учитывать целесообразность такого решения, то есть другими словами, если у вас будет сеть всего между двумя этажами на четыре компьютера, то тут вполне можно обойтись и **10 Мбитовой** шиной данных. Об этом мы еще поговорим детальной.

Подсистема кампуса (в пределах одной территории с несколькими зданиями, еще говорят базовая подсистема или внешняя) соединяет несколько зданий с локальными сетями между собой в единую сеть. Другими словами эта подсистема определяет внешние подключения локальной сети.

Конечно, такая иерархия **СКС** наиболее общая, в процессе проектирования определенной **СКС** предполагается выделение каких-либо дополнительных, или отсутствие основных подсистем. Эти особенности уже уточняются непосредственно с заказчиками.

Но, следует отметить, что в любом случае, **хорошо структурированная кабельная система** при построении локальной сети, в отличие от хаотически проложенных кабелей, дает предприятию много преимуществ. Основные преимущества **структурированной кабельной системы** можно перечислить сразу:

Универсальность

Структурированная кабельная система при хорошо продуманной организации может стать **единой средой** для передачи компьютерных данных в локальной вычислительной сети, организации локальной телефонной сети, передачи видеoinформации и даже передачи сигналов от датчиков пожарной

безопасности или охранных систем. Это позволяет автоматизировать многие процессы по контролю, мониторингу и управлению хозяйственными службами и системами жизнеобеспечения.

Увеличение срока службы

Срок старения хорошо структурированной кабельной системы может составлять **8-10 лет**.

Уменьшение стоимости добавления новых пользователей и изменения их мест размещения

Стоимость кабельной системы в основном определяется не стоимостью кабеля, а **стоимостью работ по его прокладке**. Поэтому более выгодно провести однократную работу по прокладке кабеля, возможно с большим запасом по длине, чем несколько раз выполнять прокладку, наращивая длину кабеля. Это помогает быстро и дешево изменять структуру кабельной системы при перемещениях персонала или смене приложений.

Возможность легкого расширения сети

Структурированная кабельная система является модульной, поэтому ее легко наращивать, позволяя легко и ценой малых затрат переходить на более совершенное оборудование, удовлетворяющее растущим требованиям к системам коммуникаций.

Обеспечение более эффективного обслуживания

Структурированная кабельная система облегчает обслуживание и поиск неисправностей по сравнению с шинной кабельной системой.

Надежность

Структурированная кабельная система имеет повышенную надежность, поскольку обычно производство всех ее компонентов и техническое сопровождение осуществляется одной фирмой-производителем.

Теперь перед нами стоит задача, разобраться какие виды кабельных систем рекомендуется использовать в каждой из подсистем **СКС**. Я говорю, - "рекомендуется" - , потому как, вы должны представлять, что четких ограничений на вид используемого кабеля не может существовать. К примеру, мы с вами уже знаем, что оптоволоконный кабель высокоскоростной, надежный, защищенный, и поэтому самый привлекательный. Но одновременно мы знаем, что он самый дорогой. Если у заказчика локальной сети есть деньги, то можно прокладывать оптоволокно хоть во всех трех подсистемах, но в тоже время, если это сеть из десяти машин без выхода во внешнюю среду, то лучше все-таки переубедить заказчика, что тут вполне можно обойтись и витой парой. В общем, сейчас мы подробнее рассмотрим все требования к кабелям для каждой из подсистем **СКС**.

ВЫВОДЫ

- При построении сетей применяются линии связи, использующие различную физическую среду: телефонные и телеграфные провода, подвешенные в воздухе, медные коаксиальные кабели, медные витые пары, волоконно-оптические кабели, радиоволны.

- Линии связи могут использовать, кроме кабеля, промежуточную аппаратуру, прозрачную для пользователей. Промежуточная аппаратура выполняет две основные функции: усиливает сигналы и обеспечивает постоянную коммутацию между парой пользователей линии.

- В зависимости от типа промежуточной аппаратуры линии связи делятся на аналоговые и цифровые. В аналоговых линиях связи для уплотнения низкоскоростных каналов абонентов в общий высокоскоростной канал используется метод разделения частот (FDM), а в цифровых - метод разделения во времени (TDM).

- Для характеристики способности линии передавать сигналы произвольной формы без значительных искажений применяется ряд показателей, использующих в качестве тестового сигнала синусоиды различной частоты. К этим показателям относятся: амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание сигнала на определенной частоте.

- В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам. Современные стандарты определяют характеристики не отдельного кабеля, а полного набора элементов, необходимого для создания кабельного соединения, например шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля, жесткого кроссового соединения и шнура до концентратора. Сегодня наиболее употребительными стандартами являются: американский стандарт EIA/TIA-568A, международный стандарт ISO/IEC 11801, европейский стандарт EN50173, а также фирменный стандарт компании IBM.

- Стандарты определены для четырех типов кабеля: на основе неэкранированной витой пары, на основе экранированной витой пары, коаксиального и волоконно-оптического кабелей.

- Кабель на основе неэкранированной витой пары в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий. Кабели *категории 1* применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Главная особенность кабелей *категории 2* - способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц. Кабели *категории 3* широко распространены и предназначены как для передачи данных, так и для передачи голоса. Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3 и на практике используются редко. Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов FDDI, FastEthernet, 100VG-AnyLAN, ATM и GigabitEthernet.

- Кабель на основе экранированной витой пары хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а пользователей сетей - от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку. Экранированный кабель применяется только для передачи данных. Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся на типы: Type 1, Type 2, ..., Type 9, из которых основным является кабель Type 1.

- Коаксиальные кабели существует в большом количестве вариантов: «толстый» коаксиальный кабель, различные разновидности «тонкого» коаксиального кабеля, которые обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем, зато за счет своей гибкости более удобны при монтаже, сюда же относится телевизионный кабель.

- Волоконно-оптические кабели обладают отличными электромагнитными и механическими характеристиками, недостаток их состоит в сложности и высокой стоимости монтажных работ.

- Полоса пропускания определяет диапазон частот, которые передаются линией связи с приемлемым затуханием.

- Пропускная способность линии связи зависит от ее внутренних параметров, в частности — полосы пропускания, внешних параметров уровня помех и степени ослабления помех, а также принятого способа кодирования дискретных данных.

- Формула Шеннона определяет максимально возможную пропускную способность линии связи при фиксированных значениях полосы пропускания линии и отношении мощности сигнала к шуму.

- Формула Найквиста выражает максимально возможную пропускную способность линии связи через полосу пропускания и количество состояний информационного сигнала.

- Структурированная кабельная система представляет собой набор коммуникационных элементов — кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов, которые удовлетворяют стандартам и позволяют создавать регулярные, легко расширяемые структуры связей.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В каких пределах изменяется скорость передачи данных по различным каналам и в каких единицах она измеряется?

2. Какими факторами определяется пропускная способность канала?

3. Каковы ограничения на скорость оптоволоконных линий? Чем они определяются?

4. В каких частотных диапазонах осуществляется связь по различным типам каналов?

5. Опишите основные характеристики проводных каналов связи.

6. Чем звено отличается от составного канала связи?

7. Может ли составной канал состоять из звеньев? А наоборот?

8. Может ли цифровой канал передавать аналоговые данные?

9. В чем заключаются функции устройств DTE и DCE? К какому из этих двух типов устройств относится сетевой адаптер?

10. К какому типу характеристик линии связи относятся: уровень шума, полоса пропускания, погонная емкость?

11. Какие меры можно предпринять для увеличения информационной скорости звена:

- уменьшить длину кабеля;
- выбрать кабель с меньшим сопротивлением;
- выбрать кабель с более широкой полосой пропускания;
- применить метод кодирования с более узким спектром.

12. Почему не всегда можно увеличить пропускную способность канала за счет увеличения числа состояний информационного сигнала?

13. За счет какого механизма подавляются помехи в кабелях UTP?

14. Какой кабель более качественно передает сигналы — с большим значением параметра NEXT или с меньшим?

15. Какова ширина спектра идеального импульса?

16. Назовите типы оптического кабеля.

17. Что произойдет, если в работающей сети заменить кабель UTP кабелем STP? Варианты ответов:

- в сети снизится доля искаженных кадров, так как внешние помехи будут подавляться более эффективно;

- ничего не изменится;

- в сети увеличится доля искаженных кадров, так как выходное сопротивление передатчиков не совпадает с импедансом кабеля.

18. Назовите основные преимущества структурированной кабельной системы.

19. Какие типы кабелей используются для горизонтальной подсистемы SCS?

20. Почему проблематично использовать волоконно-оптический кабель в горизонтальной подсистеме?

21. Известными величинами являются:

- минимальная мощность передатчика P_{out} (дБм);

- погонное затухание кабеля A (дБ/км);

- порог чувствительности приемника P_{in} (дБм).

Требуется найти максимально возможную длину линии связи, при которой сигналы передаются нормально.

22. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в битах в секунду по линии связи с шириной полосы пропускания 20 кГц, если мощность передатчика составляет 0,01 мВт, а мощность шума в линии связи равна 0,0001 мВт?

23. Определите пропускную способность дуплексной линии связи для каждого из направлений, если известно, что ее полоса пропускания равна 600 кГц, а в методе кодирования используется 10 состояний сигнала.

24. Рассчитайте задержку распространения сигнала и задержку передачи данных для случая передачи пакета в 128 байт (считайте скорость распространения сигнала равной скорости света в вакууме 300 000 км/с):

- по кабелю витой пары длиной в 100 м при скорости передачи 100 Мбит/с;

- по коаксиальному кабелю длиной в 2 км при скорости передачи в 10 Мбит/с;

○ по спутниковому каналу протяженностью в 72 000 км при скорости передачи 128 Кбит/с.

25. Подсчитайте скорость линии связи, если известно, что тактовая частота передатчика равно 125 МГц, а сигнал имеет 5 состояний.

26. Приемник и передатчик сетевого адаптера подключены к соседним парам кабеля UTP. Какова мощность наведенной помехи на входе приемника, если передатчик имеет мощность 30 дБм, а показатель NEXTкабеля равен -20 дБ?

27. Пусть известно, что модем передает данные в дуплексном режиме со скоростью 33,6 Кбит/с. Сколько состояний имеет его сигнал, если полоса пропускания линии связи равна 3,43 кГц?

2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ

2.1. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ

При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования - на основе синусоидального несущего сигнала и на основе последовательности прямоугольных импульсов. Первый способ часто называется также *модуляцией* или *аналоговой модуляцией*, подчеркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счет изменения параметров аналогового сигнала. Второй способ обычно называют *цифровым кодированием*. Эти способы отличаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации.

При использовании прямоугольных импульсов спектр результирующего сигнала получается весьма широким. Это не удивительно, если вспомнить, что спектр идеального импульса имеет бесконечную ширину. Применение синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости передачи информации. Однако для реализации синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов.

В настоящее время все чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму - речь, телевизионное изображение, - передаются по каналам связи в дискретном виде, то есть в виде последовательности единиц и нулей. Процесс представления аналоговой информации в дискретной форме называется *дискретной модуляцией*. Термины «модуляция» и «кодирование» часто используют как синонимы.

АНАЛОГОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Список ключевых слов: амплитудная модуляция, частотная модуляция, канал тональной частоты, модем, основная гармоника.

Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является

канал *тональной частоты*, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей. Типичная амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты представлена на Рисунок 12. Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр - примерно от 100 Гц до 10 кГц, - для приемлемого качества передачи речи диапазон в 3100 Гц является хорошим решением. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

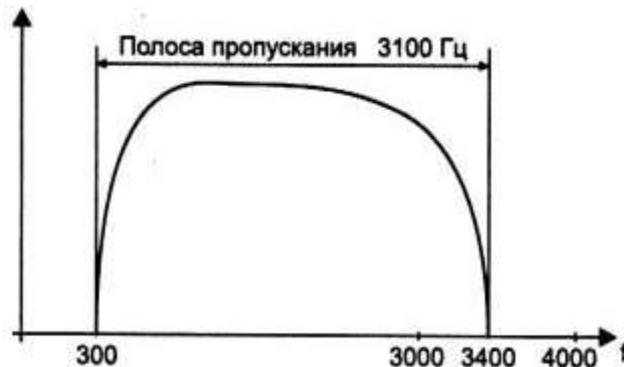


Рисунок 12. Амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты

Устройство, которое выполняет функции модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и демодуляции на приемной стороне, носит название *модем* (*модулятор - демодулятор*).

МЕТОДЫ АНАЛОГОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Аналоговая модуляция является таким способом физического кодирования, при котором информация кодируется изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты. Основные способы аналоговой модуляции показаны на Рисунок 13. На диаграмме (Рисунок 13, а) показана последовательность бит исходной информации, представленная потенциалами высокого уровня для логической единицы и потенциалом нулевого уровня для логического нуля. Такой способ кодирования называется потенциалным кодом, который часто используется при передаче данных между блоками компьютера.

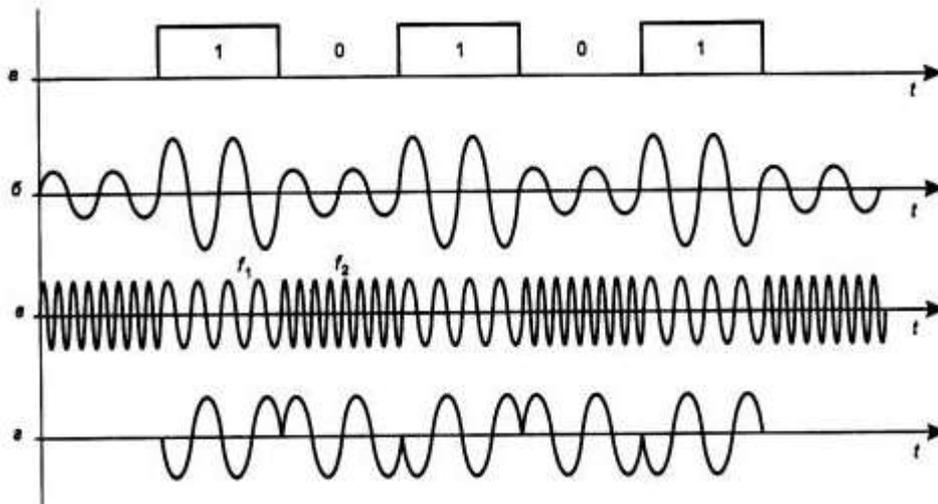


Рисунок 13. Различные типы модуляции

При *амплитудной модуляции* (Рисунок 2,13, б) для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля - другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции - фазовой модуляцией.

При *частотной модуляции* (Рисунок 13, в) значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой - f_0 и f_1 . Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с.

При *фазовой модуляции* (Рисунок 13, г) значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, но с различной фазой, например 0 и 180 градусов или 0,90,180 и 270 градусов.

В скоростных модемах часто используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой.

СПЕКТР МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

Спектр результирующего модулированного сигнала зависит от типа модуляции и скорости модуляции, то есть желаемой скорости передачи бит исходной информации.

Рассмотрим сначала спектр сигнала при потенциальном кодировании. Пусть логическая единица кодируется положительным потенциалом, а логический ноль - отрицательным потенциалом такой же величины. Для упрощения вычислений предположим, что передается информация, состоящая из бесконечной последовательности чередующихся единиц и нулей, как это и показано на Рисунок 13, а. Заметим, что в данном случае величины бод и бит в секунду совпадают.

Для потенциального кодирования спектр непосредственно получается из формул Фурье для периодической функции. Если дискретные данные передаются с битовой скоростью N бит/с, то спектр состоит из постоянной составляющей нулевой частоты и бесконечного ряда гармоник с частотами f_0 ,

$3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$, где $f_0 = N/2$. Частота f_0 – первая частота спектра- называется *основной гармоникой*. Амплитуды этих гармоник убывают достаточно медленно - с коэффициентами $1/3, 1/5, 1/7, \dots$ от амплитуды гармоники f_0 (Рисунок 14, а). В результате спектр потенциального кода требует для качественной передачи широкую полосу пропускания. Кроме того, нужно учесть, что реально спектр сигнала постоянно меняется в зависимости от того, какие данные передаются по линии связи. Например, передача длинной последовательности нулей или единиц сдвигает спектр в сторону низких частот, а в крайнем случае, когда передаваемые данные состоят только из единиц (или только из нулей), спектр состоит из гармоники нулевой частоты. При передаче чередующихся единиц и нулей постоянная составляющая отсутствует. Поэтому спектр результирующего сигнала потенциального кода при передаче произвольных данных занимает полосу от некоторой величины, близкой к 0 Гц, до примерно $7f_0$ (гармониками с частотами выше $7f_0$ можно пренебречь из-за их малого вклада в результирующий сигнал). Для канала тональной частоты верхняя граница при потенциальном кодировании достигается для скорости передачи данных в 971 бит/с, а нижняя неприемлема для любых скоростей, так как полоса пропускания канала начинается с 300 Гц. В результате потенциальные коды на каналах тональной частоты никогда не используются.

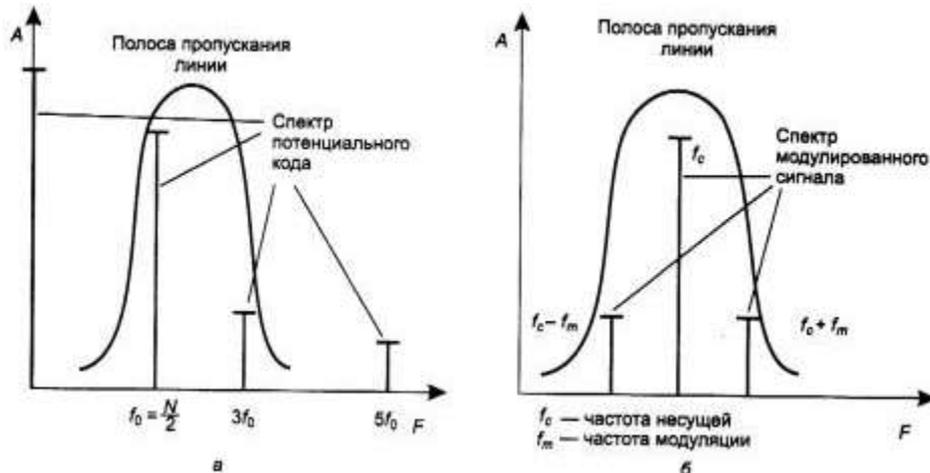


Рисунок 14. Спектры сигналов при потенциальном кодировании и амплитудной модуляции

При амплитудной модуляции спектр состоит из синусоиды несущей частоты f_c и двух боковых гармоник: $(f_c + f_m)$ и $(f_c - f_m)$, где f_m - частота изменения информационного параметра синусоиды, которая совпадает со скоростью передачи данных при использовании двух уровней амплитуды (Рисунок 14, б). Частота f_m определяет пропускную способность линии при данном способе кодирования. При небольшой частоте модуляции ширина спектра сигнала будет также небольшой (равной $2f_m$), поэтому сигналы не будут искажаться линией, если ее полоса пропускания будет больше или равна $2f_m$. Для канала тональной частоты такой способ модуляции приемлем при скорости передачи данных не больше $3100/2=1550$ бит/с. Если же для

представления данных используются 4 уровня амплитуды, то пропускная способность канала повышается до 3100 бит/с.

При фазовой и частотной модуляции спектр сигнала получается более сложным, чем при амплитудной модуляции, так как боковых гармоник здесь образуется более двух, но они также симметрично расположены относительно основной несущей частоты, а их амплитуды быстро убывают. Поэтому эти виды модуляции также хорошо подходят для передачи данных по каналу тональной частоты.

Для повышения скорости передачи данных используют комбинированные методы модуляции. Наиболее распространенными являются методы *квадратурной амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation, QAM)*. Эти методы основаны на сочетании фазовой модуляции с 8 значениями величин сдвига фазы и амплитудной модуляции с 4 уровнями амплитуды. Однако из возможных 32 комбинаций сигнала используются далеко не все. Например, в кодах *Треллиса* допустимы всего 6,7 или 8 комбинаций для представления исходных данных, а остальные комбинации являются запрещенными. Такая избыточность кодирования требуется для распознавания модемом ошибочных сигналов, являющихся следствием искажений из-за помех, которые на телефонных каналах, особенно коммутируемых, весьма значительны по амплитуде и продолжительны по времени.

МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ

Список ключевых слов: спектр сигнала, синхронизация передатчика и приемника, самосинхронизирующийся код, фронт, код без возвращения к нулю, биполярный код с альтернативной инверсией, потенциальный код с инверсией при единице, биполярный импульсный код, манчестерский код, потенциальный код 2D1Q, избыточный код, логический код 4B/5B, запрещенный код, скремблирование, скремблер, дескремблер, код V8ZS, код HDB3.

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды.

В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса - перепадом потенциала определенного направления.

ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ЦИФРОВОГО КОДИРОВАНИЯ

При использовании прямоугольных импульсов для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы нескольких целей:

- имел при одной и той же битовой скорости наименьшую ширину спектра результирующего сигнала;
- обеспечивал синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обладал способностью распознавать ошибки;
- обладал низкой стоимостью реализации.

Более узкий спектр сигналов позволяет на одной и той же линии (с одной и той же полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Кроме того, часто к спектру сигнала предъявляется требование отсутствия постоянной составляющей, то есть наличия постоянного тока между передатчиком и приемником. В частности, применение различных трансформаторных схем *гальванической развязки* препятствует прохождению постоянного тока.

Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи. Эта проблема в сетях решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например между блоками внутри компьютера или же между компьютером и принтером. На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи (Рисунок 15), так что информация снимается с линии данных только в момент прихода тактового импульса. В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет настолько позже или раньше соответствующего сигнала данных, что бит данных будет пропущен или считан повторно. Другой причиной, по которой в сетях отказываются от использования тактирующих импульсов, является экономия проводников в дорогостоящих кабелях.

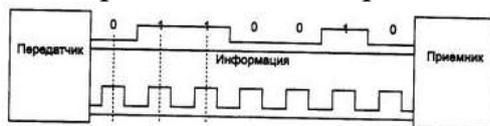


Рисунок 15. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

Поэтому в сетях применяются так называемые *самосинхронизирующиеся коды*, сигналы которых несут для передатчика указания о том, в какой момент времени нужно осуществлять распознавание очередного бита (или нескольких бит, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала - так называемый фронт - может служить хорошим указанием для синхронизации приемника с передатчиком.

При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент появления входного кода.

Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя протоколы, лежащие выше: канальный, сетевой, транспортный или

прикладной. С другой стороны, распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных бит внутри кадра.

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых ниже популярных методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и своими недостатками по сравнению с другими.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОД БЕЗ ВОЗВРАЩЕНИЯ К НУЛЮ

На Рисунок 16, а показан уже упомянутый ранее метод потенциального кодирования, называемый также кодированием *без возвращения к нулю* (*NonReturntoZero, NRZ*). Последнее название отражает то обстоятельство, что при передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта (как мы увидим ниже, в других методах кодирования возврат к нулю в этом случае происходит). Метод NRZ прост в реализации, обладает хорошей распознаваемостью ошибок (из-за двух резко отличающихся потенциалов), но не обладает свойством самосинхронизации. При передаче длинной последовательности единиц или нулей сигнал на линии не изменяется, поэтому приемник лишен возможности определять по входному сигналу моменты времени, когда нужно в очередной раз считывать данные. Даже при наличии высокоточного тактового генератора приемник может ошибиться с моментом съема данных, так как частоты двух генераторов никогда не бывают полностью идентичными. Поэтому при высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц или нулей небольшое рассогласование тактовых частот может привести к ошибке в целый такт и, соответственно, считыванию некорректного значения бита.

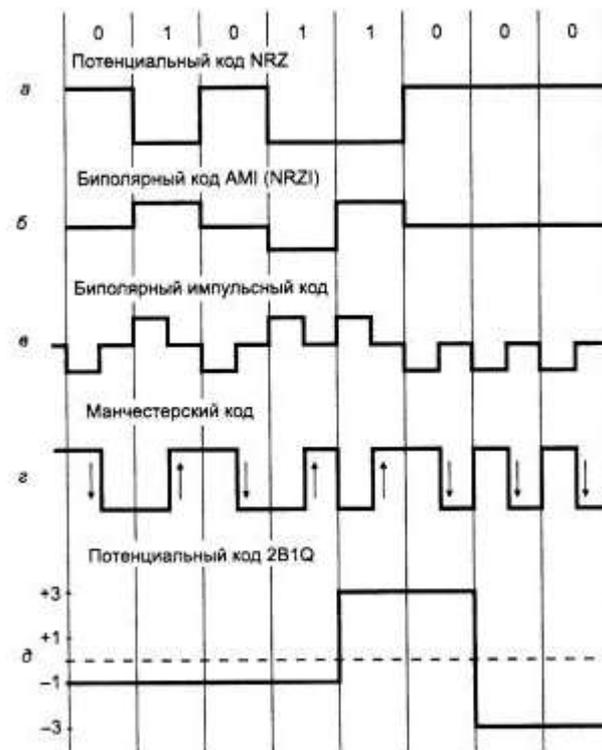


Рисунок 16. Способы дискретного кодирования данных

Другим серьезным недостатком метода NRZ является наличие низкочастотной составляющей, которая приближается к нулю при передаче длинных последовательностей единиц или нулей. Из-за этого многие каналы связи, не обеспечивающие прямого гальванического соединения между приемником и источником, этот вид кодирования не поддерживают. В результате в чистом виде код NRZ в сетях не используется. Тем не менее используются его различные модификации, в которых устраняют как плохую самосинхронизацию кода NRZ, так и наличие постоянной составляющей. Привлекательность кода NRZ, из-за которой имеет смысл заняться его улучшением, состоит в достаточно низкой частоте основной гармоники f_0 , которая равна $N/2$ Гц, как это было показано в предыдущем разделе. У других методов кодирования, например манчестерского, основная гармоника имеет более высокую частоту.

МЕТОД БИПОЛЯРНОГО КОДИРОВАНИЯ С АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ИНВЕРСИЕЙ

Одной из модификаций метода NRZ является метод *биполярного кодирования с альтернативной инверсией (BipolarAlternateMarkInversion, AMI)*. В этом методе (Рисунок 16, б) используются три уровня потенциала - отрицательный, нулевой и положительный. Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей.

Код AMI частично ликвидирует проблемы постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ. Это происходит при

передаче длинных последовательностей единиц. В этих случаях сигнал на линии представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода NRZ, передающего чередующиеся нули и единицы, то есть без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N - битовая скорость передачи данных). Длинные же последовательности нулей также опасны для кода AMI, как и для кода NRZ - сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды. Поэтому код AMI требует дальнейшего улучшения, хотя задача упрощается - осталось справиться только с последовательностями нулей.

В целом, для различных комбинаций бит на линии использование кода AMI приводит к более узкому спектру сигнала, чем для кода NRZ, а значит, и к более высокой пропускной способности линии. Например, при передаче чередующихся единиц и нулей основная гармоника f_0 имеет частоту $N/4$ Гц. Код AMI предоставляет также некоторые возможности по распознаванию ошибочных сигналов. Так, нарушение строгого чередования полярности сигналов говорит о ложном импульсе или исчезновении с линии корректного импульса. Сигнал с некорректной полярностью называется *запрещенным сигналом (signalviolation)*.

В коде AMI используются не два, а три уровня сигнала на линии. Дополнительный уровень требует увеличение мощности передатчика примерно на 3 дБ для обеспечения той же достоверности приема бит на линии, что является общим недостатком кодов с несколькими состояниями сигнала по сравнению с кодами, которые различают только два состояния.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОД С ИНВЕРСИЕЙ ПРИ ЕДИНИЦЕ

Существует код, похожий на AMI, но только с двумя уровнями сигнала. При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Этот код называется *потенциальным кодом с инверсией при единице (NonReturntoZero with ones Inverted, NRZI)*. Этот код удобен в тех случаях, когда использование третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например в оптических кабелях, где устойчиво распознаются два состояния сигнала - свет и темнота.

Для улучшения потенциальных кодов, подобных AMI и NRZI, используются два метода. Первый метод основан на добавлении в исходный код избыточных бит, содержащих логические единицы. Очевидно, что в этом случае длинные последовательности нулей прерываются и код становится самосинхронизирующимся для любых передаваемых данных. Исчезает также постоянная составляющая, а значит, еще более сужается спектр сигнала. Но этот метод снижает полезную пропускную способность линии, так как избыточные единицы пользовательской информации не несут. Другой метод основан на предварительном «перемешивании» исходной информации таким образом, чтобы вероятность появления единиц и нулей на линии становилась близкой. Устройства, или блоки, выполняющие такую операцию, называются

трамблерами (scramble - свалка, беспорядочная сборка). При скремб-лировании используется известный алгоритм, поэтому приемник, получив двоичные данные, передает их на *дескремблер*, который восстанавливает исходную последовательность бит. Избыточные биты при этом по линии не передаются. Оба метода относятся к логическому, а не физическому кодированию, так как форму сигналов на линии они не определяют. Более детально они изучаются в следующем разделе.

БИПОЛЯРНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ КОД

Кроме потенциальных кодов в сетях используются и импульсные коды, когда данные представлены полным импульсом или же его частью - фронтом. Наиболее простым случаем такого подхода является *биполярный импульсный код*, в котором единица представлена импульсом одной полярности, а ноль - другой (Рисунок 16, в). Каждый импульс длится половину такта. Такой код обладает отличными самосинхронизирующими свойствами, но постоянная составляющая, может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Кроме того, спектр у него шире, чем у потенциальных кодов. Так, при передаче всех нулей или единиц частота основной гармоники кода будет равна N Гц, что в два раза выше основной гармоники кода NRZ и в четыре раза выше основной гармоники кода AMI при передаче чередующихся единиц и нулей. Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко.

МАНЧЕСТЕРСКИЙ КОД

В локальных сетях до недавнего времени самым распространенным методом кодирования был так называемый *манчестерский код* (Рисунок 16, г). Он применяется в технологиях Ethernet и TokenRing.

В манчестерском коде для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, то есть фронт импульса. При манчестерском кодировании каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта. Единица кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а ноль - обратным перепадом. В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд. Так как сигнал изменяется по крайней мере один раз за такт передачи одного бита данных, то манчестерский код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. Полоса пропускания манчестерского кода уже, чем у биполярного импульсного. У него также нет постоянной составляющей, а основная гармоника в худшем случае (при передаче последовательности единиц или нулей) имеет частоту N Гц, а в лучшем (при передаче чередующихся единиц и нулей) она равна $N/2$ Гц, как и у кодов AMI или NRZ. В среднем ширина полосы манчестерского кода в полтора раза уже, чем у биполярного импульсного кода, а основная гармоника колеблется вблизи значения $3N/4$.

Манчестерский код имеет еще одно преимущество перед биполярным импульсным кодом. В последнем для передачи данных используются три уровня сигнала, а в манчестерском - два.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОД 2В1Q

На Рисунок 16, д показан потенциальный код с четырьмя уровнями сигнала для кодирования данных. Это код *2В1Q*, название которого отражает его суть - каждые два бита (2В) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния (1Q). Паре бит 00 соответствует потенциал -2,5 В, паре бит 01 соответствует потенциал -0,833 В, паре 11 - потенциал +0,833 В, а паре 10 - потенциал +2,5 В. При этом способе кодирования требуются дополнительные меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар бит, так как при этом сигнал превращается в постоянную составляющую. При случайном чередовании бит спектр сигнала в два раза уже, чем у кода NRZ, так как при той же битовой скорости длительность такта увеличивается в два раза. Таким образом, с помощью кода 2В1Q можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее, чем с помощью кода АМІ или NRZI. Однако для его реализации мощность передатчика должна быть выше, чтобы четыре уровня четко различались приемником на фоне помех.

ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ

Логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов типа АМІ, NRZI или 2Q1В. Логическое кодирование должно заменять длинные последовательности бит, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц. Как уже отмечалось выше, для логического кодирования характерны два метода - избыточные коды и скрэмблирование.

ИЗБЫТОЧНЫЕ КОДЫ

Избыточные коды основаны на разбиении исходной последовательности бит на порции, которые часто называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется на новый, который имеет большее количество бит, чем исходный. Например, логический код 4В/5В, используемый в технологиях FDDI и FastEthernet, заменяет исходные символы длиной в 4 бита на символы длиной в 5 бит. Так как результирующие символы содержат избыточные биты, то общее количество битовых комбинаций в них больше, чем в исходных. Так, в коде 4В/5В результирующие символы могут содержать 32 битовых комбинации, в то время как исходные символы - только 16. Поэтому в результирующем коде можно отобрать 16 таких комбинаций, которые не содержат большого количества нулей, а остальные считать *запрещенными кодами (codeviolation)*. Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют

приемнику распознавать искаженные биты. Если приемник принимает запрещенный код, значит, на линии произошло искажение сигнала.

Таблица 1. Соответствие исходных и результирующих кодов 4В/5В представлено ниже

Исходный код	Результирующий код	Исходный код	Результирующий код
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Код 4В/5В затем передается по линии с помощью физического кодирования по одному из методов потенциального кодирования, чувствительному только к длинным последовательностям нулей. Символы кода 4В/5В длиной 5 бит гарантируют, что при любом их сочетании на линии не могут встретиться более трех нулей подряд.

Буква Вв в названии кода означает, что элементарный сигнал имеет 2 состояния - от английского binary - двоичный. Имеются также коды и с тремя состояниями сигнала, например, в коде 8В/6Т для кодирования 8 бит исходной информации используется код из 6 сигналов, каждый из которых имеет три состояния. Избыточность кода 8В/6Т выше, чем кода 4В/5В, так как на 256 исходных кодов приходится $3^6=729$ результирующих символов.

Использование таблицы перекодировки является очень простой операцией, поэтому этот подход не усложняет сетевые адаптеры и интерфейсные блоки коммутаторов и маршрутизаторов.

Для обеспечения заданной пропускной способности линии передатчик, использующий избыточный код, должен работать с повышенной тактовой частотой. Так, для передачи кодов 4В/5В со скоростью 100 Мб/с передатчик должен работать с тактовой частотой 125 МГц. При этом спектр сигнала на линии расширяется по сравнению со случаем, когда по линии передается чистый, не избыточный код. Тем не менее спектр избыточного потенциального кода оказывается уже спектра манчестерского кода, что оправдывает дополнительный этап логического кодирования, а также работу приемника и передатчика на повышенной тактовой частоте.

СКРЭМБЛИРОВАНИЕ

Перемешивание данных скрэблером перед передачей их в линию с помощью потенциального кода является другим способом логического кодирования.

Методы скремблирования заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании бит исходного кода и полученных в предыдущих тактах бит результирующего кода. Например, скремблер может реализовывать следующее соотношение:

$$V_i = A_i V_{i-3} V_{i-5}$$

где V_i - двоичная цифра результирующего кода, полученная на i -м такте работы скремблера, A_i - двоичная цифра исходного кода, поступающая на i -м такте на вход скремблера, V_{i-3} и V_{i-5} - двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах работы скремблера, соответственно на 3 и на 5 тактов ранее текущего такта, \cdot - операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 2). Например, для исходной последовательности 110110000001 скремблер даст следующий результирующий код: $V_1 = A_1 = 1$ (первые три цифры результирующего кода будут совпадать с исходным, так как еще нет нужных предыдущих цифр)

$$V_1 = A_1 = 1$$

$$V_2 = A_2 = 1$$

$$V_3 = A_3 = 0$$

$$V_4 = A_4 V_1 = 11 = 0$$

$$V_5 = A_5 V_2 = 11 = 0$$

$$V_6 = A_6 V_3 V_1 = 001 = 1$$

$$V_7 = A_7 V_4 V_2 = 001 = 1$$

$$V_8 = A_8 V_5 V_3 = 000 = 0$$

$$V_9 = A_9 V_6 V_4 = 010 = 1$$

$$V_{10} = A_{10} V_7 V_5 = 010 = 1$$

$$V_{11} = A_{11} V_8 V_6 = 001 = 1$$

$$V_{12} = A_{12} V_9 V_7 = 111 = 1$$

Таким образом, на выходе скремблера появится последовательность 110001101111, в которой нет последовательности из шести нулей, присутствовавшей в исходном коде.

После получения результирующей последовательности приемник передает ее дескремблеру, который восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения:

$$C_i = V_i V_{i-3} V_{i-5} = (A_i V_{i-3} V_{i-5}) V_{i-3} V_{i-5} = A_i$$

Различные алгоритмы скремблирования отличаются количеством слагаемых, дающих цифру результирующего кода, и сдвигом между слагаемыми. Так, в сетях ISDN при передаче данных от сети к абоненту используется преобразование со сдвигами в 5 и 23 позиции, а при передаче данных от абонента в сеть - со сдвигами 18 и 23 позиции.

Существуют и более простые методы борьбы с последовательностями единиц, также относимые к классу скремблирования.

Для улучшения кода Bipolar AMI используются два метода, основанные на искусственном искажении последовательности нулей запрещенными символами.

На Рисунок 17 показано использование метода B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution) и метода HDB3 (High-Density Bipolar 3-Zeros) для корректировки кода AMI. Исходный код состоит из двух длинных последовательностей нулей: в первом случае - из 8, а во втором - из 5.

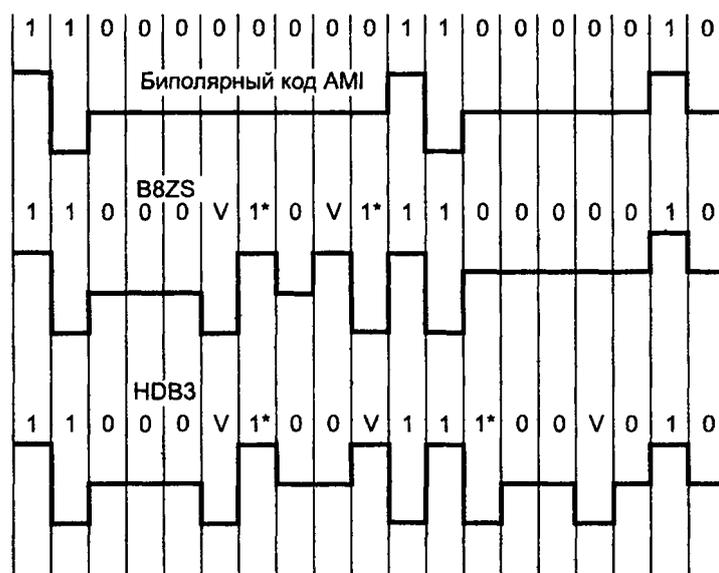


Рисунок 17. Коды B8ZS и HDB3. V - сигнал единицы запрещенной полярности; 1* - сигнал единицы корректной полярности, но заменившей 0 в исходном коде

Код B8ZS исправляет только последовательности, состоящие из 8 нулей. Для этого он после первых трех нулей вместо оставшихся пяти нулей вставляет пять цифр: V-1*-0-V-1*. V здесь обозначает сигнал единицы, запрещенной для данного такта полярности, то есть сигнал, не изменяющий полярность предыдущей единицы, 1* - сигнал единицы корректной полярности, а знак звездочки отмечает тот факт, что в исходном коде в этом такте была не единица, а ноль. В результате на 8 тактах приемник наблюдает 2 искажения - очень маловероятно, что это случилось из-за шума на линии или других сбоев передачи. Поэтому приемник считает такие нарушения кодировкой 8 последовательных нулей и после приема заменяет их на исходные 8 нулей. Код B8ZS построен так, что его постоянная составляющая равна нулю при любых последовательностях двоичных цифр.

Код HDB3 исправляет любые четыре подряд идущих нуля в исходной последовательности. Правила формирования кода HDB3 более сложные, чем кода B8ZS. Каждые четыре нуля заменяются четырьмя сигналами, в которых имеется один сигнал V. Для подавления постоянной составляющей полярность сигнала V чередуется при последовательных заменах. Кроме того, для замены используются два образца четырехтактных кодов. Если перед заменой исходный код содержал нечетное число единиц, то используется последовательность 000V, а если число единиц было четным - последовательность 1*00V.

Улучшенные потенциальные коды обладают достаточно узкой полосой пропускания для любых последовательностей единиц и нулей, которые встречаются в передаваемых данных. На Рисунок 18 приведены спектры сигналов разных кодов, полученные при передаче произвольных данных, в которых различные сочетания нулей и единиц в исходном коде равновероятны. При построении графиков спектр усреднялся по всем возможным наборам исходных последовательностей. Естественно, что результирующие коды могут

иметь и другое распределение нулей и единиц. Из Рисунок 18 видно, что потенциальный код NRZ обладает хорошим спектром с одним недостатком - у него имеется постоянная составляющая. Коды, полученные из потенциального путем логического кодирования, обладают более узким спектром, чем манчестерский, даже при повышенной тактовой частоте (на рисунке спектр кода 4B/5B должен был бы примерно совпадать с кодом B8ZS, но он сдвинут в область более высоких частот, так как его тактовая частота повышена на 1/4 по сравнению с другими кодами). Этим объясняется применение потенциальных избыточных и скремблированных кодов в современных технологиях, подобных FDDI, FastEthernet, GigabitEthernet, ISDN и т. п. вместо манчестерского и биполярного импульсного кодирования.

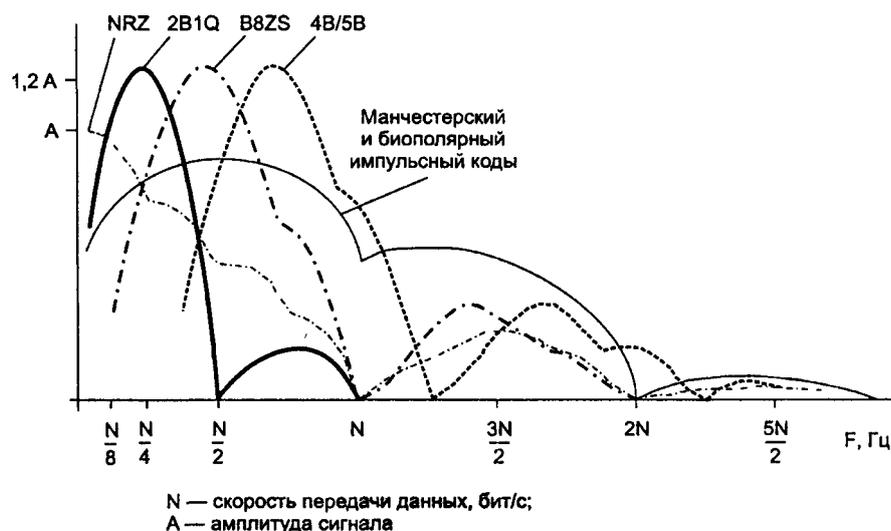


Рисунок 18. Спектры потенциальных и импульсных кодов
Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Список ключевых слов: дискретная модуляция, импульсно-кодовая модуляция, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь.

Одной из основных тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых по своей природе данных. Источниками дискретных данных являются компьютеры и другие вычислительные устройства, а источниками аналоговых данных являются такие устройства, как телефоны, видеокамеры, звуко- и видеовоспроизводящая аппаратура. На ранних этапах решения этой проблемы в территориальных сетях все типы данных передавались в аналоговой форме, при этом дискретные по своему характеру компьютерные данные преобразовывались в аналоговую форму с помощью модемов.

Однако по мере развития техники съема и передачи аналоговых данных выяснилось, что передача их в аналоговой форме не позволяет улучшить качество принятых на другом конце линии данных, если они существенно исказились при передаче. Сам аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни о том, что произошло искажение, ни о том, как его исправить, поскольку форма сигнала может быть любой, в том числе и такой, которую зафиксировал

приемник. Улучшение же качества линий, особенно территориальных, требует огромных усилий и капиталовложений. Поэтому на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображения пришла цифровая техника. Эта техника использует так называемую дискретную модуляцию исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени (Рисунок 19). Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере *импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (PulseAmplitudeModulation, PAM)*, которая широко применяется в цифровой телефонии.



Рисунок 19. Дискретная модуляция непрерывного процесса

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом - за счет этого происходит дискретизация по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значениям функции - непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений. Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется *аналого-цифровым преобразователем (АЦП)*. После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации, то есть, например, методы, основанные на коде B8ZS или 2B 1Q.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность бит, а специальная аппаратура, называемая *цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП)*, производит демодуляцию оцифрованных амплитуд непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Дискретная модуляция основана на *теории отображения Найквиста - Котельникова*. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции.

Если это условие не соблюдается, то восстановленная функция будет существенно отличаться от исходной.

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, которые применяются для компьютерных данных (и рассматриваются более подробно далее), - вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение самокорректирующихся кодов.

Для качественной передачи голоса в методе ИКМ используется частота квантования амплитуды звуковых колебаний в 8000 Гц. Это связано с тем, что в аналоговой телефонии для передачи голоса был выбран диапазон от 300 до 3400 Гц, который достаточно качественно передает все основные гармоники собеседников. В соответствии с *теоремой Найквиста - Котельникова* для качественной передачи голоса достаточно выбрать частоту дискретизации, в два раза превышающую самую высокую гармонику непрерывного сигнала, то есть $2 * 3400 = 6800$ Гц. Выбранная в действительности частота дискретизации 8000 Гц обеспечивает некоторый запас качества. В методе ИКМ обычно используется 7 или 8 бит кода для представления амплитуды одного замера. Соответственно это дает 127 или 256 градаций звукового сигнала, что оказывается вполне достаточным для качественной передачи голоса.

При использовании метода ИКМ для передачи одного голосового канала необходима пропускная способность 56 или 64 Кбит/с в зависимости от того, каким количеством бит представляется каждый замер. Если для этих целей используется 7 бит, то при частоте передачи замеров в 8000 Гц получаем:

$$8000 * 7 = 56000 \text{ бит/с или } 56 \text{ Кбит/с};$$

а для случая 8-ми бит:

$$8000 * 8 = 64000 \text{ бит/с или } 64 \text{ Кбит/с}.$$

Стандартным является цифровой канал 64 Кбит/с, который также называется *элементарным каналом цифровых телефонных сетей*.

Передача непрерывного сигнала в дискретном виде требует от сетей жесткого соблюдения временного интервала в 125 мкс (соответствующего частоте дискретизации 8000 Гц) между соседними замерами, то есть требует синхронной передачи данных между узлами сети. При несоблюдении синхронности прибывающих замеров исходный сигнал восстанавливается неверно, что приводит к искажению голоса, изображения или другой мультимедийной информации, передаваемой по цифровым сетям. Так, искажение синхронизации в 10 мс может привести к эффекту «эха», а сдвиги между замерами в 200 мс приводят к потере распознаваемости произносимых слов. В то же время потеря одного замера при соблюдении синхронности между остальными замерами практически не сказывается на воспроизводимом звуке. Это происходит за счет сглаживающих устройств в цифро-аналоговых преобразователях, которые основаны на свойстве инерционности любого

физического сигнала - амплитуда звуковых колебаний не может мгновенно измениться на большую величину.

На качество сигнала после ЦАП влияет не только синхронность поступления на его вход замеров, но и погрешность дискретизации амплитуд этих замеров. В теореме Найквиста - Котельникова предполагается, что амплитуды функции измеряются точно, в то же время использование для их хранения двоичных чисел с ограниченной разрядностью несколько искажает эти амплитуды. Соответственно искажается восстановленный непрерывный сигнал, что называется шумом дискретизации (по амплитуде).

Существуют и другие методы дискретной модуляции, позволяющие представить замеры голоса в более компактной форме, например в виде последовательности 4-битных или 2-битных чисел. При этом один голосовой канал требует меньшей пропускной способности, например 32 Кбит/с, 16 Кбит/с или еще меньше. С 1985 года применяется стандарт CCITT кодирования голоса, называемый AdaptiveDifferentialPulseCodeModulation (ADPCM). Коды ADPCM основаны на нахождении разностей между последовательными замерами голоса, которые затем и передаются по сети. В коде ADPCM для хранения одной разности используются 4 бит и голос передается со скоростью 32 Кбит/с. Более современный метод, LinearPredictiveCoding (LPC), делает замеры исходной функции более редко, но использует методы прогнозирования направления изменения амплитуды сигнала. При помощи этого метода можно понизить скорость передачи голоса до 9600 бит/с.

Представленные в цифровой форме непрерывные данные легко можно передать через компьютерную сеть. Для этого достаточно поместить несколько замеров в кадр какой-нибудь стандартной сетевой технологии, снабдить кадр правильным адресом назначения и отправить адресату. Адресат должен извлечь из кадра замеры и подать их с частотой квантования (для голоса - с частотой 8000 Гц) на цифро-аналоговый преобразователь. По мере поступления следующих кадров с замерами голоса операция должна повториться. Если кадры будут прибывать достаточно синхронно, то качество голоса может быть достаточно высоким. Однако, как мы уже знаем, кадры в компьютерных сетях могут задерживаться как в конечных узлах (при ожидании доступа к разделяемой среде), так и в промежуточных коммуникационных устройствах - мостах, коммутаторах и маршрутизаторах. Поэтому качество голоса при передаче в цифровой форме через компьютерные сети обычно бывает невысоким. Для качественной передачи оцифрованных непрерывных сигналов - голоса, изображения - сегодня используют специальные цифровые сети, такие как ISDN, ATM, и сети цифрового телевидения. Тем не менее для передачи внутрикорпоративных телефонных разговоров сегодня характерны сети framerelay, задержки передачи кадров которых укладываются в допустимые пределы.

Асинхронная и синхронная передачи

При обмене данными на физическом уровне единицей информации является бит, поэтому средства физического уровня всегда поддерживают побитовую синхронизацию между приемником и передатчиком.

Канальный уровень оперирует кадрами данных и обеспечивает синхронизацию между приемником и передатчиком на уровне кадров. В обязанности приемника входит распознавание начала первого байта кадра, распознавание границ полей кадра и распознавание признака окончания кадра.

Обычно достаточно обеспечить синхронизацию на указанных двух уровнях - битовом и кадровом, - чтобы передатчик и приемник смогли обеспечить устойчивый обмен информацией. Однако при плохом качестве линии связи (обычно это относится к телефонным коммутируемым каналам) для удешевления аппаратуры и повышения надежности передачи данных вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байт.

Такой режим работы называется *асинхронным* или *старт-стопным*. Другой причиной использования такого режима работы является наличие устройств, которые генерируют байты данных в случайные моменты времени. Так работает клавиатура дисплея или другого терминального устройства, с которого человек вводит данные для обработки их компьютером.

В асинхронном режиме каждый байт данных сопровождается специальными сигналами «старт» и «стоп» (Рисунок 20, а). Назначение этих сигналов состоит в том, чтобы, во-первых, известить приемник о приходе данных и, во-вторых, чтобы дать приемнику достаточно времени для выполнения некоторых функций, связанных с синхронизацией, до поступления следующего байта. Сигнал «старт» имеет продолжительность в один тактовый интервал, а сигнал «стоп» может длиться один, полтора или два такта, поэтому говорят, что используется один, полтора или два бита в качестве стопового сигнала, хотя пользовательские биты эти сигналы не представляют.

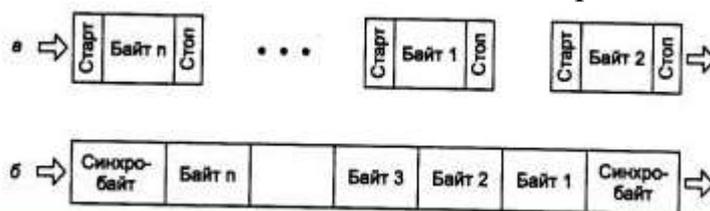


Рисунок 20. Асинхронная (а) и синхронная (б) передачи на уровне байт

Асинхронным описанный режим называется потому, что каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. Такая асинхронность передачи байт не влияет на корректность принимаемых данных, так как в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация приемника с источником за счет битов «старт». Более «свободные» временные допуски определяют низкую стоимость оборудования асинхронной системы.

При синхронном режиме передачи старт-стопные биты между каждой парой байт отсутствуют. Пользовательские данные собираются в кадр, который предваряется байтами синхронизации (Рисунок 20, б). Байт синхронизации -

это байт, содержащий заранее известный код, например 0111110, который оповещает приемник о приходе кадра данных. При его получении приемник должен войти в байтовый синхронизм с передатчиком, то есть правильно понимать начало очередного байта кадра. Иногда применяется несколько синхробайт для обеспечения более надежной синхронизации приемника и передатчика. Так как при передаче длинного кадра у приемника могут появиться проблемы с синхронизацией бит, то в этом случае используются самосинхронизирующиеся коды.

ВЫВОДЫ

- При передаче дискретных данных по узкополосному каналу тональной частоты, используемому в телефонии, наиболее подходящими оказываются способы аналоговой модуляции, при которых несущая синусоида модулируется исходной последовательностью двоичных цифр. Эта операция осуществляется специальными устройствами - модемами.

- Для низкоскоростной передачи данных применяется изменение частоты несущей синусоиды. Более высокоскоростные модемы работают на комбинированных способах квадратурной амплитудной модуляции (QAM), для которой характерны 4 уровня амплитуды несущей синусоиды и 8 уровней фазы. Не все из возможных 32 сочетаний метода QAM используются для передачи данных, запрещенные сочетания позволяют распознавать искаженные данные на физическом уровне.

- На широкополосных каналах связи применяются потенциальные и импульсные методы кодирования, в которых данные представлены различными уровнями постоянного потенциала сигнала либо полярностями импульса или его фронта.

- При использовании потенциальных кодов особое значение приобретает задача синхронизации приемника с передатчиком, так как при передаче длинных последовательностей нулей или единиц сигнал на входе приемника не изменяется и приемнику сложно определить момент съема очередного бита данных.

- Наиболее простым потенциальным кодом является код без возвращения к нулю (NRZ), однако он не является самосинхронизирующимся и создает постоянную составляющую.

- Наиболее популярным импульсным кодом является манчестерский код, в котором информацию несет направление перепада сигнала в середине каждого такта. Манчестерский код применяется в технологиях Ethernet и TokenRing.

- Для улучшения свойств потенциального кода NRZ используются методы логического кодирования, исключая длинные последовательности нулей. Эти методы основаны:

- на введении избыточных бит в исходные данные (коды типа 4B/5B);
- скремблировании исходных данных (коды типа 2B 1Q).

- Улучшенные потенциальные коды обладают более узким спектром, чем импульсные, поэтому они находят применение в высокоскоростных технологиях, таких как FDDI, FastEthernet, GigabitEthernet.

Вопросы и задания

1. Что можно отнести к достоинствам и недостаткам кода NRZ?
2. Какой тип информации передается с помощью амплитудной манипуляции?
3. Почему амплитудная манипуляция не применяется в широкополосных каналах?
4. Какие параметры синусоиды изменяются в методе QAM? Варианты ответов:
 - амплитуда;
 - амплитуда и фаза;
 - амплитуда и частота;
 - частота и фаза.
5. Сколько битов передает один символ кода, имеющий семь состояний?
6. Поясните, из каких соображений выбрана пропускная способность 64 Кбит/с элементарного канала цифровых телефонных сетей?
7. Какой способ применяется для повышения самосинхронизации кода V8ZS?
8. Чем логическое кодирование отличается от физического?
9. Какой принцип лежит в основе методов обнаружения и коррекции ошибок? Варианты ответов:
 - самосинхронизация;
 - избыточность;
 - максимизация отношения мощности сигнала к мощности помех.

2.2. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой. Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией, например в односегментных сетях Ethernet или же в многосегментных сетях Ethernet и TokenRing иерархической топологии, разделенных только мостами и коммутаторами. Во всех этих конфигурациях адрес назначения имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла-источника к узлу назначения. Возможность передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в этих технологиях

используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа «точка-точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу. Адрес в этом случае не имеет принципиального значения, а на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, часто требует выполнения подобных действий.

Если же перечисленные выше условия не соблюдаются, например связи между сегментами Ethernet имеют петлевидную структуру, либо объединяемые сети используют различные способы адресации, как это имеет место в сетях Ethernet и X.25, то протокол канального уровня не может в одиночку справиться с задачей передачи кадра между узлами и требует помощи протокола сетевого уровня.

Наиболее существенными характеристиками метода передачи, а значит, и протокола, работающего на канальном уровне, являются следующие:

- асинхронный/синхронный;
- символьно-ориентированный/бит-ориентированный;
- с предварительным установлением соединения/дейтаграммный;
- с обнаружением искаженных данных/без обнаружения;
- с обнаружением потерянных данных/без обнаружения;
- с восстановлением искаженных и потерянных данных/без восстановления;
- с поддержкой динамической компрессии данных/без поддержки.

Многие из этих свойств характерны не только для протоколов канального уровня, но и для протоколов более высоких уровней.

Список ключевых слов: асинхронные протоколы, синхронные символьно-ориентированные и бит-ориентированные протоколы, протоколы с гибким форматом кадра.

АСИНХРОННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

Асинхронные протоколы представляют собой наиболее старый способ связи. Эти протоколы оперируют не с кадрами, а с отдельными символами, которые представлены байтами со старт-стоповыми символами. Асинхронные протоколы ведут свое происхождение от тех времен, когда два человека связывались с помощью телетайпов по каналу «точка-точка». С развитием техники асинхронные протоколы стали применяться для связи телетайпов, разного рода клавиатур и дисплеев с вычислительными машинами. Единицей передаваемых данных был не кадр данных, а отдельный символ. Некоторые символы имели управляющий характер, например символ <CR> предписывал телетайпу или дисплею выполнить возврат каретки на начало строки. В этих протоколах существуют управляющие последовательности, обычно начинающиеся с символа <ESC>. Эти последовательности вызывали на

управляемом устройстве достаточно сложные действия - например, загрузку нового шрифта на принтер.

В асинхронных протоколах применяются стандартные наборы символов, чаще всего ASCII или EBCDIC. Так как первые 32 или 27 кодов в этих наборах являются специальными кодами, которые не отображаются на дисплее или принтере, то они использовались асинхронными протоколами для управления режимом обмена данными. В самих пользовательских данных, которые представляли собой буквы, цифры, а также такие знаки, как @, %, \$ и т. п., специальные символы никогда не встречались, так что проблемы их отделения от пользовательских данных не существовало.

Постепенно асинхронные протоколы усложнялись и стали наряду с отдельными символами использовать целые блоки данных, то есть кадры. Например, популярный протокол XMODEM передает файлы между двумя компьютерами по асинхронному модему. Начало приема очередного блока файла инициируется символьной командой - принимающая сторона постоянно передает символ ASCII NAK. Передающая сторона, приняв NAK, отправляет очередной блок файла, состоящий из 128 байт данных, заголовка и концевика. Заголовок состоит из специального символа SOH (StartOfHeader) и номера блока. Концевик содержит контрольную сумму блока данных. Приемная сторона, получив новый блок, проверяла его номер и контрольную сумму. В случае совпадения этих параметров с ожидаемыми приемник отправлял символ ACK, а в противном случае - символ NAK, после чего передатчик должен был повторить передачу данного блока. В конце передачи файла передавался символ EOH.

Как видно из описания протокола XMODEM, часть управляющих операций выполнялась в асинхронных протоколах посылкой в асинхронном режиме отдельных символов, в то же время часть данных пересылалась блоками, что более характерно для синхронных протоколов.

СИНХРОННЫЕ СИМВОЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ И БИТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

В синхронных протоколах между пересылаемыми символами (байтами) нет стартовых и стоповых сигналов, поэтому отдельные символы в этих протоколах пересылать нельзя. Все обмены данными осуществляются кадрами, которые имеют в общем случае заголовок, поле данных и концевик (Рисунок 21). Все биты кадра передаются непрерывным синхронным потоком, что значительно ускоряет передачу данных.

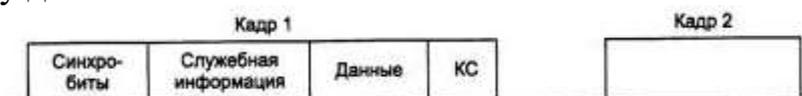


Рисунок 21. Кадры синхронных протоколов

Так как байты в этих протоколах не отделяются друг от друга служебными сигналами, то одной из первых задач приемника является распознавание границы байт. Затем приемник должен найти начало и конец кадра, а также

определить границы каждого поля кадра - адреса назначения, адреса источника, других служебных полей заголовка, поля данных и контрольной суммы, если она имеется.

Большинство протоколов допускает использование в кадре поля данных переменной длины. Иногда и заголовок может иметь переменную длину. Обычно протоколы определяют максимальное значение, которое может иметь длина поля данных. Эта величина называется *максимальной единицей передачи данных (MaximumTransferUnit, MTU)*. В некоторых протоколах задается также минимальное значение, которое может иметь длина поля данных. Например, протокол Ethernet требует, чтобы поле данных содержало по крайней мере 46 байт данных (если приложение хочет отправить меньшее количество байт, то оно обязано дополнить их до 46 байт любыми значениями). Другие протоколы разрешают использовать поле данных нулевой длины, например FDDI.

Существуют также протоколы с кадрами фиксированной длины, например, в протоколе АТМ кадры фиксированного размера 53 байт, включая служебную информацию. Для таких протоколов необходимо решить только первую часть задачи - распознать начало кадра.

Синхронные протоколы канального уровня бывают двух типов: символьно-ориентированные (байт-ориентированные) и бит-ориентированные. Для обоих характерны одни и те же методы синхронизации бит. Главное различие между ними заключается в методе синхронизации символов и кадров.

СИМВОЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

Символьно-ориентированные протоколы используются в основном для передачи блоков отображаемых символов, например текстовых файлов. Так как при синхронной передаче нет стоповых и стартовых битов, для синхронизации символов необходим другой метод. Синхронизация достигается за счет того, что передатчик добавляет два или более управляющих символа, называемых символами SYN, перед каждым блоком символов. В коде ASCII символ SYN имеет двоичное значение 0010110, это несимметричное относительно начала символа значение позволяет легко разграничивать отдельные символы SYN при их последовательном приеме. Символы SYN выполняют две функции: во-первых, они обеспечивают приемнику побитную синхронизацию, во-вторых, как только битовая синхронизация достигается, они позволяют приемнику начать распознавание границ символов SYN. После того как приемник начал отделять один символ от другого, можно задавать границы начала кадра с помощью другого специального символа. Обычно в символьных протоколах для этих целей используется символ STX (StartofTeXt, ASCII 0000010). Другой символ отмечает окончание кадра - ETX (EndofTeXt, ASCII 0000011).

Однако такой простой способ выделения начала и конца кадра хорошо работал только в том случае, если внутри кадра не было символов STX и ETX. При подключении к компьютеру алфавитно-цифровых терминалов такая задача действительно не возникала. Тем не менее синхронные символьно-ориентированные протоколы позднее стали использоваться и для связи

компьютера с компьютером, а в этом случае данные внутри кадра могут быть любые, если, например, между компьютерами передается программа. Наиболее популярным протоколом такого типа был протокол BSC компании IBM. Он работал в двух режимах - непрозрачном, в котором некоторые специальные символы внутри кадра запрещались, и прозрачном, в котором разрешалась передачи внутри кадра любых символов, в том числе и ETX. Прозрачность достигалась за счет того, что перед управляющими символами STX и ETX всегда вставлялся символ DLE (DataLinkEscape). Такая процедура называется *стаффингом* символов (stuff - всякая всячина, заполнитель). А если в поле данных кадра встречалась последовательность DLE ETX, то передатчик удваивал символ DLE, то есть порождал последовательность DLE DLE ETX. Приемник, встретив подряд два символа DLE DLE, всегда удалял первый, но оставшийся DLE уже не рассматривал как начало управляющей последовательности, то есть оставшиеся символы DLE ETX считал просто пользовательскими данными.

БИТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

Потребность в паре символов в начале и конце каждого кадра вместе с дополнительными символами DLE означает, что символьно-ориентированная передача не эффективна для передачи двоичных данных, так как приходится в поле данных кадра добавлять достаточно много избыточных данных. Кроме того, формат управляющих символов для разных кодировок различен, например, в коде ASCII символ SYN равен 0010110, а в коде EBCDIC - 00110010. Так что этот метод допустим только с определенным типом кодировки, даже если кадр содержит чисто двоичные данные. Чтобы преодолеть эти проблемы, сегодня почти всегда используется более универсальный метод, называемый бит-ориентированной передачей. Этот метод сейчас применяется при передаче как двоичных, так и символьных данных.

На Рисунок 22 показаны 3 различные схемы бит-ориентированной передачи. Они отличаются способом обозначения начала и конца каждого кадра.

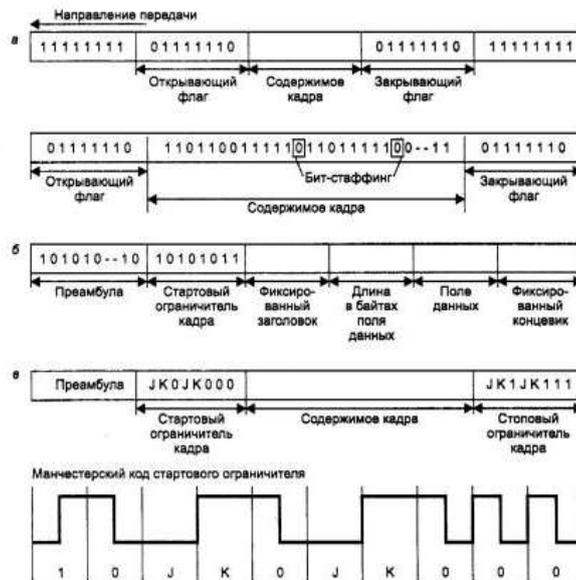


Рисунок 22. Способы выделения начало и конца кадра при синхронной передаче

Первая схема, показанная на Рисунок 22, а, похожа на схему с символами STX и ETX в символьно-ориентированных протоколах. Начало и конец каждого кадра отмечается одной и той же 8-битовой последовательностью - 01111110, называемой флагом. Термин «бит-ориентированный» используется потому, что принимаемый поток бит сканируется приемником на побитовой основе для обнаружения стартового флага, а затем во время приема для обнаружения стопового флага. Поэтому длина кадра в этом случае не обязательно должна быть кратна 8 бит.

Чтобы обеспечить синхронизацию приемника, передатчик посылает последовательность байтов простоя (каждый состоит из 11111111), предшествующую стартовому флагу.

Для достижения прозрачности данных в этой схеме необходимо, чтобы флаг не присутствовал в поле данных кадра. Это достигается с помощью приема, известного как вставка 0 бита, - *бит-стаффинга*. Схема вставки бита работает только во время передачи поля данных кадра. Если эта схема обнаруживает, что подряд передано пять 1, то она автоматически вставляет дополнительный 0 (даже если после этих пяти 1 шел 0). Поэтому последовательность 01111110 никогда не появится в поле данных кадра. Аналогичная схема работает в приемнике и выполняет обратную функцию. Когда после пяти 1 обнаруживается 0, он автоматически удаляется из поля данных кадра. Бит-стаффинг гораздо более экономичен, чем байт-стаффинг, так как вместо лишнего байта вставляется один бит, следовательно, скорость передачи пользовательских данных в этом случае замедляется в меньшей степени.

Во второй схеме (см. Рисунок 22, б) для обозначения начала кадра имеется только стартовый флаг, а для определения конца кадра используется поле длины кадра, которое при фиксированных размерах заголовка и концевого чаще всего имеет смысл длины поля данных кадра. Эта схема наиболее применима в локальных сетях. В этих сетях для обозначения факта незанятости среды в исходном состоянии по среде вообще не передается никаких символов.

Чтобы все остальные станции вошли в битовую синхронизацию, посылающая станция предваряет содержимое кадра последовательностью бит, известной как преамбула, которая состоит из чередования единиц и нулей 101010... Войдя в битовую синхронизацию, приемник исследует входной поток на побитовой основе, пока не обнаружит байт начала кадра 10101011, который выполняет роль символа STX. За этим байтом следует заголовок кадра, в котором в определенном месте находится поле длины поля данных. Таким образом, в этой схеме приемник просто отсчитывает заданное количество байт, чтобы определить окончание кадра.

Третья схема (см. Рисунок 22, в) использует для обозначения начала и конца кадра флаги, которые включают запрещенные для данного кода сигналы (codeviolations, V). Например, при манчестерском кодировании вместо обязательного изменения полярности сигнала в середине тактового интервала уровень сигнала остается неизменным и низким (запрещенный сигнал J) или неизменным и высоким (запрещенный сигнал K). Начало кадра отмечается последовательностью JKOJKOOO, а конец - последовательностью JK1JK 100. Этот способ очень экономичен, так как не требует ни бит-стаффинга, ни поля длины, но его недостаток заключается в зависимости от принятого метода физического кодирования. При использовании избыточных кодов роль сигналов J и K играют запрещенные символы, например, в коде 4В/5В этими символами являются коды 11000 и 10001.

Каждая из трех схем имеет свои преимущества и недостатки. Флаги позволяют отказаться от специального дополнительного поля, но требуют специальных мер: либо по разрешению размещения флага в поле данных за счет бит-стаффинга, либо по использованию в качестве флага запрещенных сигналов, что делает эту схему зависимой от способа кодирования.

ПРОТОКОЛЫ С ГИБКИМ ФОРМАТОМ КАДРА

Для большей части протоколов характерны кадры, состоящие из служебных полей фиксированной длины. Исключение делается только для поля данных, с целью экономной пересылки как небольших квитанций, так и больших файлов. Способ определения окончания кадра путем задания длины поля данных, рассмотренный выше, как раз рассчитан на такие кадры с фиксированной структурой и фиксированными размерами служебных полей.

Однако существует ряд протоколов, в которых кадры имеют гибкую структуру. Например, к таким протоколам относятся очень популярный прикладной протокол управления сетями SNMP, а также протокол канального уровня PPP, используемый для соединений типа «точка-точка». Кадры таких протоколов состоят из неопределенного количества полей, каждое из которых может иметь переменную длину. Начало такого кадра отмечается некоторым стандартным образом, например с помощью флага, а затем протокол последовательно просматривает поля кадра и определяет их количество и размеры. Каждое поле обычно описывается двумя дополнительными полями

фиксированного размера. Например, если в кадре встречается поле, содержащее некоторую символьную строку, то в кадр вставляются три поля:

Тип	Длина	Значение
string	6	public

Дополнительные поля «Тип» и «Длина» имеют фиксированный размер в один байт, поэтому протокол легко находит границы поля «Значение». Так как количество таких полей также неизвестно, для определения общей длины кадра используется либо общее поле «Длина», которое помещается в начале кадра и относится ко всем полям данных, либо закрывающий флаг.

ПЕРЕДАЧА С УСТАНОВЛЕНИЕМ СОЕДИНЕНИЯ И БЕЗ УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ

Список ключевых слов: дейтаграммная передача кадра, логическое соединение.

При передаче кадров данных на канальном уровне используются как дейтаграммные процедуры, работающие без установления соединения (*connectionless*), так и процедуры с предварительным установлением логического соединения (*connection-oriented*).

При дейтаграммной передаче кадр посылается в сеть «без предупреждения», и никакой ответственности за его утерю протокол не несет (Рисунок 23, а). Предполагается, что сеть всегда готова принять кадр от конечного узла. Дейтаграммный метод работает быстро, так как никаких предварительных действий перед отправкой данных не выполняется. Однако при таком методе трудно организовать в рамках протокола отслеживание факта доставки кадра узлу назначения. Этот метод не гарантирует доставку пакета.

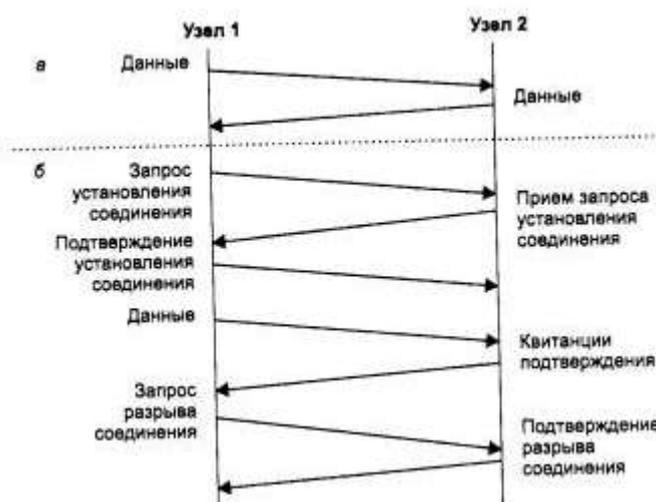


Рисунок 23. Протоколы без установления соединения (а) и с установлением соединения (б)

Передача с установлением соединения более надежна, но требует больше времени для передачи данных и вычислительных затрат от конечных узлов.

В этом случае узлу-получателю отправляется служебный кадр специального формата с предложением установить соединение (Рисунок 23, б). Если узел-

получатель согласен с этим, то он посылает в ответ другой служебный кадр, подтверждающий установление соединения и предлагающий для данного логического соединения некоторые параметры, например идентификатор соединения, максимальное значение поля данных кадров, которые будут использоваться в рамках данного соединения, и т. п. Узел-инициатор соединения может завершить процесс установления соединения отправкой третьего служебного кадра, в котором сообщит, что предложенные параметры ему подходят. На этом логическое соединение считается установленным, и в его рамках можно передавать информационные кадры с пользовательскими данными. После передачи некоторого законченного набора данных, например определенного файла, узел инициирует разрыв данного логического соединения, посылая соответствующий служебный кадр.

Заметим, что, в отличие от протоколов дейтаграммного типа, которые поддерживают только один тип кадра - информационный, протоколы, работающие по процедуре с установлением соединения, должны поддерживать несколько типов кадров - служебные, для установления (и разрыва) соединения, и информационные, переносящие собственно пользовательские данные.

Логическое соединение обеспечивает передачу данных как в одном направлении - от инициатора соединения, так и в обоих направлениях.

Процедура установления соединения может использоваться для достижения различных целей.

- Для взаимной аутентификации либо пользователей, либо оборудования (маршрутизаторы тоже могут иметь имена и пароли, которые нужны для уверенности в том, что злоумышленник не подменил корпоративный маршрутизатор и не отвел поток данных в свою сеть для анализа).

- Для согласования изменяемых параметров протокола: MTU, различных тайм-аутов и т. п.

- Для обнаружения и коррекции ошибок. Установление логического соединения дает точку отсчета для задания начальных значений номеров кадров. При потере нумерованного кадра приемник, во-первых, получает возможность обнаружить этот факт, а во-вторых, он может сообщить передатчику, какой в точности кадр нужно передать повторно.

- В некоторых технологиях процедуру установления логического соединения используют при динамической настройке коммутаторов сети для маршрутизации всех последующих кадров, которые будут проходить через сеть в рамках данного логического соединения. Так работают сети технологий X.25, framerelay и ATM.

Как видно из приведенного списка, при установлении соединения могут преследоваться разные цели, в некоторых случаях - несколько одновременно. В этой главе мы рассмотрим использование логического соединения для обнаружения и коррекции ошибок, а остальные случаи будут рассматриваться в последующих главах по мере необходимости.

ОБНАРУЖЕНИЕ И КОРРЕКЦИЯ ОШИБОК

Список ключевых слов: контрольная сумма, или контрольная последовательность кадра, вертикальный и горизонтальный контроль по паритету, циклический избыточный контроль, прямая коррекция ошибок, расстояние Хемминга, код Хемминга, сверточный, или решетчатый, код.

Канальный уровень должен обнаруживать ошибки передачи данных, связанные с искажением бит в принятом кадре данных или с потерей кадра, и по возможности их корректировать.

Большая часть протоколов канального уровня выполняет только первую задачу - обнаружение ошибок, считая, что корректировать ошибки, то есть повторно передавать данные, содержавшие искаженную информацию, должны протоколы верхних уровней. Так работают такие популярные протоколы локальных сетей, как Ethernet, TokenRing, FDDI и другие. Однако существуют протоколы канального уровня, например LLC2 или LAP-B, которые самостоятельно решают задачу восстановления искаженных или потерянных кадров.

Очевидно, что протоколы должны работать наиболее эффективно в типичных условиях работы сети. Поэтому для сетей, в которых искажения и потери кадров являются очень редкими событиями, разрабатываются протоколы типа Ethernet, в которых не предусматриваются процедуры устранения ошибок. Действительно, наличие процедур восстановления данных потребовало бы от конечных узлов дополнительных вычислительных затрат, которые в условиях надежной работы сети являлись бы избыточными.

Напротив, если в сети искажения и потери случаются часто, то желательно уже на канальном уровне использовать протокол с коррекцией ошибок, а не оставлять эту работу протоколам верхних уровней. Протоколы верхних уровней, например транспортного или прикладного, работая с большими тайм-аутами, восстановят потерянные данные с большой задержкой. В глобальных сетях первых поколений, например сетях X.25, которые работали через ненадежные каналы связи, протоколы канального уровня всегда выполняли процедуры восстановления потерянных и искаженных кадров.

Поэтому нельзя считать, что один протокол лучше другого потому, что он восстанавливает ошибочные кадры, а другой протокол - нет. Каждый протокол должен работать в тех условиях, для которых он разработан.

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК

Все методы обнаружения ошибок основаны на передаче в составе кадра данных служебной избыточной информации, по которой можно судить с некоторой степенью вероятности о достоверности принятых данных. Эту служебную информацию принято называть *контрольной суммой* или (*последовательностью контроля кадра* - *FrameCheckSequence, FCS*). Контрольная сумма вычисляется как функция от основной информации, причем необязательно только путем суммирования. Принимающая сторона повторно вычисляет контрольную сумму кадра по известному алгоритму и в

случае ее совпадения с контрольной суммой, вычисленной передающей стороной, делает вывод о том, что данные были переданы через сеть корректно.

Существует несколько распространенных алгоритмов вычисления контрольной суммы, отличающихся вычислительной сложностью и способностью обнаруживать ошибки в данных.

Контроль по паритету представляет собой наиболее простой метод контроля данных. В то же время это наименее мощный алгоритм контроля, так как с его помощью можно обнаружить только одиночные ошибки в проверяемых данных. Метод заключается в суммировании по модулю 2 всех бит контролируемой информации. Например, для данных 100101011 результатом контрольного суммирования будет значение 1. Результат суммирования также представляет собой один бит данных, который пересылается вместе с контролируемой информацией. При искажении при пересылке любого одного бита исходных данных (или контрольного разряда) результат суммирования будет отличаться от принятого контрольного разряда, что говорит об ошибке. Однако двойная ошибка, например 110101010, будет неверно принята за корректные данные. Поэтому контроль по паритету применяется к небольшим порциям данных, как правило, к каждому байту, что дает коэффициент избыточности для этого метода $1/8$. Метод редко применяется в вычислительных сетях из-за его большой избыточности и невысоких диагностических способностей.

Вертикальный и горизонтальный контроль по паритету представляет собой модификацию описанного выше метода. Его отличие состоит в том, что исходные данные рассматриваются в виде матрицы, строки которой составляют байты данных. Контрольный разряд подсчитывается отдельно для каждой строки и для каждого столбца матрицы. Этот метод обнаруживает большую часть двойных ошибок, однако обладает еще большей избыточностью. На практике сейчас также почти не применяется.

Циклический избыточный контроль (CyclicRedundancyCheck, CRC) является в настоящее время наиболее популярным методом контроля в вычислительных сетях (и не только в сетях, например, этот метод широко применяется при записи данных на диски и дискеты). Метод основан на рассмотрении исходных данных в виде одного многоразрядного двоичного числа. Например, кадр стандарта Ethernet, состоящий из 1024 байт, будет рассматриваться как одно число, состоящее из 8192 бит. В качестве контрольной информации рассматривается остаток от деления этого числа на известный делитель R . Обычно в качестве делителя выбирается семнадцати- или тридцати трехразрядное число, чтобы остаток от деления имел длину 16 разрядов (2 байт) или 32 разряда (4 байт). При получении кадра данных снова вычисляется остаток от деления на тот же делитель R , но при этом к данным кадра добавляется и содержащаяся в нем контрольная сумма. Если остаток от деления на R равен нулю¹ (¹Существует несколько модифицированная процедура вычисления остатка, приводящая к получению в случае отсутствия ошибок известного ненулевого остатка, что является более надежным показателем

корректности.), то делается вывод об отсутствии ошибок в полученном кадре, в противном случае кадр считается искаженным.

Этот метод обладает более высокой вычислительной сложностью, но его диагностические возможности гораздо выше, чем у методов контроля по паритету. Метод CRC обнаруживает все одиночные ошибки, двойные ошибки и ошибки в нечетном числе бит. Метод обладает также невысокой степенью избыточности. Например, для кадра Ethernet размером в 1024 байт контрольная информация длиной в 4 байт составляет только 0,4 %.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКАЖЕННЫХ И ПОТЕРЯННЫХ КАДРОВ

Методы коррекции ошибок в вычислительных сетях основаны на повторной передаче кадра данных в том случае, если кадр теряется и не доходит до адресата или приемник обнаружил в нем искажение информации. Чтобы убедиться в необходимости повторной передачи данных, отправитель нумерует отправляемые кадры и для каждого кадра ожидает от приемника так называемой *положительной квитанции* - служебного кадра, извещающего о том, что исходный кадр был получен и данные в нем оказались корректными. Время этого ожидания ограничено - при отправке каждого кадра передатчик запускает таймер, и, если по его истечении положительная квитанция не получена, кадр считается утерянным. Приемник в случае получения кадра с искаженными данными может отправить *отрицательную квитанцию* - явное указание на то, что данный кадр нужно передать повторно.

Существуют два подхода к организации процесса обмена квитанциями: с простоями и с организацией «окна».

Метод с простоями (IdleSource) требует, чтобы источник, пославший кадр, ожидал получения квитанции (положительной или отрицательной) от приемника и только после этого посылал следующий кадр (или повторял искаженный). Если же квитанция не приходит в течение тайм-аута, то кадр (или квитанция) считается утерянным и его передача повторяется. На Рисунок 24, а видно, что в этом случае производительность обмена данными существенно снижается, - хотя передатчик и мог бы послать следующий кадр сразу же после отправки предыдущего, он обязан ждать прихода квитанции. Снижение производительности этого метода коррекции особенно заметно на низкоскоростных каналах связи, то есть в территориальных сетях.

Второй метод называется методом «скользящего окна» (*slidingwindow*). В этом методе для повышения коэффициента использования линии источнику разрешается передать некоторое количество кадров в непрерывном режиме, то есть в максимально возможном для источника темпе, без получения на эти кадры положительных ответных квитанций. (Далее, где это не искажает существо рассматриваемого вопроса, положительные квитанции для краткости будут называться просто «квитанциями».) Количество кадров, которые разрешается передавать таким образом, называется размером окна. Рисунок 24, б иллюстрирует данный метод для окна размером в W кадров.

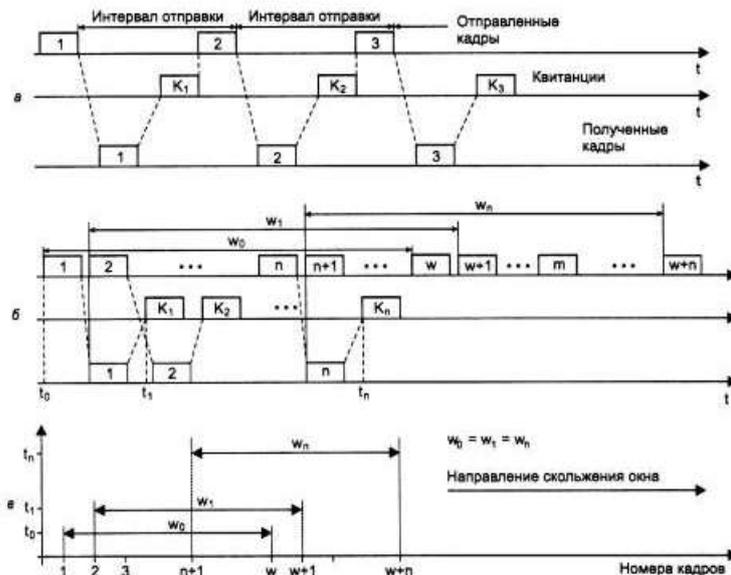


Рисунок 24. Методы восстановления искаженных и потерянных кадров

В начальный момент, когда еще не послано ни одного кадра, окно определяет диапазон кадров с номерами от 1 до W включительно. Источник начинает передавать кадры и получать в ответ квитанции. Для простоты предположим, что квитанции поступают в той же последовательности, что и кадры, которым они соответствуют. В момент t_1 при получении первой квитанции K_1 окно сдвигается на одну позицию, определяя новый диапазон от 2 до $(W+1)$.

Процессы отправки кадров и получения квитанций идут достаточно независимо друг от друга. Рассмотрим произвольный момент времени t_n , когда источник получил квитанцию на кадр с номером n . Окно сдвинулось вправо и определило диапазон разрешенных к передаче кадров от $(n+1)$ до $(W+n)$. Все множество кадров, выходящих из источника, можно разделить на перечисленные ниже группы (Рисунок 24, б).

- *Кадры с номерами от 1 до n* , уже были отправлены и квитанции на них получены, то есть они находятся за пределами окна слева.
- *Кадры, начиная с номера $(n+1)$ и кончая номером $(W+n)$* , находятся в пределах окна и потому могут быть отправлены не дожидаясь прихода какой-либо квитанции. Этот диапазон может быть разделен еще на два поддиапазона:
 - кадры с номерами от $(n+1)$ до t , которые уже отправлены, но квитанции на них еще не получены;
 - кадры с номерами от t до $(W+n)$, которые пока не отправлены, хотя запрета на это нет.
- *Все кадры с номерами, большими или равными $(W+n+1)$* , находятся за пределами окна справа и поэтому пока не могут быть отправлены.

Перемещение окна вдоль последовательности номеров кадров показано на Рисунок 24, в. Здесь t_0 - исходный момент, t_1 и t_n - моменты прихода квитанций на первый и n -й кадр соответственно. Каждый раз, когда приходит квитанция, окно сдвигается влево, но его размер при этом не меняется и остается равным W . Заметим, что хотя в данном примере размер окна в процессе передачи

остается постоянным, в реальных протоколах (например, TCP) можно встретить варианты данного алгоритма с изменяющимся размером окна.

Итак, при отправке кадра с номером n источнику разрешается передать еще $W-1$ кадров до получения квитанции на кадр n , так что в сеть последним уйдет кадр с номером $(W+n-1)$. Если же за это время квитанция на кадр n так и не пришла, то процесс передачи приостанавливается, и по истечении некоторого тайм-аута кадр n (или квитанция на него) считается утерянным, и он передается снова.

Если же поток квитанций поступает более-менее регулярно, в пределах допуска в W кадров, то скорость обмена достигает максимально возможной величины для данного канала и принятого протокола.

Метод скользящего окна более сложен в реализации, чем метод с простоями, так как передатчик должен хранить в буфере все кадры, на которые пока не получены положительные квитанции. Кроме того, требуется отслеживать несколько параметров алгоритма: размер окна W , номер кадра, на который получена квитанция, номер кадра, который еще можно передать до получения новой квитанции.

Приемник может не посылать квитанции на каждый принятый корректный кадр. Если несколько кадров пришли почти одновременно, то приемник может послать квитанцию только на последний кадр. При этом подразумевается, что все предыдущие кадры также дошли благополучно.

Некоторые методы используют отрицательные квитанции. Отрицательные квитанции бывают двух типов - групповые и избирательные. Групповая квитанция содержит номер кадра, начиная с которого нужно повторить передачу всех кадров, отправленных передатчиком в сеть. Избирательная отрицательная квитанция требует повторной передачи только одного кадра.

Метод скользящего окна реализован во многих протоколах: LLC2, LAP-B, X.25, TCP, Novell NCP BurstMode.

Метод с простоями является частным случаем метода скользящего окна, когда размер окна равен единице.

Метод скользящего окна имеет два параметра, которые могут заметно влиять на эффективность передачи данных между передатчиком и приемником, - размер окна и величина тайм-аута ожидания квитанции. В надежных сетях, когда кадры искажаются и теряются редко, для повышения скорости обмена данными размер окна нужно увеличивать, так как при этом передатчик будет посылать кадры с меньшими паузами. В ненадежных сетях размер окна следует уменьшать, так как при частых потерях и искажениях кадров резко возрастает объем вторично передаваемых через сеть кадров, а значит, пропускная способность сети будет расходоваться во многом впустую - полезная пропускная способность сети будет падать.

Выбор тайм-аута зависит не от надежности сети, а от задержек передачи кадров сетью.

Во многих реализациях метода скользящего окна величина окна и тайм-аут выбираются адаптивно, в зависимости от текущего состояния сети.

КОМПРЕССИЯ ДАННЫХ

Список ключевых слов: компрессия, или сжатие, адаптивная компрессия, относительное кодирование, символьное подавление, код переменной длины, статистическое кодирование, алгоритм Хаффмана.

Компрессия (сжатие) данных применяется для сокращения времени их передачи. Так как на компрессию данных передающая сторона тратит дополнительное время, к которому нужно еще прибавить аналогичные затраты времени на декомпрессию этих данных принимающей стороной, то выгоды от сокращения времени на передачу сжатых данных обычно бывают заметны только для низкоскоростных каналов. Этот порог скорости для современной аппаратуры составляет около 64 Кбит/с. Многие программные и аппаратные средства сети способны выполнять *динамическую компрессию* данных в отличие от статической, когда данные предварительно компрессируются (например, с помощью популярных архиваторов типа WinZip), а уже затем отсылаются в сеть.

На практике может использоваться ряд алгоритмов компрессии, каждый из которых применим к определенному типу данных. Некоторые модемы (называемые интеллектуальными) предлагают *адаптивную компрессию*, при которой в зависимости от передаваемых данных выбирается определенный алгоритм компрессии. Рассмотрим некоторые из общих алгоритмов компрессии данных.

Десятичная упаковка. Когда данные состоят только из чисел, значительную экономию можно получить путем уменьшения количества используемых на цифру бит с 7 до 4, используя простое двоичное кодирование десятичных цифр вместо кода ASCII. Просмотр таблицы ASCII показывает, что старшие три бита всех кодов десятичных цифр содержат комбинацию 011. Если все данные в кадре информации состоят из десятичных цифр, то, поместив в заголовок кадра соответствующий управляющий символ, можно существенно сократить длину кадра.

Относительное кодирование. Альтернативой десятичной упаковке при передаче числовых данных с небольшими отклонениями между последовательными цифрами является передача только этих отклонений вместе с известным опорным значением. Такой метод используется, в частности, в рассмотренном выше методе цифрового кодирования голоса ADPCM, передающем в каждом такте только разницу между соседними замерами голоса.

Символьное подавление. Часто передаваемые данные содержат большое количество повторяющихся байт. Например, при передаче черно-белого изображения черные поверхности будут порождать большое количество нулевых значений, а максимально освещенные участки изображения - большое количество байт, состоящих из всех единиц. Передатчик сканирует последовательность передаваемых байт и, если обнаруживает последовательность из трех или более одинаковых байт, заменяет ее

специальной трехбайтовой последовательностью, в которой указывает значение байта, количество его повторений, а также отмечает начало этой последовательности специальным управляющим символом.

Коды переменной длины. В этом методе кодирования используется тот факт, что не все символы в передаваемом кадре встречаются с одинаковой частотой. Поэтому во многих схемах кодирования коды часто встречающихся символов заменяют кодами меньшей длины, а редко встречающихся - кодами большей длины. Такое кодирование называется также статистическим кодированием. Из-за того, что символы имеют различную длину, для передачи кадра возможна только бит-ориентированная передача.

При *статистическом кодировании* коды выбираются таким образом, чтобы при анализе последовательности бит можно было бы однозначно определить соответствие определенной порции бит тому или иному символу или же запрещенной комбинации бит. Если данная последовательность бит представляет собой запрещенную комбинацию, то необходимо к ней добавить еще один бит и повторить анализ. Например, если при неравномерном кодировании для наиболее часто встречающегося символа «Р» выбран код 1, состоящий из одного бита, то значение 0 однобитного кода будет запрещенным. Иначе мы сможем закодировать только два символа. Для другого часто встречающегося символа «О» можно использовать код 01, а код 00 оставить как запрещенный. Тогда для символа «А» можно выбрать код 001, для символа «П» - код 0001 и т. п.

Вообще, неравномерное кодирование наиболее эффективно, когда неравномерность распределения частот передаваемых символов достаточна велика, как при передаче длинных текстовых строк. Напротив, при передаче двоичных данных, например кодов программ, оно малоэффективно, так как 8-битовые коды при этом распределены почти равномерно.

Одним из наиболее распространенных алгоритмов, на основе которых строятся неравномерные коды, является алгоритм Хаффмана, позволяющий строить коды автоматически, на основании известных частот символов. Существуют адаптивные модификации метода Хаффмана, которые позволяют строить дерево кодов «на ходу», по мере поступления данных от источника.

Многие модели коммуникационного оборудования, такие как модемы, мосты, коммутаторы и маршрутизаторы, поддерживают протоколы динамической компрессии, позволяющие сократить объем передаваемой информации в 4, а иногда и в 8 раз. В таких случаях говорят, что протокол обеспечивает коэффициент сжатия 1:4 или 1:8. Существуют стандартные протоколы компрессии, например V.42bis, а также большое количество нестандартных, фирменных протоколов. Реальный коэффициент компрессии зависит от типа передаваемых данных, так, графические и текстовые данные обычно сжимаются хорошо, а коды программ - хуже.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Назовите методы компрессии, наиболее подходящие для текстовой информации. Почему они неэффективны для сжатия двоичных данных?
2. Что подразумевается под расстоянием Хемминга?
3. Каково расстояние Хемминга в схемах контроля по паритету?
4. Можно ли использовать частотное мультиплексирование в сети Ethernet?
5. Какой режим временного мультиплексирования используется в сетях с коммутацией пакетов?
6. Можно ли сочетать различные методы мультиплексирования? Если да, то приведите соответствующие примеры.
7. Что общего в методах частотного и временного мультиплексирования?
8. На основании какой техники организуется дуплексный режим работы канала, если оба передатчика используют один и тот же диапазон частот в одно и то же время?
9. Найдите первые две гармоники спектра NRZ-сигнала при передаче последовательности 110011001100..., если тактовая частота передатчика равна 100 МГц.
10. Какие из 16-ти кодов 3В/4В вы выберете для передачи пользовательской информации?
11. Предложите избыточный код с расстоянием Хемминга, равным 3.
12. Могут ли данные надежно передаваться по каналу с полосой пропускания от 2,1 до 2,101 ГГц, если для их передачи используется несущая частота 2,1005 ГГц, амплитудная манипуляция с двумя значениями амплитуды и тактовая частота 5 МГц?
13. Предложите коды неравной длины для каждого из символов А, В, С, D, F и O, если нужно передать сообщение BDDACA AF000A0000. Будет ли достигнута компрессия данных по сравнению с использованием:
 - традиционных; кодов ASCII?
 - кодов равной длины, учитывающих наличие только данных символов?
14. Во сколько раз увеличится ширина спектра кода NRZ при увеличении тактовой частоты передатчика в два раза?

ВЫВОДЫ

- Основной задачей протоколов канального уровня является доставка кадра узлу назначения в сети определенной технологии и достаточно простой топологии.
- Асинхронные протоколы разрабатывались для обмена данными между низкоскоростными старт-стопными устройствами: телетайпами, алфавитно-цифровыми терминалами и т. п. В этих протоколах для управления обменом данными используются не кадры, а отдельные символы из нижней части кодовых таблиц ASCII или EBCDIC. Пользовательские данные могут оформляться в кадры, но байты в таких кадрах всегда отделяются друг от друга стартовыми и стоповыми сигналами.
- Синхронные протоколы посылают кадры как для отправки пользовательских данных, так и для управления обменом.

- В зависимости от способа выделения начала и конца кадра синхронные протоколы делятся на символично-ориентированные и бит-ориентированные. В первых для этой цели используются символы кодов ASCII или EBCDIC, а в последних - специальный набор бит, называемый флагом. Бит-ориентированные протоколы более рационально расходуют поле данных кадра, так как для исключения из него значения, совпадающего с флагом, добавляют к нему только один дополнительный бит, а символично-ориентированные протоколы добавляют целый символ.

- В дейтаграммных протоколах отсутствует процедура предварительного установления соединения, и за счет этого срочные данные отправляются в сеть без задержек.

- Протоколы с установлением соединения могут обладать многими дополнительными свойствами, отсутствующими у дейтаграммных протоколов. Наиболее часто в них реализуется такое свойство, как способность восстанавливать искаженные и потерянные кадры.

- Для обнаружения искажений наиболее популярны методы, основанные на циклических избыточных кодах (CRC), которые выявляют многократные ошибки.

- Для восстановления кадров используется метод повторной передачи на основе квитанций. Этот метод работает по алгоритму с простоями источника, а также по алгоритму скользящего окна.

- Для повышения полезной скорости передачи данных в сетях применяется динамическая компрессия данных на основе различных алгоритмов. Коэффициент сжатия зависит от типа данных и применяемого алгоритма и может колебаться в пределах от 1:2 до 1:8.

2.3. ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОЛОВ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ КАНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ В МОДЕЛИ OSI И TCP/IP-МОДЕЛИ

Список ключевых слов: модель OSI/ISO, протокол TCP/IP, подуровень управления логическим линком (LogicalLinkControl - LLC), подуровень управления доступом к среде (MediaAccessControl - MAC) TokenRing, Ethernet, FastEthernet, 100VG-AnyLAN, FDDI, IEEE 802.3, .4, .5, .12, детерминированные методы, метод опроса, метод передачи права, метод кольцевых слотов, недетерминированные методы, случайный метод(CSMA/CD), протокол HDLC, протоколы SLIP/CSLIP и PPP, LLC.

Модель OSI/ISO	TCP/IP
Прикладной	Прикладной (Application)
Представительский	
Сеансовый	
Транспортный	Транспортный (Transmission)
Сетевой	Межсетевой (Internetwork)
Канальный	Сетевой(Network)
Физический	

Рисунок 25. Структура модели OSI и протокола TCP/IP

В модели OSI канальный уровень – второй снизу; в TCP/IP – модели канальный и физический уровни образуют сетевой уровень(1-ый уровень этой модели).

ФУНКЦИИ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Канальный уровень обеспечивает надежную передачу через физический канал. При этом он выполняет следующие функции:

- *Основная функции: прием кадра из сети и отправка его в сеть;*
- *Выявление ошибок, возникающих на физическом уровне, и восстановление данных;*

Наиболее распространенным методом поиска ошибок является код CyclicRedundancyCheck (CRC).

Способ исправления ошибок канальным уровнем зависит от типа физического канала. Прямое исправление основано на включении в кадр дополнительной информации. Этот метод обычно используется в каналах передачи с многочисленными ошибками (линии доступа абонентских сетей) или большой задержкой (спутниковые каналы). Некоторые современные протоколы канального уровня ошибки не исправляют, а только обнаруживают и отбрасывают поврежденные кадры(протокол PPP). Ошибки устраняются посредством протоколов верхних уровней. Протоколы, использующие такой метод, рассчитаны на высококачественные физические каналы с малой вероятностью ошибок, к которым, в частности, относится волоконно-оптический кабель.

- *Контроль за состоянием канала, обработка сбойных ситуаций(коллизий в сети);*
- *Управление потоками данных;*

Использование разделяемой среды делает процедуры управления потоком кадров ненужными в локальных сетях. Локальная сеть базовой топологии не может переполниться кадрами, так как узлы сети не могут начать отправление нового кадра до приема предыдущего кадра станцией назначения.

В глобальных сетях требуются процедуры управления потоком кадров, так как промежуточные коммутаторы могут переполняться при слишком высокой интенсивности трафика. Принимающая станция должна иметь возможность, если она занята, остановить передачу. Естественно, что после освобождения ресурсов принимающая станция должна быть способна вновь подать сигнал о готовности к приему данных.

- *Соблюдение правил использования физического канала.*

Имеется ввиду управление доступом к каналу связи, которое определяет очередность передачи кадров станциями(в локальных сетях – метод случайного доступа, метод маркерного доступа).

- *Физическая адресация передаваемых сообщений.*

Канальный уровень не позволяет производить адресацию в сложных сетях.

В случае сервиса с установлением соединения:

- обмен между взаимодействующими станциями служебными пакетами, подтверждающими готовность к передаче данных (инициализация);
- обмен между взаимодействующими станциями служебной информацией, подтверждающей правильность соединения (идентификация);
- разрыв логического соединения (завершение работы канала);

ФОРМАТ ДАННЫХ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

На физическом уровне данные представляются в виде последовательности битов. Канальный уровень группирует эти биты в блоки, которые и передаются на сетевой уровень.

Канальный уровень оперирует блоками данных, называемых кадрами(frame). В общем случае каждый протокол канального уровня имеет свой особый формат кадра.

Состав заголовка кадра зависит от многих факторов, определяемых набором функций, которые выполняет протокол. Тем не менее, можно выделить ряд информационных полей, которые обычно присутствуют в заголовке кадра. К таким полям относятся:

1. Специальные поля, предназначенные для определения границ кадров. Поскольку в физической среде могут постоянно проходить какие-либо сигналы, то сетевые адаптеры должны уметь разбираться в том, когда начинается передача кадра и когда она заканчивается.

2. Поле, предназначенное для определения протокола сетевого уровня, которому необходимо передать данные. Так как на одном компьютере могут функционировать программные модули различных протоколов сетевого уровня, то протоколы канального уровня должны уметь распределять данные по этим протоколам.

3. Контрольная сумма (или специальный код) содержимого кадра, которая позволяет принимающей стороне определить наличие ошибок в принятых данных. Принцип ее использования состоит в следующем. Сетевой адаптер отправляющего компьютера после формирования кадра вычисляет значение его контрольной суммы на основе содержимого и помещает это значение в заголовок кадра. Принимающая сторона также вычисляет контрольную сумму полученного кадра и сравнивает его со значением, помещенным в заголовке. Если они не совпадают, то это означает, что во время передачи кадра произошла ошибка.

4. Поля, предназначенные для адресации абонентов в сложных сетях (определены для протоколов, применяемых в сетях, базирующихся на сложных топологиях).



Рисунок 26. Формат данных канального уровня

На практике поля, относящиеся к заголовку кадра, не всегда располагаются перед данными. Достаточно часто поле контрольной суммы располагается после данных. Это обеспечивает высокую эффективность проверки кадра при приеме, так как к моменту получения битов, соответствующих этому полю, весь кадр уже получен, и контрольная сумма может быть вычислена. Очевидно также, что поле, предназначенное для определения конца кадра, должно быть последним полем кадра.

Для большинства протоколов канального уровня существует ограничение на максимально допустимый объем данных, передаваемых в одном кадре, вызванное различными техническими условиями. Характеристику, устанавливающую это пороговое значение, выраженное в байтах, обозначают английской аббревиатурой MTU (MaximumTransferUnit, максимальная единица передачи данных).

ПОДУРОВНИ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Стандарт IEEE разделяет канальный уровень на два подуровня:

- подуровень управления логическим линком (LogicalLinkControl - LLC);
- подуровень управления доступом к среде (MediaAccessControl - MAC).

ISO	IEEE	Стандарты 802.x
Канальный уровень	LLC	802.2
	MAC	802.3, .4, .5, .12

Подуровень LLC обеспечивает интерфейс с сетевым уровнем и описывается стандартом IEEE 802.2. Этот подуровень при передаче информации отвечает за объединение данных в кадры с адресами и полями контроля, а при получении – за обработку кадров, включающую распознавание адреса, проверку контрольных кодов и распаковку.

Подуровень MAC, в свою очередь, разбивается еще на несколько уровней и описывается целым рядом стандартов (IEEE 802.3, .4, .5, .12 и т.д) в зависимости от типа используемой среды передачи данных. Его основная функция – обеспечение доступа к общей среде передачи данных. Функции этого подуровня различны в зависимости от конкретного типа среды.

Например, в технологии FastEthernet подуровень MAC ответственен за формирование своего кадра, в который вкладывается кадр LLC, получение доступа к разделяемой среде передачи данных и за отправку с помощью физического уровня кадра по физической среде узлу назначения. MAC – подуровень узла приемника, который получает биты кадра от своего физического уровня, проверяет поле адреса кадра, и если адрес совпадает с его собственным, то он копирует кадр в свой буфер. Затем он проверяет, не содержит ли кадр специфические ошибки: по контрольной сумме, по максимально допустимому размеру кадра, по минимально допустимому размеру кадра, по неверно найденным границам байт. Если кадр корректен, то его поле данных передается на LLC – подуровень, если нет – то отбрасывается.

ПРОТОКОЛЫ

В связи с таким делением на подуровни появляются два типа протоколов:

- протоколы, предназначенные для организации передачи по одному каналу передачи данных;
- протоколы для организации многозвенной передачи данных (используют протоколы первой группы).

Протоколы второго подуровня должны позволить верхнему уровню “безболезненно” учитывать возможные изменения суммарной пропускной способности между двумя узлами сети, которые могут иметь место при введении новых или исключении старых каналов связи.

Протоколы первой группы (подуровня MAC) определяются используемой сетевой технологией локальных сетей:

- TokenRing;
- Ethernet;
- FastEthernet;
- 100VG-AnyLAN;
- FDDI.

Прием кадра из сети и отправка его в сеть связаны с процедурой доступа к среде передачи данных. В локальных сетях используется разделяемая среда передачи данных, поэтому все протоколы канального уровня локальных сетей включают процедуру доступа к среде, которая и является главной функцией MAC-уровня.

На этом уровне формируется физический адрес устройства, подсоединенного к каналу. Этот физический адрес также называется MAC – адресом. Каждое устройство сети идентифицируется этим уникальным адресом, который присваивается всем сетевым интерфейсам устройства.

Кроме того, MAC-уровень должен согласовать дуплексный режим работы уровня LLC с полудуплексным режимом работы физического уровня. Для этого он буферизует кадры с тем, чтобы при получении доступа к среде, передать их по назначению.

Для доступа к разделяемой среде в локальных сетях используется два типа методов доступа:

- детерминированные методы:
 - метод опроса;
 - метод передачи права;
 - метод кольцевых слотов;
- недетерминированные:
 - случайный метод(CSMA/CD).

Метод опроса используется чаще всего в звездообразных сетях, так как он базируется на наличии центрального узла сети. При этом методе узел сети получает к ней доступ по следующим правилам:

1. Все узлы сети могут осуществлять передачу информации только тогда, когда получают разрешение от центрального узла.

2. Центральный узел последовательно опрашивает каждый периферийный узел на наличие у него информации для передачи

3. Если у опрашиваемого в данный момент узла есть информация для передачи, он извещает об этом центральный узел

4. В ответ на заявку передачи центральный узел предоставляет станции монопольное право на использование среды передачи. По завершении передачи центральный узел возобновляет опрос периферийных узлов.

Метод передачи права используется в сетях кольцевой топологии(TokenRing), шинной топологии(ARCnet-Bus), звездообразной топологии(ARCnet-STAR). Этот метод основан на последовательной циркуляции в сети специального пакета, называемого маркером(Token), который регламентирует право передачи в сети. Маркер имеет два состояния: свободно и занято и циркулирует по кругу от узла к узлу. Поэтому сети, использующие такой метод доступа, называются логическими кольцами.

Метод передачи права состоит из следующих этапов:

1. Станция, желающая передавать данные, ожидает свободный маркер, при получении которого устанавливает признак его занятости и добавляет к маркеру пакет данных и отправляет такой кортеж (маркер+пакет) в сеть.

2. Маркер+пакет последовательно передаются от узла к узлу. Каждый узел осуществляет проверку адресов пакетов. Кортеж, адресованный другому узлу, отправляется дальше.

3. Принимающий узел распознает адресованный ему пакет и, если он может, принимает его, устанавливает специальный бит подтверждения приема в маркере и отправляет кортеж отправителю по оставшемуся пути кольца.

4. После того, как отправитель получит свой кортеж обратно, он освобождает маркер и посылает его в сеть.

Метод кольцевых слотов используется только в кольцевых топологиях. Наиболее яркими его представителями являются сети CambridgeRing и TransRing-3000. при этом методе вместо одного маркера в сети циркулирует несколько слотов.

Методы случайного доступа основаны на том, что каждая станция сети пытается получить доступ к среде в тот момент времени, когда ей это становится необходимым. Если среда уже занята, то станция повторяет попытки доступа до тех пор, пока очередная попытка не окажется успешной. Хотя принцип случайного доступа допускает различные реализации, широко используется только метод случайного доступа технологии Ethernet.

Особенностью всех методов доступа к передающей среде, используемых в локальных сетях, является распределенный характер механизма их реализации, то есть в решении этой задачи участвуют все компьютеры на равных (или почти равных) основаниях. Такая децентрализация делает работу сети более надежной.

Разделяемая среда, независимо от ее физической реализации в любой момент времени может находиться в одном из трех состояний – состоянии свободы, занятости или коллизии. Состояние занятости соответствует нормальной передаче кадра одним из узлов сети. Состояние коллизии возникает при одновременной передаче кадров более чем одним узлом сети. MAC – подуровень каждого узла сети получает от физического уровня информацию о состоянии разделяемой среды. Если она свободна и у MAC-подуровня есть кадр для передачи, то он передает его через физический уровень в сеть. Физический уровень одновременно с побитной передачей кадра следит за состоянием среды. Если за время передачи кадра коллизия не возникла, то кадр считается переданным. Если же за это время коллизия была зафиксирована, то передача кадра прекращается и в сеть выдается специальная последовательность из 32 бит (jam - последовательность), которая должна помочь однозначно распознать коллизию всеми узлами сети. После фиксации коллизии MAC-подуровень делает случайную паузу, а затем вновь пытается передать данный кадр. Случайный характер паузы уменьшает вероятность одновременной попытки захвата разделяемой среды несколькими узлами при следующей попытке. Интервал, из которого выбирается случайная величина паузы, возрастает с каждой попыткой (до 10-й). После достижения максимального числа попыток передачи кадра MAC – подуровень оставляет данный кадр и начинает передачу следующего кадра, поступившего с LLC – подуровня.

ПРОТОКОЛЫ ВТОРОГО ПОДУРОВНЯ

Предназначены для выполнения следующих функций:

- независимость от используемой среды передачи;
- кодонезависимость передаваемых данных;
- надежный обмен данными;
- выбор качества обслуживания при передаче данных.

Независимость от используемой среды передачи означает, что протоколы верхних уровней не зависят от типа и качества используемых каналов связи и режимов передачи по данному соединению.

Надежный обмен данными предполагает:

- вероятности появления в передаваемых данных вставок, потерь и искажений достаточно малы;
- возможно требование сохранения порядка следования передаваемых по соединению данных.

Подуровень LLC дает более высоким уровням возможность управлять качеством услуг. LLC обеспечивает сервис трех типов:

- Сервис без подтверждения доставки и установления соединения(LLC1).

Он не гарантирует доставку кадров. Этот вид сервиса называется дейтаграммным. Он чаще применяется в приложениях, использующих протоколы более высоких уровней, которые сами обеспечивают защиту от ошибок и поддерживают потоковую передачу данных.

- Сервис с установлением соединения, способный обеспечить надежный обмен кадрами(LLC2).

Этот сервис дает пользователю возможность установить логическое соединение перед началом передачи любого блока данных и, если это требуется, выполнить процедуры восстановления после ошибок и упорядочивание потока этих блоков в рамках установленного соединения. Этот сервис во многом аналогичен протоколам семейства HDLC (LAP-B, LAP-D, LAP-M), которые применяются в глобальных сетях для обеспечения надежной передачи кадров на зашумленных линиях.

- Сервис без установления соединения с подтверждением доставки(LLC3).

Этот сервис используется, когда временные издержки установления логического соединения перед отправкой данных неприемлемы, а подтверждение корректности приема переданных данных необходимо.

Используемые протоколы можно разделить на три группы:

- Знако- ориентированные (BSC);
- Байт- ориентированные (DDCMP);
- Бит- ориентированные (SDLC, HDLC, ADCCP, LAP, LAPB, BDLC, UDLC).

ЗНАКО - ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

• протоколы, в которых для функции управления применяются структуры определенных знаков некоторого (первичного) кода.

• Пример знако- ориентированных протоколов: BSC- (BinarySynchronousCommunication), SLC (SynchronousLinkControl).

Свойства знако- ориентированных протоколов:

- жесткая привязка процедуры к используемому первичному коду;
- выделение части знаков первичного кода для целей управления в процедуре не позволяет их использовать для передачи данных;
- ориентация процедуры на знаки делает ее непрозрачной по отношению к структуре передаваемых данных, а организация прозрачности приводит к снижению эффективности;

- необходимость распознавания управляющих и информационных знаков в потоке следующих по каналу знаков первичного кода накладывает жесткие ограничения на производительность аппаратных и программных устройств, реализующих соответствующие функции протокола;
- защите от ошибок подлежат только информационные знаки, что создает большие трудности в части создания надежной процедуры.

БАЙТ - ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

Пример протокола: DDCMP (DigitalDataCommunicationMessageProtocol).

DDCMP предназначен для синхронной работы по дуплексным и полудуплексным соединениям, устанавливаемым по коммутируемым или выделенным каналам, по сетях “от точки к точке” или многоточечным соединениям.

В формате кадра этого протокола выделено две области:

- область управления;
- информационная область.

Каждая из этих областей закрывается своим кодом с числом проверочных символов, равным 2 байта.

- 1 байт используется для указания и распознавания типа кадра (информационный, служебный, управляющий);
- 2 байта применяются для указания длины информационной области(14 первых бит) и управления каналом связи(2 последних бита);
- 3 байта несут информацию о возвращаемом номере полученного от удаленной станции информационного кадра, порядковом номере передаваемого информационного кадра и адресе станции, которой направляется данный кадр(в многоточечном соединении);
- Вслед за байтами заголовка и соответствующими им двумя проверочными байтами следуют информационные байты, за которыми опять два проверочных байта.

Этот протокол нельзя назвать строго байт- ориентрованным, поскольку элементы одного и того же байта(последнего из двух, предназначенных для указания длины информационного поля и управления каналом связи) применяются для управления двумя различными функциями.

Его можно рассматривать, как переходный вариант от знако-ориентированных до бит-ориентированных протоколов.

DDCMP является кодонезависимым – отсутствуют ограничения на любые комбинации бит и байт в информационной области. Кодонезависимость обеспечивается подсчетом числа байт в информационной области и передачей его в заголовке информационного кадра.

DDCMP обеспечивает синхронизация по кадрам и сообщениям (предполагается, что побитовая синхронизация обеспечивается на физическом уровне).

Синхронизация реализуется с помощью стартстопного метода передачи, в качестве стартовой посылки используются 2 байта синхронизации, посылаемые

в начале каждого кадра. Конец кадра опознается по количеству содержащихся в кадре байт управления и информации.

БИТ - ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

Примеры протоколов:

- SDLC (Synchronous Data Link Control Protocol)
- ADCCP (Advanced Data Communication Control Procedures)
- HDLC (High-Level DLC)
- LAP (Link Access Procedures)
- LAPB (Balanced LAP)
- BDLC (Burroughs DLC)
- UDLC (Univac DLC)

Используют выделенную в кадре управляющую область, двоичные символы которой применяются для организации управления. При таком подходе применение области управления из m двоичных символов позволяет определить до 2^m различных команд;

Таким же образом выделяется адресная область (A), информационная область (I), область проверочных символов (FCS).

Карты передаются на основе старт-стопового принципа, т.е. в начале стартовая, а в конце стоповая битовые последовательности (флаги F).

Свойства:

- Обеспечивают кодонезависимость передачи данных;
- Легко приспосабливаются к различным условиям применения;
- Позволяют вести как полудуплексный, так и дуплексный обмен данными;
- Обеспечивают высокую надежность и эффективность использования различных каналов связи.

ПРОТОКОЛ HDLC

HDLC (High-level Data Link Control Protocol) – протокол управления каналом связи высокого уровня. Он был разработан ISO на базе протокола SDLC, который был первым из протоколов канального уровня, базирующихся на синхронном бит-ориентированном режиме работы.

Существует три типа станций (узлов) HDLC:

- Первичная станция (ведущая) управляет звеном передачи данных (каналом). Несет ответственность за организацию потоков передаваемых данных и восстановление работоспособности звена передачи данных. Эта станция передает кадры команд вторичным станциям, подключенным к каналу. В свою очередь она получает кадры ответа от этих станций. Если канал является многоточечным, главная станция отвечает за поддержку отдельного сеанса связи с каждой станцией, подключенной к каналу.

- Вторичная станция (ведомая) работает как зависимая по отношению к первичной станции (ведущей). Она реагирует на команды, получаемые от первичной станции, в виде ответов. Поддерживает только один сеанс, а именно

только с первичной станцией. Вторичная станция не отвечает за управление каналом.

- Комбинированная станция сочетает в себе одновременно функции первичной и вторичной станции. Передает как команды, так и ответы и получает команды и ответы от другой комбинированной станции, с которой поддерживает сеанс.

Три логических состояния, в которых могут находиться станции в процессе взаимодействия друг с другом:

- Состояние логического разъединения (LDS).

- В этом состоянии станция не может вести передачу или принимать информацию. Если вторичная станция находится в нормальном режиме разъединения (NDM - NormalDisconnectionMode), она может принять кадр только после получения явного разрешения на это от первичной станции. Если станция находится в асинхронном режиме разъединения (ADM - AsynchronousDisconnectionMode), вторичная станция может инициировать передачу без получения на это явного разрешения, но кадр должен быть единственным кадром, который указывает статус первичной станции. Условиями перехода в состояние LDS могут быть начальное или повторное (после кратковременного отключения) включение источника питания; ручное управление установлением в исходное состояние логических цепей различных устройств станции и определяется на основе принятых системных соглашений.

- Состояние инициализации (IS).

- Это состояние используется для передачи управления на удаленную вторичную/комбинированную станцию, ее коррекции в случае необходимости, а также для обмена параметрами между удаленными станциями в звене передачи данных, используемыми в состоянии передачи информации.

- Состояние передачи информации (ITS).

- Вторичной, первичной и комбинированным станциям разрешается вести передачу и принимать информацию пользователя. В этом состоянии станция может находиться в режимах NRM, ARM и ABM.

Три режима работы станции в состоянии передачи информации, которые могут устанавливаться и отменяться в любой момент:

- Режим нормального ответа (NRM - NormalResponseMode) требует, чтобы прежде, чем начать передачу, вторичная станция получила явное разрешение от первичной. После получения разрешения вторичная станция начинает передачу ответа, который может содержать данные. Пока канал используется вторичной станцией, может передаваться один или более кадров. После последнего кадра вторичная станция должна снова ждать явного разрешения, прежде чем снова начать передачу. Как правило, этот режим используется вторичными станциями в многоточечных конфигурациях звена передачи данных.

- Режим асинхронного ответа (ARM - AsynchronousResponseMode) позволяет вторичной станции инициировать передачу без получения явного разрешения от первичной станции (обычно, когда канал свободен, - в состоянии покоя). Этот режим придает большую гибкость работы вторичной станции.

Могут передаваться один или несколько кадров данных или управляющая информация, отражающая изменение статуса вторичной станции. ARМ может уменьшить накладные расходы, поскольку вторичная станция, чтобы передать данные, не нуждается в последовательности опроса. Как правило, такой режим используется для управления соединенными в кольцо станциями или же в многоточечных соединениях с опросом по цепочке. В обоих случаях вторичная станция может получить разрешение от другой вторичной станции и в ответ на него начать передачу. Таким образом разрешение на работу продвигается по кольцу или вдоль соединения.

- Асинхронный сбалансированный режим (ABM - AsynchronousBalanseMode) используют комбинированные станции. Комбинированная станция может инициировать передачу без получения предварительного разрешения от другой комбинированной станции. Этот режим обеспечивает двусторонний обмен потоками данных между станциями и является основным (рабочим) и наиболее часто используемым на практике.

Три способа конфигурирования канала для обеспечения совместимости взаимодействий между станциями, использующих основные элементы процедур HDLC и способных в процессе работы менять свой статус (первичная, вторичная, комбинированная):

- Несбалансированная конфигурация (UN - UnbalancedNormal) обеспечивает работу одной первичной станции и одной или большего числа вторичных станций в конфигурации односточечной или многоточечной, полудуплексной или полнодуплексной, с коммутируемым каналом и с некоммутируемым. Конфигурация называется несбалансированной потому, что первичная станция отвечает за управление каждой вторичной станцией и за выполнение команд установления режима.

- Симметричная конфигурация (UA - UnbalancedAsynchronous) была в исходной версии стандарта HDLC и использовалась в первых сетях. Эта конфигурация обеспечивает функционирование двух независимых двухточечных несбалансированных конфигураций станций. Каждая станция обладает статусом первичной и вторичной, и, следовательно, каждая станция логически рассматривается как две станции: первичная и вторичная. Главная станция передает команды вторичной станции на другом конце канала, и наоборот. Несмотря на то, что станция может работать как в качестве первичной, так и вторичной станции, которые являются самостоятельными логическими объектами, реальные команды и ответы мультиплексируются в один физический канал. Этот подход в настоящее время используется редко.

- Сбалансированная конфигурация (BA - BalancedAsynchronous) состоит из двух комбинированных станций, метод передачи - полудуплексный или дуплексный, канал - коммутируемый или некоммутируемый. Комбинированные станции имеют равный статус в канале и могут несанкционированно посылать друг другу трафик. Каждая станция несет одинаковую ответственность за управление каналом.

Флаг	Адрес	Управляющее поле	Информационное поле	CRC	Флаг
------	-------	------------------	---------------------	-----	------

Флаг. Все кадры должны начинаться и заканчиваться полями флага "01111110". Станции, подключенные к каналу, постоянно контролируют двоичную последовательность флага. Флаги могут постоянно передаваться по каналу между кадрами HDLC. Для индексации исключительной ситуации в канале могут быть посланы семь подряд идущих единиц. Пятнадцать или большее число единиц поддерживают канал в состоянии покоя. Если принимающая станция обнаружит последовательность битов не являющихся флагом, она тем самым уведомляется о начале кадра, об исключительной (с аварийным завершением) ситуации или ситуации покоя канала. При обнаружении следующей флаговой последовательности станция будет знать, что поступил полный кадр.

Адресное поле определяет первичную или вторичную станции, участвующие в передаче конкретного кадра. Каждой станции присваивается уникальный адрес. В несбалансированной системе адресные поля в командах и ответах содержат адрес вторичной станции. В сбалансированных конфигурациях командный кадр содержит адрес получателя, а кадр ответа содержит адрес передающей станции.

Управляющее поле задает тип команды или ответа, а так же порядковые номера, используемые для отчетности о прохождении данных в канале между первичной и вторичной станциями. Формат и содержание управляющего поля определяют кадры трех типов: информационные (I), супервизорные (S) и нумерованные (U).

Информационный формат (I - формат) используется для передачи данных конечных пользователей между двумя станциями.

Супервизорный формат (S - формат) выполняет управляющие функции: подтверждение (квитирование) кадров, запрос на повторную передачу кадров и запрос на временную задержку передачи кадров. Фактическое использование супервизорного кадра зависит от режима работы станции (режим нормального ответа, асинхронный сбалансированный режим, асинхронный режим ответа).

Нумерованный формат (U - формат) также используется для целей управления: инициализации или разъединения, тестирования, сброса и идентификации станции и т.д. Конкретный тип команды и ответа зависит от класса процедуры HDLC.

Информационное поле содержит действительные данные пользователя. Информационное поле имеется только в кадре информационного формата. Его нет в кадре супервизорного или нумерованного формата.

Поле CRC (контрольная последовательность кадра) используется для обнаружения ошибок передачи между двумя станциями. Передающая станция осуществляет вычисления над потоком данных пользователя, и результат этого вычисления включается в кадр в качестве поля CRC. В свою очередь, принимающая станция производит аналогичные вычисления и сравнивает полученный результат с полем CRC. Если имеет место совпадение, велика вероятность того, что передача произошла без ошибок. В случае несовпадения,

возможно, имела место ошибка передачи, и принимающая станция посылает отрицательное подтверждение, означающее, что необходимо повторить передачу кадра. Вычисление CRC называется циклическим контролем по избыточности и использует некоторый производящий полином в соответствии с рекомендацией МККТТ V.41. Этот метод позволяет обнаруживать всевозможные кортежи ошибок длиной не более 16 разрядов, вызываемые одиночной ошибкой, а также 99,9984% всевозможных более длинных кортежей ошибок.

По своему назначению все кадры подразделяются на три типа:

- информационные;

предназначены для передачи информации в процедурах с установлением логического соединения и должны обязательно содержать поле информации. В процессе передачи информационных блоков осуществляется их нумерация в режиме скользящего окна.

- управляющие;

предназначены для передачи команд и ответов в процедурах с установлением логического соединения, в том числе запросов на повторную передачу искаженных информационных блоков.

- ненумерованные.

предназначены для передачи ненумерованных команд и ответов, выполняющих в процедурах без установления логического соединения передачу информации, идентификацию и тестирование, а в процедурах с установлением логического соединения - установление и разъединение логического соединения, а также информирование об ошибках.

LLC

LLC (Управление логическим звеном) является стандартом, опубликованным Комитетом по стандартам IEEE 802 для локальных сетей. Стандарт допускает взаимодействие локальной сети с глобальной сетью. LLC использует подкласс базового множества HDLC.

Все типы кадров уровня LLC имеют единый формат. Они содержат четыре поля:

- адрес точки входа сервиса назначения (DestinationServiceAccessPoint, DSAP);
- адрес точки входа сервиса источника (SourceServiceAccessPoint, SSAP);
- управляющее поле (Control);
- полевых данных (Data).

Флаг (01111110)	Адрес точки входа сервиса назначения DSAP	Адрес точки входа сервиса источника SSAP	Управляющее поле Control	Данные Data	Флаг (01111110)
--------------------	--	---	-----------------------------	----------------	--------------------

DSAP

Структура поля DSAP (destination service access point – точка доступа к сервису у получателя):

I/ G	Биты адреса
---------	----------------

I/G - персональный или групповой адрес:

- 0 персональный адрес DSAP;
- 1 групповой адрес DSAP.

SSAP

Структура поля SSAP (source service access point – точка доступа к сервису у отправителя):

C/ R	Биты адреса
---------	----------------

C/R - Команда (C) или отклик (R):

- 0 команда;
- 1 отклик на команду.
-

Поля DSAP и SSAP позволяют указать, какой сервис верхнего уровня пересылает данные с помощью этого кадра. Программному обеспечению узлов сети при получении кадров канального уровня необходимо распознать, какой протокол вложил свой пакет в поле данных поступившего кадра, для того, чтобы передать извлеченный из кадра пакет нужному протоколу для последующей обработки. Например, в качестве значения DSAP и SSAP может выступать код протокола IPX.

Поле управления

Поле управления показывает тип запрашиваемого сервиса LLC. Структура поля управления:

	1			8	9	16	биты
Информация	0	N (S)			P/F	N (R)	
Управление	1	0	SS	XXXX	P/F	N (R)	
Дополнительные	1	1	мм	P/F MMM			

N (S) Порядковый номер при передаче.

N (R) Порядковый номер при приеме.

P/F Биты опроса (P) / завершения (F). Передача команды / отклика LLC PDU.

S Биты функций управления:

- 00 RR (готовность к приему);
- 01 REJ (отказ – reject);
- 10 RNR (отсутствие готовности к приему).

X Резервировано и должно иметь нулевое значение.

M Биты модификатора функций

Поле управления используется для обозначения типа кадра данных - информационный, управляющий или нумерованный. Кроме этого, в этом поле указываются порядковые номера отправленных и успешно принятых кадров, если подуровень LLC работает по процедуре LLC2 с установлением соединения. Формат поля управления полностью совпадает с форматом поля управления кадра LAP-B.

Поле данных кадра LLC предназначено для передачи по сети пакетов протоколов верхних уровней - IP, IPX, AppleTalk, DECnet, в редких случаях - прикладных протоколов, когда те не пользуются сетевыми протоколами, а вкладывают свои сообщения непосредственно в кадры канального уровня. Поле данных может отсутствовать в управляющих кадрах и некоторых нумерованных кадрах.

Кадр LLC обрамляется двумя однобайтовыми полями "Флаг", имеющими значение 01111110. Флаги используются на MAC-уровне для определения границ блока. (формат кадров LLC, за исключением поля адреса точки входа сервиса источника, соответствует формату кадра HDLC, а также одного из вариантов протокола HDLC - протокола LAP-B, используемого в сетях X.25).

ПРОТОКОЛЫ SLIP/CSLIP И PPP

SLIP и PPP - это протоколы, адаптирующие IP для работы на последовательных линиях. Они представляют собой некую прокладку между IP и модемными протоколами.

Основная функция программного обеспечения SLIP/PPP - организовать пересылку IP-пакетов по последовательной линии.

Многие интернет-провайдеры используют PPP для предоставления коммутируемого доступа в Интернет.

SLIP (SerialLineIP) был создан в начале 80-х годов и в 1984 году встроен Риком Адамсом (RickAdams) в ОС 4.2 BerkleyUNIX. Позднее SLIP был поддержан и в других версиях UNIX и реализован в программном обеспечении для ПК.

Протокол SLIP использует специальные символы для ограничения кадра данных в последовательном канале. Для того чтобы распознать границы SLIP-кадров, передаваемых по последовательной линии связи, и отделить один кадр от другого, протокол SLIP предусматривает использование специального символа END, значение которого в шестнадцатеричном представлении равно C0. Применение специального символа может породить конфликт: если байт пересылаемых данных тождественен символу END, то он будет ошибочно определен как признак конца кадра. Чтобы предотвратить такую ситуацию, байт данных со значением, равным значению символа END, заменяется составной двухбайтовой последовательностью, состоящей из специального символа ESC (DB) и кода DC. (Применяемый в протоколе SLIP символ ESC, не равный символу ESC в кодировке ASCII, будем обозначать SLIP ESC.) Если же байт данных имеет тот же код, что и символ SLIP ESC, то он заменяется двухбайтовой последовательностью, состоящей из собственно символа SLIP ESC и кода DD. После последнего байта пакета передается символ END.

Механизм формирования составных последовательностей показан на рисунке. Здесь приведены стандартный пакет IP, один байт которого тождественен символу END, а другой - символу SLIP ESC, и соответствующий ему пакет SLIP, который больше на 4 байта.

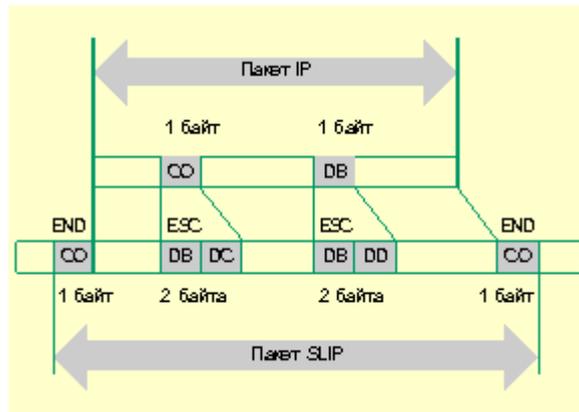


Рисунок 27.Соответствие между пакетами протоколов IP и SLIP

Хотя в спецификации протокола SLIP не определена максимальная длина передаваемого SLIP-кадра, реальный его размер определяется длиной IP-пакета и не должен превышать 1006 байтов. Данное ограничение связано с первой реализацией протокола SLIP в соответствующем драйвере для BerkleyUnix, и его соблюдение необходимо для поддержки совместимости разных реализаций SLIP .

COMPRESSED SLIP

Низкая пропускная способность последовательных линий вынуждает сокращать время передачи пакетов, уменьшая объем содержащейся в них служебной информации. Эта задача решается с помощью протокола Compressed SLIP , поддерживающего сжатие заголовков пакетов.

Появление CSLIP объясняется тем, что при использовании программ типа telnet, rlogin и других для пересылки одного байта данных требуется переслать 20-байтовый заголовок пакета IP и 20-байтовый заголовок пакета TCP . Спецификация CSLIP обеспечивает сжатие 40 байтов заголовка до 3-5 байтов.

На низких скоростях передачи данных эта разница заметна только при работе с пакетами, несущими малые объемы информации, такие пакеты порождаются, например, при работе telnet или rlogin. На больших же скоростях CSLIP даёт меньший выигрыш и почти ничего не даёт для пакетов с большими объемами данных, например, ftp -пакетов.

CSLIP для пересылки пакета использует информацию из предыдущего пакета, т.е. передача имеет структуру цепочки. Первый пакет в цепочке - несжатый. Если какой-либо пакет теряется, то цепочка рвётся, нельзя этот же пакет запросить в самом конце, его нужно пересылать заново тут же, т.е. прекращать процесс передачи и начинать новую цепочку. Таким образом, эта технология при частых пропажах или искажениях пакетов приводит к большим потерям времени, чем обычный SLIP . Это происходит из-за задержек на остановку и передачу нового несжатого пакета.

PPP(POINT-TO-POINT PROTOCOL — ПРОТОКОЛТОЧКА-ТОЧКА)

Протокол Point-to-Point Protocol выполняет формирования стандартных пакетов данных Internet IP в каналах с непосредственным соединением. PPP также должен решать другие проблемы, в том числе присвоение и управление адресами IP, асинхронное (старт/стоп) и синхронное бит-ориентированное формирование пакета данных, мультиплексирование протокола сети, конфигурация канала связи, проверка качества канала связи, обнаружение ошибок и согласование варианта для таких способностей, как согласование адреса сетевого уровня и согласование компрессии информации.

PPP решает эти вопросы путем обеспечения расширяемого Протокола Управления Каналом (Link Control Protocol) (LCP) и семейства Протоколов Управления Сетью (Network Control Protocols) (NCP), которые позволяют согласовывать факультативные параметры конфигурации и различные возможности. Сегодня PPP, помимо IP, обеспечивает также и другие протоколы, в том числе IPX и DECnet.

КОМПОНЕНТЫ PPP

PPP обеспечивает метод передачи дейтаграмм через последовательные каналы связи с непосредственным соединением. Он содержит три основных компонента:

- Метод формирования дейтаграмм для передачи по последовательным каналам. PPP использует протокол High-level Data Link Control (HDLC) (Протокол управления каналом передачи данных высокого уровня) в качестве базиса для формирования дейтаграмм при прохождении через каналы с непосредственным соединением.

- Расширяемый протокол LCP (Link Control Protocol) для организации, выбора конфигурации и проверки соединения канала передачи данных.

- Семейство протоколов NCP (Network Control Protocols) для организации и выбора конфигурации различных протоколов сетевого уровня. PPP предназначен для обеспечения одновременного пользования множеством протоколов сетевого уровня.

Для того чтобы организовать связь через канал связи с непосредственным соединением, иницирующий PPP сначала отправляет пакеты LCP для выбора конфигурации и (факультативно) проверки канала передачи данных. После того, как канал установлен и пакетом LCP проведено необходимое согласование факультативных средств, иницирующий PPP отправляет пакеты NCP, чтобы выбрать и определить конфигурацию одного или более протоколов сетевого уровня. Как только конфигурация каждого выбранного протокола определена, дейтаграммы из каждого протокола сетевого уровня могут быть отправлены через данный канал. Канал сохраняет свою конфигурацию для связи до тех пор, пока явно выраженные пакеты LCP или NCP не закроют этот канал, или пока не произойдет какое-нибудь внешнее событие (например, истечет срок бездействия таймера или вмешается какой-нибудь пользователь).

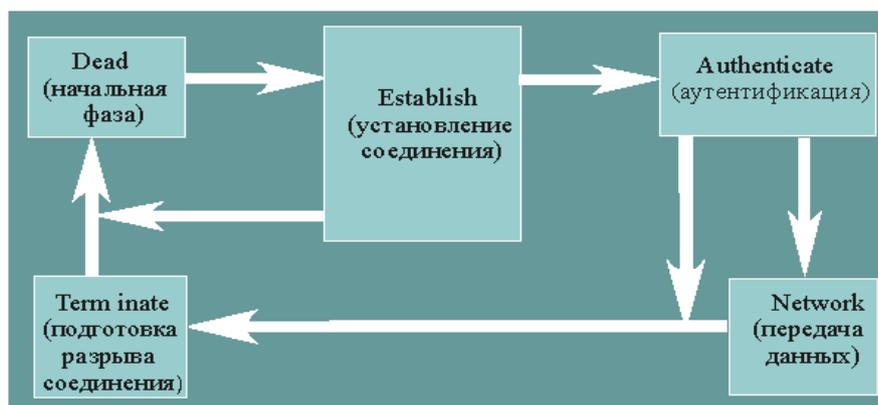


Рисунок 28. Организация связи через канал связи с непосредственным соединением

Фаза Dead начинает и заканчивает процесс связи. В случае появления внешнего события (например, готовность аппаратного обеспечения осуществить связь) будет инициирована фаза Establish, в которой происходит согласование различных параметров соединения (обмен пакетами LCP). В случае невозможности согласовать некоторый параметр процесс прервется и протокол перейдет в состояние Dead. Если же все необходимые параметры согласованы, будет инициирована фаза Authenticate, в которой проводится проверка на подлинность участников сеанса (если таковая требуется). В случае неудачной аутентификации будет инициирована фаза Terminate, подготавливающая разрыв соединения. Если же фаза Authenticate прошла успешно, протокол переходит к фазе Network. В этой фазе осуществляется пересылка данных в соответствии с ранее сконфигурированными параметрами связи (в частности - типом сетевого протокола). Фаза Network начинается с того, что каждый протокол сетевого уровня (например, IP или IPX) конфигурирует различные параметры (скажем, согласует алгоритм сжатия заголовка пакета, обменивается адресной информацией) с помощью соответствующих протоколов NetworkControlProtocol (например, IP ControlProtocol или IPX ControlProtocol). Фаза Terminate (используется по окончании передачи кадров или в случае возникновения каких-либо ошибок) прерывает передачу кадров и переводит протокол PPP в состояние Dead.

Структура кадра протокола PPP.

PPP использует принципы, терминологию и структуру блока данных процедур HDLC (HighLevelDataLinkControl).

1 байт	1 байт	1 байт	2 байта	(до 1500 байтов)	2 байта	1 байт
Flag	Address	Control	Protocol	Information	CRC	Flag
(7E)	(FF)	(03)				(7E)

Flag

Длина последовательности "флаг" равна одному байту; она указывает на начало или конец блока данных. Эта последовательность состоит из бинарной последовательности 01111110.

Address

Длина поля "адрес" равна 1 байту; оно содержит бинарную последовательность 11111111, представляющую собой стандартный широковещательный адрес. PPP не присваивает индивидуальных адресов станциям, то есть содержимое поля "адрес" никогда не изменяется.

Control

Поле "управление" составляет 1 байт и содержит бинарную последовательность 00000011, которая требует от пользователя передачи информации непоследовательным кадром. Предусмотрены услуги без установления соединения канала связи, аналогичные услугам LLC Type 1.

Protocol

Длина поля "протокол" равна 2 байтам; его значение идентифицирует протокол, заключенный в информационном поле блока данных.

Значения поля Protocol и соответствующие им пакеты:

Значение поля Protocol	Тип пакета
0021	IP
0023	ISO CLNP
0025	Xerox NS IDP
0027	DECnet Phase IV
0029	Apple Talk
002B	IPX
002D	Van Jacobson Compressed TCP/IP 1
002F	Van Jacobson Compressed TCP/IP 2
8021	IP Control Protocol
8023	ISO CLNP Control Protocol
8025	Xerox NS IDP Control Protocol
8027	DECnet Phase IV Control Protocol
8029	Apple Talk Control Protocol
802B	IPX Control Protocol
C021	Link Control Protocol
C023	User/Password Authentication Protocol

Information

Длина поля "данные" - от нуля и больше; оно содержит дейтаграмму для протокола, заданного в поле протокола. Максимальная длина умолчания информационного поля равна 1500 байтам. В соответствии с априорным соглашением, разрешающие реализации PPP могут использовать другие значения максимальной длины информационного поля.

Если при синхронном типе связи в поле "данные" появляется байт со значением 7E (значение байта-флага), то ситуация обрабатывается на аппаратном уровне с помощью техники вставки битов (bitstuffing).

При асинхронном (стартстопном) типе связи ситуации, когда между байтами-флагами появляются байты со значениями 7E или 7D (значение символа Esc - escape) и значениями меньшими 20 (управляющие символы ASCII), обрабатываются при помощи составных последовательностей. Байт 7E передается как двухбайтовая последовательность 7D,5E; байт 7D - как

последовательность 7D,5D; байты XX со значениями меньшими 20 - как XX, 01.

CRC

Поле "проверочная последовательность блока данных" (CSC) обычно составляет 16 бит (два байта). В соответствии с априорным соглашением, разрешающие реализации PPP могут использовать 32-х битовое (четырёхбайтовое) поле CSC, чтобы улучшить процесс выявления ошибок.

ПРЕИМУЩЕСТВА

По сравнению с протоколом SLIP протокол PPP является значительно более развитым инструментом для работы на последовательных линиях и имеет следующие преимущества:

- возможность одновременной работы по различным сетевым протоколам, а не только по IP;
- проверка целостности данных путем подсчета контрольной суммы;
- поддержка динамического обмена адресами IP ;
- возможность сжатия заголовков IP - и TCP -пакетов, разработанных VanJacobson (механизм похож на реализованный в протоколе CSLIP).

ПРОТОКОЛ УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ PPP (LCP)

LCP обеспечивает метод организации, выбора конфигурации, поддержания и окончания работы канала с непосредственным соединением. Процесс LCP проходит через 4 четко различаемые фазы:

- Организация канала и согласование его конфигурации. Прежде чем может быть произведен обмен каких-либо дейтаграмм сетевого уровня (например, IP), LCP сначала должен открыть связь и согласовать параметры конфигурации. Эта фаза завершается после того, как пакет подтверждения конфигурации будет отправлен и принят.

- Определение качества канала связи. LCP обеспечивает факультативную фазу определения качества канала, которая следует за фазой организации канала и согласования его конфигурации. В этой фазе проверяется канал, чтобы определить, является ли качество канала достаточным для вызова протоколов сетевого уровня. Эта фаза является полностью факультативной. LCP может задержать передачу информации протоколов сетевого уровня до завершения этой фазы.

- Согласование конфигурации протоколов сетевого уровня. После того, как LCP завершит фазу определения качества канала связи, конфигурация сетевых протоколов может быть по отдельности выбрана соответствующими NCP , и они могут быть в любой момент вызваны и освобождены для последующего использования. Если LCP закрывает данный канал, он информирует об этом протоколы сетевого уровня, чтобы они могли принять соответствующие меры.

- Прекращение действия канала. LSP может в любой момент закрыть канал. Это обычно делается по запросу пользователя (человека), но может произойти и из-за какого-нибудь физического события, такого, как потеря носителя или истечение периода бездействия таймера.

Существует три класса пакетов LSP:

- Пакеты для организации канала связи. Используются для организации и выбора конфигурации канала.

- Пакеты для завершения действия канала. Используются для завершения действия канала связи.

- Пакеты для поддержания работоспособности канала. Используются для поддержания и отладки канала.

ВЫВОДЫ

- В модели OSI канальный уровень – второй снизу; в TCP/IP – модели канальный и физический уровни образуют сетевой уровень(1-ый уровень этой модели).

- Канальный уровень обеспечивает надежную передачу через физический канал. При этом он выполняет следующие функции: основная функции: прием кадра из сети и отправка его в сеть; выявление ошибок, возникающих на физическом уровне, и восстановление данных;

- Канальный уровень оперирует блоками данных, называемых кадрами(frame). В общем случае каждый протокол канального уровня имеет свой особый формат кадра.

- Стандарт IEEE разделяет канальный уровень на два подуровня: подуровень управления логическимлинком(LogicalLinkControl - LLC); подуровень управления доступом к среде(MediaAccessControl - MAC).

- Протоколы первой группы (подуровня MAC) определяются используемой сетевой технологией локальных сетей: TokenRing; Ethernet; FastEthernet; 100VG-AnyLAN; FDDI.

- Протоколы второго подуровня предназначены для выполнения следующих функций:независимость от используемой среды передачи;кодонезависимость передаваемых данных; надежный обмен данными;выбор качества обслуживания при передаче данных.

- HDLC(High-levelDataLinkControlProtocol) – протокол управления каналом связи высокого уровня. Он был разработан ISO на базе протокола SDLC, который был первым из протоколов канального уровня, базирующихся на синхронном бит-ориентированном режиме работы.

- LLC (Управление логическим звеном) является стандартом, опубликованным Комитетом по стандартам IEEE 802 для локальных сетей. Стандарт допускает взаимодействие локальной сети с глобальной сетью. LLC использует подкласс базового множества HDLC.

- SLIP и PPP - это протоколы, адаптирующие IP для работы на последовательных линиях. Они представляют собой некую прокладку между IP и модемными протоколами.

- Основная функция программного обеспечения SLIP/PPP - организовать пересылку IP-пакетов по последовательной линии.

- Протокол Point-to-Point Protocol выполняет формирования стандартных пакетов данных Internet IP в каналах с непосредственным соединением. PPP также должен решать другие проблемы, в том числе присвоение и управление адресами IP, асинхронное (старт/стоп) и синхронное бит-ориентированное формирование пакета данных, мультиплексирование протокола сети, конфигурация канала связи, проверка качества канала связи, обнаружение ошибок и согласование варианта для таких способностей, как согласование адреса сетевого уровня и согласование компрессии информации.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Перечислите по порядку уровни в архитектуре протокола TCP/IP.
2. Какую функцию выполняет протокол TCP?
3. Какую функцию выполняет протокол IP?
4. Сопоставьте канальный уровень в модели OSI и TCP/IP-модели
5. Назовите функции канального уровня.
6. Какую структуру имеет формат данных канального уровня?
7. Назовите подуровни канального уровня.
8. Перечислите протоколы первой группы. Что они определяют?
9. Перечислите протоколы второго подуровня. Поясните их функции.
10. Дайте определение протоколу HDLC
11. Какую структуру имеет формат кадра HDLC?
12. Назовите основную функцию протоколов SLIP/CSLIP и PPP.
13. Назовите компоненты протокола PPP
14. Что обеспечивает протокол управления канала связи PPP (LCP)?
15. Назовите преимущества протоколом SLIP по сравнению с протоколом PPP.
16. Что входит в систему адресов Internet?
17. Какую структуру имеет адрес Ethernet?
18. Какую структуру имеет IP-адрес?
19. Что представляют собой протоколы управления маршрутизацией?
20. Какова структура пакета TCP?
21. Что представляет собой ARP?

3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

3.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА ВЗАИМОУВЯЗАННОЙ СЕТИ СВЯЗИ РФ

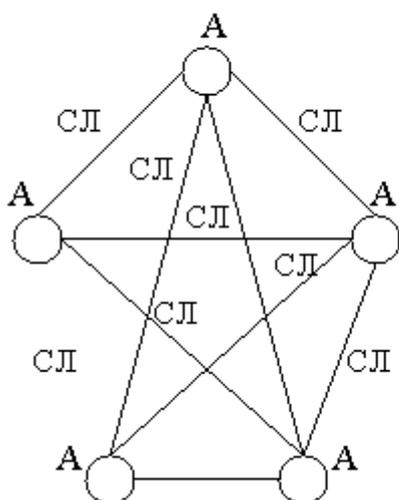
СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ

Для обеспечения обмена сообщениями между большим числом абонентов требуется создание систем передачи сообщений с большим количеством каналов связи. Такие системы называют сетями электросвязи или сетями передачи сообщений.

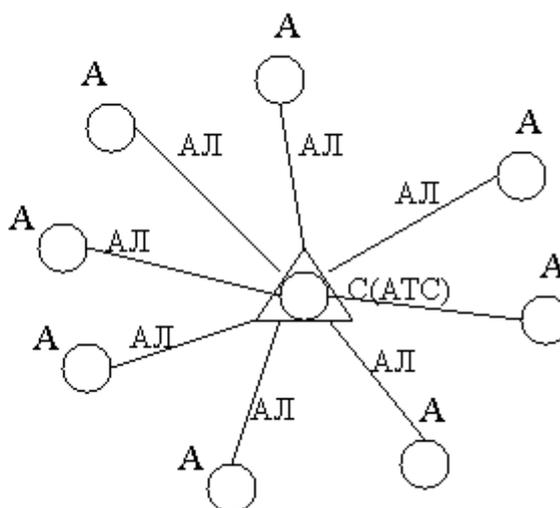
Всю совокупность сетей электросвязи можно разделить на две группы: сети передачи индивидуальных сообщений и сети передачи массовых сообщений. В свою очередь сети передачи индивидуальных сообщений классифицируются на телефонные общего пользования, телеграфные, факсимильные, передачи данных, сети связи с подвижными объектами.

К сетям передачи индивидуальных сообщений предъявляются определенные требования, важнейшее из них заключается в том, что сеть должна обеспечить каждому абоненту возможность в удобное для него время связаться с любым другим абонентом и передать сообщение. Для выполнения этого требования сеть должна быть построена по определенному принципу, одним из которых является «каждый с каждым».



А – абонентский пункт сети;
СЛ – соединительная линия;

Рисунок 30. Функциональная схема сети, построенной по принципу «каждый с каждым»



А – абонентский пункт сети;
АЛ – абонентская линия;
С – узловой пункт сети

Рисунок 31. Функциональная схема сети звездообразного типа

Сеть, построенная по принципу «каждый с каждым» (Рисунок 30.), надежна, отличается оперативностью и высоким качеством передачи сообщений. Другой принцип построения сети для передачи индивидуальных сообщений, называемый радиальным, иллюстрируется Рисунок 31. Сеть, построенная таким образом, называется также звездообразной. Такие сети имеют два вида пунктов: конечные абонентские (А) и узловой (С), на котором устанавливается станция коммутации. Радиальный принцип построения сети, как и «каждый с каждым»

используются при ограниченном числе конечных пунктов, расположенных на небольшой территории. Телефонные сети крупных городов имеют несколько групп автоматических телефонных станций (АТС). Каждая группа станций обслуживает определенный узловой район города. В пределах узлового района все станции между собой связаны по принципу «каждый с каждым». Связь между абонентами разных узловых районов осуществляется через специальные узлы. Из Рисунок 32 видно, что связь между узловыми районами проходит через узлы исходящих (УИС) и входящих (УВС) сообщений. Принцип построения сетей электросвязи с узловыми пунктами нескольких уровней называется радиально-узловым. В этом случае абоненты разных районов устанавливают связь между собой через несколько промежуточных станций. В цифровых телефонных сетях часто используется кольцевой принцип построения, при котором мультиплексоры ввода-вывода подключаются к оптоволоконному кольцу через интерфейсы (Рисунок 33). При этом цифровые АТС подключаются к мультиплексорам непосредственно, а аналоговые АТС – через устройства сопряжения, преобразующие аналоговый сигнал в цифровой и обратно.

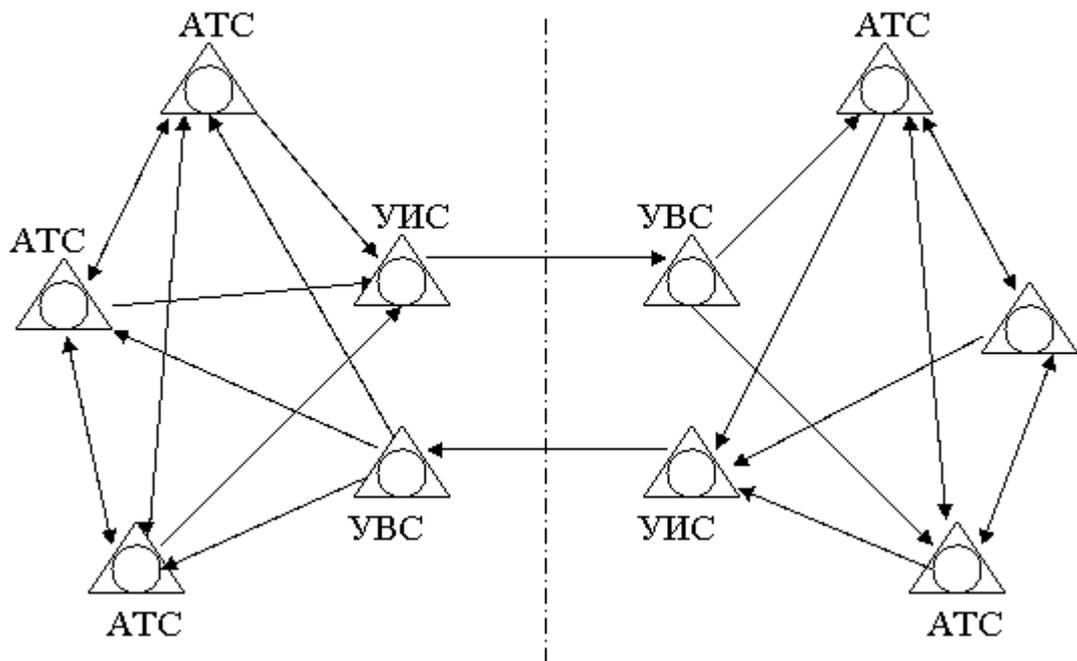
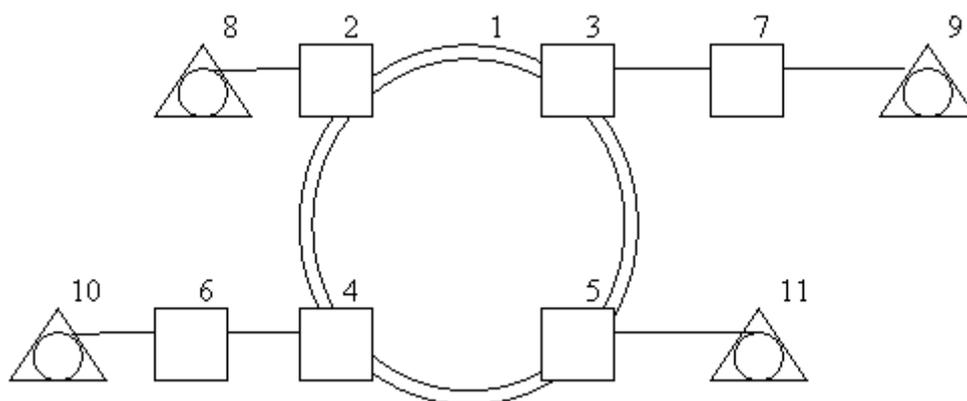


Рисунок 32. Функциональная схема телефонной сети с двумя узловыми районами



1 – оптоволоконное кольцо; 2,3,4,5 – мультиплексоры ввода-вывода; 6,7 – устройства сопряжения; 8,11 – цифровые АТС; 9,10 – АТС аналогового типа

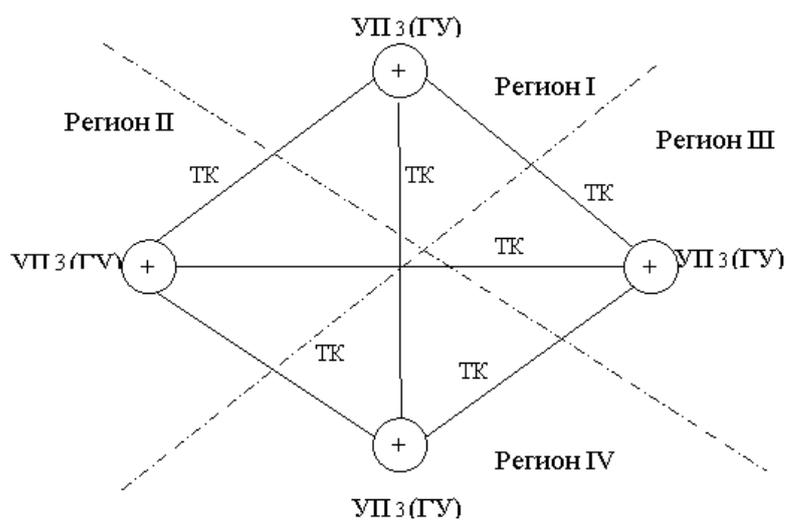
Рисунок 33. Функциональная схема телефонной сети кольцевого типа, использующей оптоволокно

Телеграфные сети строятся по радиально-узловому принципу с учетом административно-территориального деления страны. Оконечными пунктами (А) телеграфной сети являются либо отделения связи, либо телеграфные абоненты, располагающие телеграфной аппаратурой. Функции узловых пунктов выполняют телеграфные станции коммутации. Сеть имеет узловые пункты трех уровней. Узловые пункты первого уровня (УП¹) организуются в каждом административном районе и поэтому называются районными. Все конечные пункты А, расположенные на территории района, подключены с помощью абонентских линий к УП¹. Узлы второго уровня (УП²) организуются в областных центрах и называются областными узлами. Все УП¹ области имеют телеграфные каналы связи с УП². Функции узловых пунктов третьего уровня выполняют главные узлы сети (УП³), организуемые в регионах, охватывающих несколько областей. Все УП², находящиеся на территории региона, имеют каналы связи со своим УП³. Главные узлы телеграфной сети соединены между собой каналами связи по принципу «каждый с каждым».

Принципы построения телеграфных сетей иллюстрируются рисунками 34, 35, на которых представлены функциональные схемы телеграфных сетей нескольких регионов и одного региона.

При таком принципе построения сети телеграфные сообщения проходят от одного до шести промежуточных узловых пунктов.

Сеть передачи данных имеет в целом такую же структуру построения, как и телеграфная. Более высокие требования, предъявляемые к скорости и верности передачи данных, вынуждают применять специальные методы передачи и более сложную аппаратуру на конечных и узловых пунктах.



ГУ – главный узел; ТК – телеграфный канал

Рисунок 34. Функциональная схема телеграфной сети, охватывающей несколько регионов

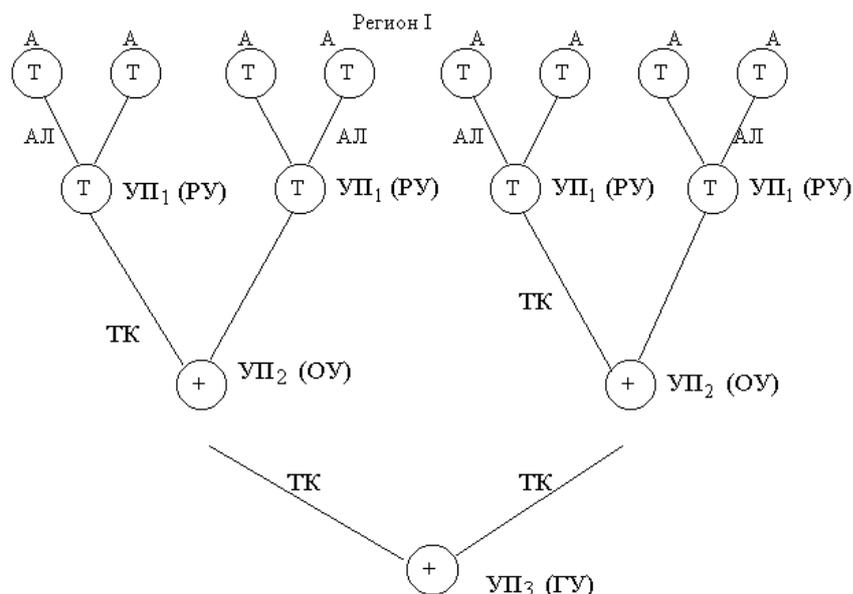
Для передачи данных могут использоваться как телефонная сеть общего пользования с добавлением модемов, так и специализированные сети. Многообразие специализированных компьютерных сетей можно классифицировать по следующей группе признаков: территориальной распространенности; ведомственной принадлежности; скорости передачи информации; типу среды передачи.

По территориальной распространенности сети могут быть локальными, региональными и глобальными. Локальные сети – это сети, перекрывающие территорию не более десяти квадратных километров. Региональные – это сети, расположенные на территории города или области. Глобальные – это сети, расположенные на территории государства или групп государств, например, всемирная сеть Internet.

По ведомственной принадлежности различают ведомственные и государственные сети.

По скорости передачи информации компьютерные сети делятся на: низкоскоростные (до 10 Мбит/с), среднескоростные (до 100 Мбит/с) и высокоскоростные (свыше 100 Мбит/с).

По типу среды передачи сети разделяются на коаксиальные, на витой паре, оптоволоконные, с передачей информации по радиоканалам, в инфракрасном диапазоне и т.п.



РУ – районный узел; ОУ – областной узел; АЛ – абонентская линия; Т – телеграфная станция

Рисунок 35. Функциональная схема телеграфной сети одного региона

Компьютеры, включаемые в компьютерные сети, выполняют функции либо серверов, либо рабочих станций. Серверы – это достаточно мощные ЭВМ, предоставляющие свои ресурсы менее мощным машинам, выполняющим роль рабочих станций. В качестве рабочих станций используются персональные компьютеры (ПК).

Структуры перечисленных сетей могут быть разнообразными. В локальных сетях чаще используются регулярные структуры: шина, кольцо, звезда. Возможны комбинации указанных структур. Для региональных и глобальных сетей более характерны иерархические структуры.

Сети подвижной радиосвязи имеют либо сотовую структуру с повторным использованием частот, либо представляют собой спутниковую сеть, содержащую достаточно большое количество низколетящих спутников связи и наземное беспроводное оборудование.

Факсимильные сети строятся на базе телефонной сети общего пользования.

Таким образом, сети, предназначенные для передачи индивидуальных сообщений, строятся в основном по радиально-узловому принципу. Этот принцип обеспечивает наименьшую стоимость создания сети и высокую эффективность использования сложных и дорогостоящих средств электросвязи.

СЕТИ ПЕРЕДАЧИ МАССОВЫХ СООБЩЕНИЙ

Важнейшими сетями передачи массовых сообщений являются сети вещания. Вещанием называют передачу различного рода сообщений широким слоям населения с помощью технических средств электросвязи. Вещание подразделяется на звуковое и ТВ. По способу доведения сообщений до слушателей в звуковом вещании различают радиовещание и проводное

вещание. В радиовещании сообщения принимаются слушателями с помощью радиоприемного устройства, в проводном вещании – с помощью абонентского устройства, подключенного к проводной линии. Аналогично в телевидении различают эфирное вещание (по радиоканалу) и передачу ТВ сигналов по кабельным сетям, спутниковое вещание, Интернет – вещание.

Организация ТВ и звукового вещания в масштабе страны сводится к решению двух крупных организационно-технических задач: формирование вещательных программ; доведение этих программ до населения. Программы телевидения готовятся на телецентрах, программы радио – в радиодомах. Для доведения сформированных программ до широкого круга территориально рассредоточенных зрителей и слушателей созданы две общегосударственные сети электросвязи – сеть ТВ вещания и сеть звукового вещания. Структурная схема организации вещания приведена на Рисунок 36.

Вещательная сеть образуется совокупностью технических средств, используемых для передачи программ вещания по заданной территории. К техническим средствам относятся: радиотелевизионные передающие станции (РТПС); радиопередающие станции (РПС); связные искусственные спутники Земли (ИСЗ); приемопередающие спутниковые устройства; узлы проводного вещания (УПВ); каналы передачи сигналов программ вещания к РТПС, РПС, УПВ; кабельные распределительные сети; глобальные станции систем кабельного телевидения (СКТВ); индивидуальные приемные устройства.

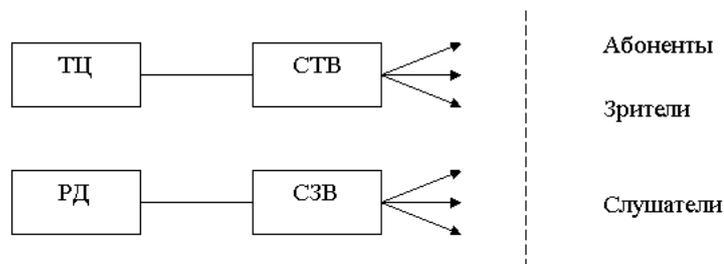
Для примера функциональная схема организации сети эфирного (наземного) телевизионного вещания представлена на Рисунок 37.

Качественный прием телевизионных программ ограничен расстоянием радиовидимости (прямой видимости) между приемной антенной абонента и передающей антенной РТПС. Для типовых высот телебашен это расстояние не превышает 60...80 км.

Разветвленная сеть каналов обычно создается в виде «дерева» - древовидная схема.

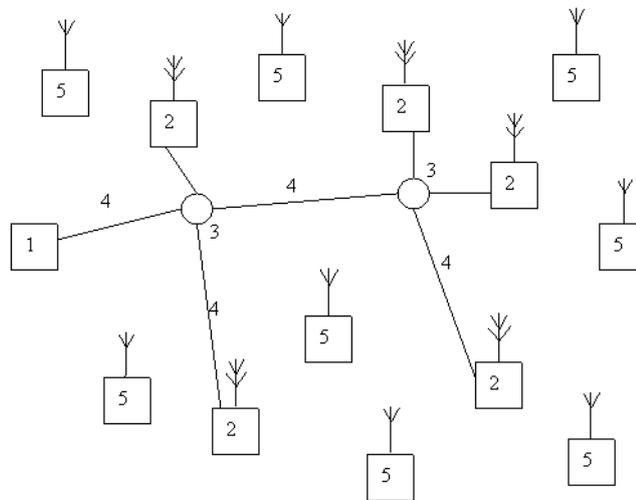
Аналогично телевидению построена сеть звукового вещания, хотя прием сигналов радиопередающих станций не связан в такой степени с расстоянием, как при телевизионном вещании, но все-таки каждая станция имеет ограниченную зону обслуживания. Размеры зоны зависят от многих факторов. Важнейшими из них являются мощность станции и диапазон используемых радиоволн. Радиус зоны обслуживания может быть от нескольких десятков до нескольких сотен или даже тысяч километров.

Особое место среди сетей передачи массовых сообщений занимает сеть передачи ИГП по каналам связи из центральных издательств в пункты децентрализованного печатания газет.



ТЦ – телецентр; СТВ – сеть телевизионного вещания; РД – радиодом; СЗВ – сеть звукового вещания

Рисунок 36. Схема организации вещания



1 – телецентр; 2 – РТПС; 3 – узлы разветвления каналов; 4 – каналы связи; 5 – абонентские телевизионные приемники (телевизоры)

Рисунок 37. Функциональная схема организации эфирного телевизионного вещания.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА ВЗАИМОУВЯЗАННОЙ СЕТИ СВЯЗИ РФ

В историческом плане все виды электросвязи длительный период развивались независимо друг от друга, в результате чего сформировались несколько независимых сетей.

Возрастающие потребности в различных видах связи, обеспечивающих нужды экономики нашей страны, непрерывно расширяющиеся производственные и общественные взаимодействия людей ставят задачу постоянного совершенствования сети связи.

Концепция Единой автоматизированной сети связи (ЕАСС) предполагала создание общегосударственной сети на основе единой технической политики на базе аналоговых и цифровых систем передачи. Под понятием «автоматизированная сеть» подразумевается широкое использование автоматической коммутации, управления и автоматизации процессов технической эксплуатации.

В настоящее время этот проект, отражая изменение геополитической ситуации и новые технические достижения в области связи, носит название **взаимоувязанная сеть связи России**.

Взаимоувязанная сеть связи (ВСС) – это совокупность технически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных и других сетей электросвязи на территории России независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, обеспеченная общим централизованным управлением. В состав ВСС не входят выделенные, внутрипроизводственные и технические сети.

Основными требованиями к ВСС являются надежность и экономичность. Надежность в такой сети достигается за счет взаимного резервирования каналов связи в пределах единой структуры при наличии соответствующей системы управления. Экономичность сети обеспечивается за счет объединения разрозненных систем передачи на различных участках сети в единые системы передачи.

Определенные технические средства ВСС участвуют в процессе передачи *не зависимо от вида* передаваемых сообщений. Совокупность этих элементов образует первичную сеть (ПС) ВСС.

Сеть связи первичная – совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. Часть сети, ограниченная территорией сельского района или города, называется местной первичной сетью. Часть, охватывающая территорию зоны и обеспечивающая соединение между собой каналов разных местных сетей внутри этой зоны, образует внутризональную первичную сеть. Часть сети, соединяющая между собой каналы разных зональных сетей на всей территории страны, составляет магистральную первичную сеть. Принцип построения первичной сети ВСС показан на Рисунке 38. В состав ПС входят сетевые узлы, сетевые станции и линии передачи.

Узел сетевой – комплекс технических средств, обеспечивающий соединение сетевых станций первичной сети, образование и перераспределение сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей, а также представление их вторичным сетям и спецпотребителям.

Станция сетевая – комплекс технических средств, обеспечивающий образование и предоставление вторичным сетям типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, а также их транзит.

Для организации взаимодействия между магистральными узлами и станциями строятся транспортные сети.

Сеть транспортная – часть первичной сети связи, охватывающая магистральные узлы, междугородные станции, а также соединяющие их каналы и узлы (национальные, международные).

Канал передачи – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигнала электросвязи в определенной полосе частот или с определенной скоростью передачи между сетевыми станциями, сетевыми

узлами или между сетевой станцией и сетевым узлом, а также между сетевой станцией или сетевым узлом и оконечным устройством первичной сети. Каналы подразделяются на аналоговые, цифровые и смешанные (аналого-цифровые).

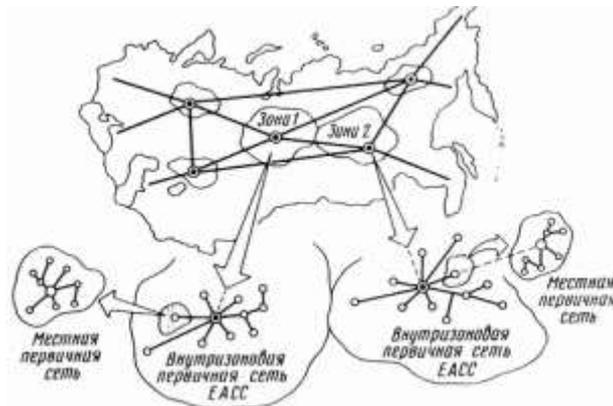


Рисунок 38. Принцип построения первичной сети ВСС

Канал передачи, параметры которого соответствуют принятым нормам, называют типовым. Например, это каналы: тональной частоты с полосой частот 300...3400 Гц или основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64кбит/с.

Канал передачи, групповые тракты организуются с помощью соответствующих систем передачи.

Система передачи – комплекс технических средств, обеспечивающих образование линейного тракта, типовых групповых трактов и каналов передачи первичной сети. Системы передачи разделяют на аналоговые и цифровые, проводные (электрические и оптические) и радиорелейные.

Групповой тракт – комплекс технических средств, предназначенный для организации нормализованного числа каналов тональной частоты или ОЦК в полосе частот или со скоростью передачи, соответствующей данному групповому тракту.

Групповой тракт, параметры и структура которого соответствуют принятым нормам, называют типовым. Например, это первичный аналоговый тракт с полосой частот 60...108 кГц или первичный цифровой тракт со скоростью передачи 2048 кбит/с.

Линейный тракт системы передачи – комплекс технических средств, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи. Линейный тракт может быть радиорелейным, кабельным (оптическим или электрическим), по типу системы передачи – аналоговым или цифровым.

Структура ПС учитывает административное деление страны. Территория страны поделена на зоны. Признаком зоны – единая семизначная нумерация. Как правило, зоны совпадают с территориями областей. В соответствии с этим делением первичная сеть ПС состоит из отдельных частей (Рисунок 38):

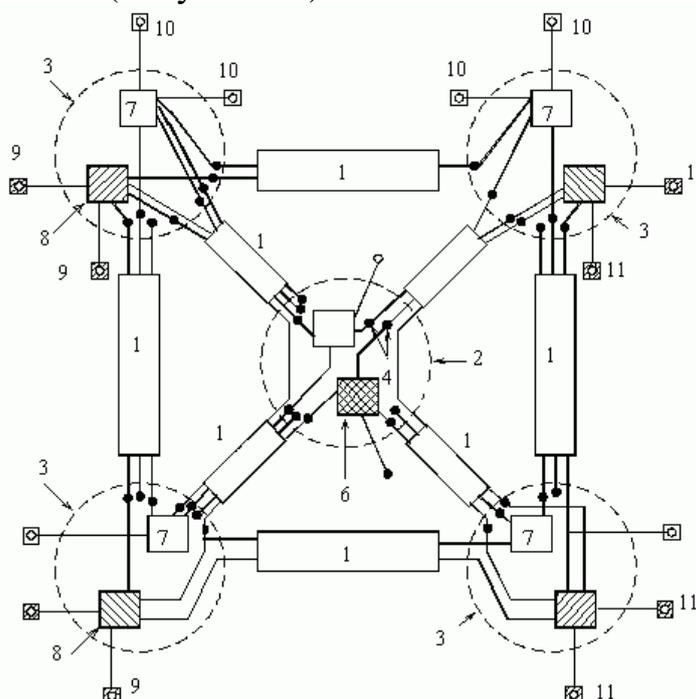
- местные ПС (МПС) – ограничены территорией города или сельского района;

- внутрizonовая ПС (ВЗПС) – охватывает территорию зоны и обеспечивает соединение местных сетей внутри зоны;
- магистральная ПС (СМП) – соединяет зоновые сети.

На базе первичной сети строятся вторичные сети связи (ВС).

Сеть связи вторичная – совокупность линий и каналов вторичной сети, образованных на базе первичной сети, станций и узлов коммутации или станций и узлов переключений, предназначенная для организации связи между двумя, или более, определёнными точками. Границами вторичной сети являются стыки этой сети с абонентскими оконечными устройствами.

В состав ВС входят: оконечные абонентские устройства, абонентские линии (АЛ), коммутационные устройства и каналы, выделенные из ПС для организации данной ВС (Рисунок 39.).



1 – система передачи (транспортная система); 2 – сетевой узел первичной (транспортной) сети; 3 – сетевая станция; 4 – интерфейсы – граница между двумя взаимодействующими системами (устройствами), определяемая общими функциональными и конструктивными характеристиками, требованиями к протоколам обмена и т.д. 5 – узел вторичной сети А – комплекс технических средств, осуществляющих соединение вторичной сети между собой; 6 – узел вторичной сети Б; 7 – станция вторичной сети А – комплекс технических средств, обеспечивающий соединение линий и каналов вторичной сети; 8 – станция вторичной сети Б; 9 – абонентский терминал сети А; 10 – абонентский терминал сети Б; 11 – линия передачи абонентская.

Рисунок 39. Взаимодействие первичной и вторичных сетей ВСС

В зависимости от вида электросвязи вторичная сеть ВСС имеет название: телефонная, телеграфная, передача данных, факсимильная, передачи газет, звукового вещания, телевизионного вещания.

В зависимости от принадлежности сети связи подразделяются на:

Сеть связи общего пользования – составная часть ВСС РФ, открытая для пользования всем физическим и юридическим лицам.

Сети связи ведомственные (корпоративные) – сети электросвязи министерств и иных федеральных органов исполнительной власти, промышленных объединений (Газпром, Энергетические системы) и предприятий, создаваемые для удовлетворения производственных и специальных нужд, в масштабе как одного, так и нескольких государств, имеющие выход на сеть связи общего пользования.

Сеть связи наложенная– сетевая структура, которая строится параллельно существующей сети, как правило, с использованием новых методов передачи и коммутации (например, цифровых) и сопрягается с существующей сетью на различных иерархических уровнях.

Масштабы ВСС грандиозны, а функции – многообразны. Сам процесс передачи сообщений является многоэтапным, происходит при постоянных изменениях величины и характера передаваемых потоков сообщений, а также изменении технического состояния средств связи. В соответствии со структурой ВСС предусматривается создание системы управления первичной сетью, а в каждой вторичной сети – системы управления вторичной сетью. В перспективе предусматривается создание полностью автоматизированных систем управления ВСС на основе использования ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В последние годы связь развивается по пути цифровизации всех видов информации. Это стало главным направлением, обеспечивающим экономичные методы не только передачи информации, но и её распределения, хранения и обработки.

На смену аналоговым системам передачи и медным кабелям приходят волоконно-оптические системы передачи с большими скоростями передачи.

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

Вместе с тем, ужесточаются требования к наборам, качеству и возможностям новых услуг связи. С конца 80-х – начала 90-х годов прошлого столетия стал более активным рынок услуг связи, требующий все более новых услуг, причем в крайне сжатые сроки. Все это привело к тому, что индустрия телекоммуникационных технологий в ближайшем будущем изменит свою ориентацию от производства способов и средств предоставления соединений на предоставление услуг. Главным «инициатором» таких изменений сегодня является концепция интеллектуальной сети – IN. Базой для предоставления интеллектуальных услуг являются цифровые сети с интеграцией служб.

Цифровая сеть с интеграцией служб ЦСИС (Integrated Services Digital Network, ISDN) – сеть с интеграцией служб,

обеспечивающая цифровые соединения между стыками «абонент – сеть» при передаче любых сигналов. Они подразделяются на узкополосные (У-ЦСИС, скорость передачи до 2 Мбит/с), и широкополосные Ш-ЦСИС (скорость передачи 2 Мбит/с и выше). Внедрение ЦСИС позволяет более эффективно решать проблему «доставки» информации к высокоскоростным магистралям, то есть совершенствовать сети доступа как проводные, так и беспроводные.

Одним из важнейших факторов, влияющих на «интеллектуализацию» сетей, является развитие систем связи с мобильными абонентами, например, таких систем, как внедренная во многих европейских странах цифровая система GSM (GlobalSystemMobile) и перспективная универсальная система мобильной связи UMTS (UniversalMobileTelecommunicationsSystem).

Первым важным моментом является появление услуг модемной связи, используемой для передачи данных по аналоговой телефонной сети. Ее основным недостатком является низкая скорость передачи. Далее возникла потребность в тарификации объемов передаваемых данных. Такая услуга была предоставлена в сетях пакетной коммутации. Затем, почти одновременно с ISDN (цифровая сеть интегрального обслуживания), МСЭ разработал и стандартизовал цифровую систему сигнализации по общему каналу SS7 (ОКС 7).

Система общеканальной сигнализации – система передачи межстанционной сигнализации по специальному каналу сигнализации, общему для пучка каналов коммутации (ОКС). Внедрение ОКС освобождает типовые каналы (например, канал ТЧ, ОЦК) от передачи по ним узкополосных или низкоскоростных сигналов управления и взаимодействия – СУВ (сигналы «готовности», «набора номера», «посылки вызова» и др.), что повышает эффективность использования типовых каналов. Кроме того, каналы ОКС могут быть организованы с более высоким качеством, большей надёжностью, что позволяет повысить эффективность работы сети в целом. По каналам ОКС может передаваться информация от систем управления (СУ) для управления элементами сети и сетью связи в целом. Одной из таких СУ является сеть управления электросвязью.

Сеть управления электросвязью (TMN) – специальная сеть, обеспечивающая управление сетями электросвязи и их услугами путём организации взаимосвязи с компонентами различных сетей электросвязи на основе единых интерфейсов и протоколов, стандартизированных МСЭ.

Следующий принципиальный момент – это появление в 1992 году технологии асинхронного режима переноса информации АТМ (AsynchronousTransferMode), благодаря которому получили дальнейшее развитие такие сетевые концепции, как В-ISDN (широкополосная ISDN), UMTS, В-IN и некоторые другие. Инфраструктура широкополосных коммуникаций делает возможным создание новых услуг, таких как услуги универсальной подвижной связи и услуги мультимедиа на сетях связи.

В заключении можно сказать, что человечество движется по пути создания Глобального информационного общества, основой которого станет Глобальная

информационная инфраструктура, составляющей которой будут мощные транспортные сети связи и распределённые сети доступа, предоставляющие информацию пользователям.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите две группы сетей электросвязи.
2. Принципы построения сети для передачи индивидуальных сообщений. Особенности построения, преимущества.
3. По какому принципу строятся телеграфные сети? Изобразите функциональные схемы построения телеграфных сетей.
4. Как можно классифицировать компьютерные сети?
5. Понятие «вещательная сеть». Какие технические средства включает в себя вещательная сеть?
6. От чего зависят размеры зоны обслуживания станции звукового вещания?
7. Дайте определения понятиям «Взаимоувязанная сеть связи», «первичная сеть связи», «вторичная сеть связи».
8. Требования к ВСС.
9. Состав первичной сети связи.
10. Классификация сетей связи.
11. Почему цифровые системы передачи вытесняют аналоговые? В чём их преимущества?
12. Охарактеризуйте основные тенденции развития телекоммуникационных систем.

3.2. МЕТОДЫ КОММУТАЦИИ

Список ключевых слов: частотное мультиплексирование, уплотненный канал, волновое мультиплексирование, уплотненное волновое мультиплексирование, временное мультиплексирование, асинхронный режим временного мультиплексирования, синхронный режим временного мультиплексирования, тайм-слот, синхронный режим передачи, статистическое временное мультиплексирование, асинхронный режим передачи, дуплексная связь с частотным разделением, дуплексная связь с временным разделением.

Любые сети связи поддерживают некоторый способ коммутации своих абонентов между собой. Этими абонентами могут быть удаленные компьютеры, локальные сети, факс-аппараты или просто собеседники, общающиеся с помощью телефонных аппаратов. Практически невозможно предоставить каждой паре взаимодействующих абонентов свою собственную некоммутируемую физическую линию связи, которой они могли бы монопольно «владеть» в течение длительного времени. Поэтому в любой сети всегда применяется какой-либо способ коммутации абонентов, который обеспечивает доступность имеющихся физических каналов одновременно для нескольких сеансов связи между абонентами сети. На Рисунок 25 показана типичная структура сети с коммутацией абонентов.

Абоненты соединяются с коммутаторами индивидуальными линиями связи, каждая из которых используется в любой момент времени только одним, закрепленным за этой линией абонентом. Между коммутаторами линии связи разделяются несколькими абонентами, то есть используются совместно.

Существуют три принципиально различные схемы коммутации абонентов в сетях: *коммутация каналов (circuitswitching)*, *коммутация пакетов (packetswitching)* и *коммутация сообщений (messageswitching)*. Внешне все эти схемы соответствуют приведенной на Рисунок 40 структуре сети, однако возможности и свойства их различны. Сети с коммутацией каналов имеют более богатую историю, они ведут свое происхождение от первых телефонных сетей. Сети с коммутацией пакетов сравнительно молоды, они появились в конце 60-х годов как результат экспериментов с первыми глобальными компьютерными сетями. Сети с коммутацией сообщений послужили прототипом современных сетей с коммутацией пакетов и сегодня они в чистом виде практически не существуют.

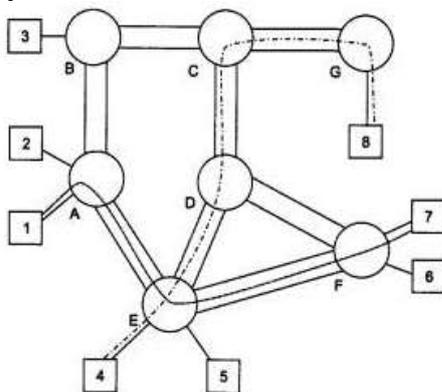


Рисунок 40. Общая структура сети с коммутацией абонентов

Каждая из этих схем имеет свои преимущества и недостатки, но по долгосрочным прогнозам многих специалистов будущее принадлежит технологии коммутации пакетов, как более гибкой и универсальной.

Как сети с коммутацией пакетов, так и сети с Коммутацией каналов можно разделить на два класса по другому признаку - на сети с *динамической коммутацией* и сети с *постоянной коммутацией*.

В первом случае сеть разрешает устанавливать соединение по инициативе пользователя сети. Коммутация выполняется на время сеанса связи, а затем (опять же по инициативе одного из взаимодействующих пользователей) связь разрывается. В общем случае любой пользователь сети может соединиться с любым другим пользователем сети. Обычно период соединения между парой пользователей при динамической коммутации составляет от нескольких секунд до нескольких часов и завершается при выполнении определенной работы - передачи файла, просмотра страницы текста или изображения и т. п.

Во втором случае сеть не предоставляет пользователю возможность выполнить динамическую коммутацию с другим произвольным пользователем сети. Вместо этого сеть разрешает паре пользователей заказать соединение на длительный период времени. Соединение устанавливается не пользователями, а

персоналом, обслуживающим сеть. Время, на которое устанавливается постоянная коммутация, измеряется обычно несколькими месяцами. Режим постоянной коммутации в сетях с коммутацией каналов часто называется сервисом *выделенных (dedicated)* или *арендуемых (leased) каналов*.

Примерами сетей, поддерживающих режим динамической коммутации, являются телефонные сети общего пользования, локальные сети, сети TCP/IP.

Наиболее популярными сетями, работающими в режиме постоянной коммутации, сегодня являются сети технологии SDH, на основе которых строятся выделенные каналы связи с пропускной способностью в несколько гигабит в секунду.

Некоторые типы сетей поддерживают оба режима работы. Например, сети X.25 и АТМ могут предоставлять пользователю возможность динамически связаться с любым другим пользователем сети и в то же время отправлять данные по постоянному соединению одному вполне определенному абоненту.

КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ

Коммутация каналов подразумевает образование непрерывного составного физического канала из последовательно соединенных отдельных канальных участков для прямой передачи данных между узлами. Отдельные каналы соединяются между собой специальной аппаратурой - коммутаторами, которые могут устанавливать связи между любыми конечными узлами сети. В сети с коммутацией каналов перед передачей данных всегда необходимо выполнить процедуру установления соединения, в процессе которой и создается составной канал.

Например, если сеть, изображенная на Рисунок 40, работает по технологии коммутации каналов, то узел 1, чтобы передать данные узлу 7, прежде всего должен передать специальный запрос на установление соединения коммутатору А, указав адрес назначения 7. Коммутатор А должен выбрать маршрут образования составного канала, а затем передать запрос следующему коммутатору, в данном случае Е. Затем коммутатор Е передает запрос коммутатору F, а тот, в свою очередь, передает запрос узлу 7. Если узел 7 принимает запрос на установление соединения, он направляет по уже установленному каналу ответ исходному узлу, после чего составной канал считается скоммутированным и узлы 1 и 7 могут обмениваться по нему данными, например, вести телефонный разговор.

Коммутаторы, а также соединяющие их каналы должны обеспечивать одновременную передачу данных нескольких абонентских каналов. Для этого они должны быть высокоскоростными и поддерживать какую-либо технику мультиплексирования абонентских каналов.

В настоящее время для мультиплексирования абонентских каналов используются две техники:

- техника частотного мультиплексирования (FrequencyDivisionMultiplexing, FDM);

- техника мультиплексирования с разделением времени (TimeDivisionMultiplexing, TDM).

КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

Техника частотного мультиплексирования каналов (FDM) была разработана для телефонных сетей, но применяется она и для других видов сетей, например сетей кабельного телевидения.

Рассмотрим особенности этого вида мультиплексирования на примере телефонной сети.

Речевые сигналы имеют спектр шириной примерно в 10 000 Гц, однако основные гармоники укладываются в диапазон от 300 до 3400 Гц. Поэтому для качественной передачи речи достаточно образовать между двумя собеседниками канал с полосой пропускания в 3100 Гц, который и используется в телефонных сетях для соединения двух абонентов. В то же время полоса пропускания кабельных систем с промежуточными усилителями, соединяющих телефонные коммутаторы между собой, обычно составляет сотни килогерц, а иногда и сотни мегагерц. Однако непосредственно передавать сигналы нескольких абонентских каналов по широкополосному каналу невозможно, так как все они работают в одном и том же диапазоне частот и сигналы разных абонентов смешаются между собой так, что разделить их будет невозможно.

Для разделения абонентских каналов характерна техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным речевым сигналом (Рисунок 41). Эта техника подобна технике аналоговой модуляции при передаче дискретных сигналов модемами, только вместо дискретного исходного сигнала используются непрерывные сигналы, порождаемые звуковыми колебаниями. В результате спектр модулированного сигнала переносится в другой диапазон, который симметрично располагается относительно несущей частоты и имеет ширину, приблизительно совпадающую с шириной модулирующего сигнала.

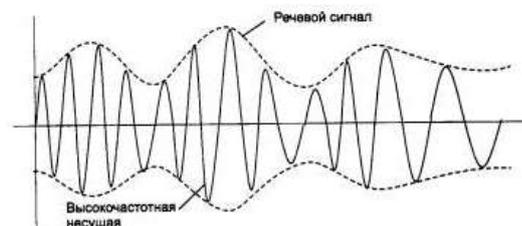


Рисунок 41. Модуляция речевым сигналом

Если сигналы каждого абонентского канала перенести в свой собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов.

На входы FDM-коммутатора поступают исходные сигналы от абонентов телефонной сети. Коммутатор выполняет перенос частоты каждого канала в свой диапазон частот. Обычно высокочастотный диапазон делится на полосы,

которые отводятся для передачи данных абонентских каналов (Рисунок 42). Чтобы низкочастотные составляющие сигналов разных каналов не смешивались между собой, полосы делают шириной в 4 кГц, а не в 3,1 кГц, оставляя между ними страховой промежуток в 900 Гц. В канале между двумя FDM-коммутаторами одновременно передаются сигналы всех абонентских каналов, но каждый из них занимает свою полосу частот. Такой канал называют *уплотненным*.

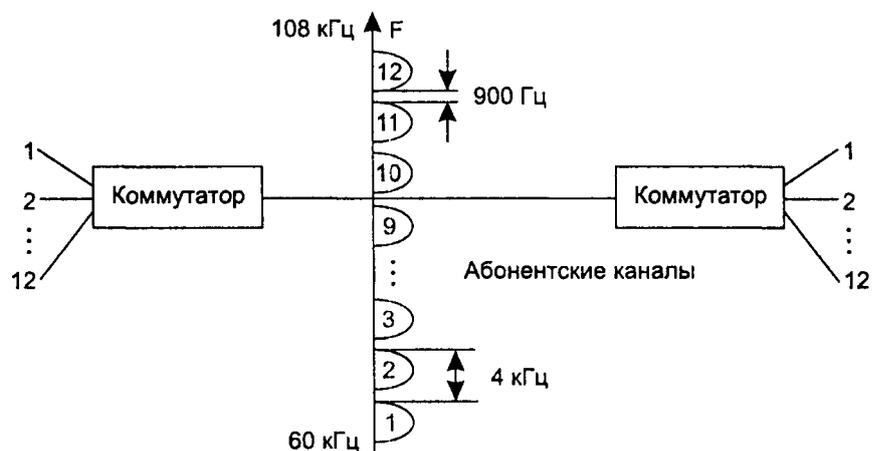


Рисунок 42. Коммутация на основе частотного уплотнения

Выходной FDM-коммутатор выделяет модулированные сигналы каждой несущей частоты и передает их на соответствующий выходной канал, к которому непосредственно подключен абонентский телефон.

В сетях на основе FDM-коммутации принято несколько уровней иерархии уплотненных каналов. Первый уровень уплотнения образуют 12 абонентских каналов, которые составляют *базовую группу* каналов, занимающую полосу частот шириной в 48 кГц с границами от 60 до 108 кГц. Второй уровень уплотнения образуют 5 базовых групп, которые составляют *супергруппу*, с полосой частот шириной в 240 кГц и границами от 312 до 552 кГц. Супергруппа передает данные 60 абонентских каналов тональной частоты. Десять супергрупп образуют *главную группу*, которая используется для связи между коммутаторами на больших расстояниях. Главная группа передает данные 600 абонентов одновременно и требует от канала связи полосу пропускания шириной не менее 2520 кГц с границами от 564 до 3084 кГц.

Коммутаторы FDM могут выполнять как динамическую, так и постоянную коммутацию. При динамической коммутации один абонент инициирует соединение с другим абонентом, посылая в сеть номер вызываемого абонента. Коммутатор динамически выделяет данному абоненту одну из свободных полос своего уплотненного канала. При постоянной коммутации за абонентом полоса в 4 кГц закрепляется на длительный срок путем настройки коммутатора по отдельному входу, недоступному пользователям.

Принцип коммутации на основе разделения частот остается неизменным и в сетях другого вида, меняются только границы полос, выделяемых отдельному абонентскому каналу, а также количество низкоскоростных каналов в уплотненном высокоскоростном.

КОММУТАЦИЯ КАНАЛОВ НА ОСНОВЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Коммутация на основе техники разделения частот разрабатывалась в расчете на передачу непрерывных сигналов, представляющих голос. При переходе к цифровой форме представления голоса была разработана новая техника мультиплексирования, ориентирующаяся на дискретный характер передаваемых данных.

Эта техника носит название *мультиплексирования с разделением времени* (*TimeDivisionMultiplexing, TDM*). Реже используется и другое ее название - техника *синхронного режима передачи* (*SynchronousTransferMode, STM*). Рисунок 43 поясняет принцип коммутации каналов на основе техники TDM.

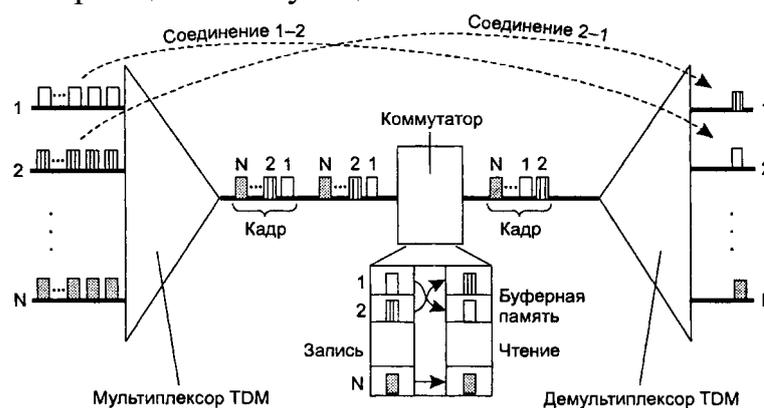


Рисунок 43. Коммутация на основе разделения канала во времени

Аппаратура TDM-сетей - мультиплексоры, коммутаторы, демультиплексоры-работает в режиме разделения времени, поочередно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы. Цикл работы оборудования TDM равен 125 мкс, что соответствует периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале. Это значит, что мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети. Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры, называемый также тайм-слотом. Длительность тайм-слота зависит от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором TDM или коммутатором.

Мультиплексор принимает информацию по N входным каналам от конечных абонентов, каждый из которых передает данные по абонентскому каналу со скоростью 64 Кбит/с - 1 байт каждые 125 мкс. В каждом цикле мультиплексор выполняет следующие действия:

- прием от каждого канала очередного байта данных;
- составление из принятых байтов уплотненного кадра, называемого также обоймой;
- передача уплотненного кадра на выходной канал с битовой скоростью, равной $N \cdot 64$ Кбит/с.

Порядок байт в обойме соответствует номеру входного канала, от которого этот байт получен. Количество обслуживаемых мультиплексором абонентских

каналов зависит от его быстродействия. Например, мультиплексор T1, представляющий собой первый промышленный мультиплексор, работавший по технологии TDM, поддерживает 24 входных абонентских канала, создавая на выходе обоймы стандарта T1, передаваемые с битовой скоростью 1,544 Мбит/с.

Демультимплексор выполняет обратную задачу - он разбирает байты уплотненного кадра и распределяет их по своим нескольким выходным каналам, при этом он считает, что порядковый номер байта в обойме соответствует номеру выходного канала.

Коммутатор принимает уплотненный кадр по скоростному каналу от мультиплексора и записывает каждый байт из него в отдельную ячейку своей буферной памяти, причем в том порядке, в котором эти байты были упакованы в уплотненный кадр. Для выполнения операции коммутации байты извлекаются из буферной памяти не в порядке поступления, а в таком порядке, который соответствует поддерживаемым в сети соединениям абонентов. Так, например, если первый абонент левой части сети Рисунок 43 должен соединиться со вторым абонентом в правой части сети, то байт, записанный в первую ячейку буферной памяти, будет извлекаться из нее вторым. «Перемешивая» нужным образом байты в обойме, коммутатор обеспечивает соединение конечных абонентов в сети.

Однажды выделенный номер тайм-слота остается в распоряжении соединения «входной канал-выходной слот» в течение всего времени существования этого соединения, даже если передаваемый трафик является пульсирующим и не всегда требует захваченного количества тайм-слотов. Это означает, что соединение в сети TDM всегда обладает известной и фиксированной пропускной способностью, кратной 64 Кбит/с.

Работа оборудования TDM напоминает работу сетей с коммутацией пакетов, так как каждый байт данных можно считать некоторым элементарным пакетом. Однако, в отличие от пакета компьютерной сети, «пакет» сети TDM не имеет индивидуального адреса. Его адресом является порядковый номер в обойме или номер выделенного тайм-слота в мультиплексоре или коммутаторе. Сети, использующие технику TDM, требуют синхронной работы всего оборудования, что и определило второе название этой техники - синхронный режим передач (STM). Нарушение синхронности разрушает требуемую коммутацию абонентов, так как при этом теряется адресная информация. Поэтому перераспределение тайм-слотов между различными каналами в оборудовании TDM невозможно, даже если в каком-то цикле работы мультиплексора тайм-слот одного из каналов оказывается избыточным, так как на входе этого канала в этот момент нет данных для передачи (например, абонент телефонной сети молчит).

Существует модификация техники TDM, называемая *статистическим разделением канала во времени (Statistical TDM, STDM)*. Эта техника разработана специально для того, чтобы с помощью временно свободных тайм-слотов одного канала можно было увеличить пропускную способность остальных. Для решения этой задачи каждый байт данных дополняется полем

адреса небольшой длины, например в 4 или 5 бит, что позволяет мультиплексировать 16 или 32 канала. Однако техника STDM не нашла широкого применения и используется в основном в нестандартном оборудовании подключения терминалов к мейнфреймам. Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи - АТМ, которая вобрала в себя лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

Сети TDM могут поддерживать либо режим динамической коммутации, либо режим постоянной коммутации, а иногда и оба эти режима. Так, например, основным режимом цифровых телефонных сетей, работающих на основе технологии TDM, является динамическая коммутация, но они поддерживают также и постоянную коммутацию, предоставляя своим абонентам службу выделенных каналов.

Существует аппаратура, которая поддерживает только режим постоянной коммутации. К ней относится оборудование типа T1/E1, а также высокоскоростное оборудование SDH. Такое оборудование используется для построения первичных сетей, основной функцией которых является создание выделенных каналов между коммутаторами, поддерживающими динамическую коммутацию.

Сегодня практически все данные - голос, изображение, компьютерные данные - передаются в цифровой форме. Поэтому выделенные каналы TDM-технологии, которые обеспечивают нижний уровень для передачи цифровых данных, являются универсальными каналами для построения сетей любого типа: телефонных, телевизионных и компьютерных.

ОБЩИЕ СВОЙСТВА СЕТЕЙ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ

Сети с коммутацией каналов обладают несколькими важными общими свойствами независимо от того, какой тип мультиплексирования в них используется.

Сети с динамической коммутацией требуют предварительной процедуры установления соединения между абонентами. Для этого в сеть передается адрес вызываемого абонента, который проходит через коммутаторы и настраивает их на последующую передачу данных. Запрос на установление соединения маршрутизируется от одного коммутатора к другому и в конце концов достигает вызываемого абонента. Сеть может отказать в установлении соединения, если емкость требуемого выходного канала уже исчерпана. Для FDM-коммутатора емкость выходного канала равна количеству частотных полос этого канала, а для TDM-коммутатора - количеству тайм-слотов, на которые делится цикл работы канала. Сеть отказывает в соединении также в том случае, если запрашиваемый абонент уже установил соединение с кем-нибудь другим. В первом случае говорят, что занят коммутатор, а во втором - абонент. Возможность отказа в соединении является недостатком метода коммутации каналов.

Если соединение может быть установлено, то ему выделяется фиксированная полоса частот в FDM-сетях или же фиксированная пропускная способность в TDM-сетях. Эти величины остаются неизменными в течение всего периода соединения. Гарантированная пропускная способность сети после установления соединения является важным свойством, необходимым для таких приложений, как передача голоса, изображения или управления объектами в реальном масштабе времени. Однако динамически изменять пропускную способность канала по требованию абонента сети с коммутацией каналов не могут, что делает их неэффективными в условиях пульсирующего трафика.

Недостатком сетей с коммутацией каналов является невозможность применения пользовательской аппаратуры, работающей с разной скоростью. Отдельные части составного канала работают с одинаковой скоростью, так как сети с коммутацией каналов не буферизуют данные пользователей.

Сети с коммутацией каналов хорошо приспособлены для коммутации потоков данных постоянной скорости, когда единицей коммутации является не отдельный байт или пакет данных, а долговременный синхронный поток данных между двумя абонентами. Для таких потоков сети с коммутацией каналов добавляют минимум служебной информации для маршрутизации данных через сеть, используя временную позицию каждого бита потока в качестве его адреса назначения в коммутаторах сети.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДУПЛЕКСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ FDM, TDM И WDM

В зависимости от направления возможной передачи данных способы передачи данных по линии связи делятся на следующие типы:

- *симплексный* - передача осуществляется по линии связи только в одном направлении;
- *полудуплексный* - передача ведется в обоих направлениях, но попеременно во времени. Примером такой передачи служит технология Ethernet;
- *дуплексный* - передача ведется одновременно в двух направлениях.

Дуплексный режим - наиболее универсальный и производительный способ работы канала. Самым простым вариантом организации дуплексного режима является использование двух независимых физических каналов (двух пар проводников или двух световодов) в кабеле, каждый из которых работает в симплексном режиме, то есть передает данные в одном направлении. Именно такая идея лежит в основе реализации дуплексного режима работы во многих сетевых технологиях, например FastEthernet или ATM.

Иногда такое простое решение оказывается недоступным или неэффективным. Чаще всего это происходит в тех случаях, когда для дуплексного обмена данными имеется всего один физический канал, а организация второго связана с большими затратами. Например, при обмене данными с помощью модемов через телефонную сеть у пользователя имеется

только один физический канал связи с АТС - двухпроводная линия, и приобретать второй вряд ли целесообразно. В таких случаях дуплексный режим работы организуется на основе разделения канала на два логических подканала с помощью техники FDM или TDM.

Модемы для организации дуплексного режима работы на двухпроводной линии применяют технику FDM. Модемы, использующие частотную модуляцию, работают на четырех частотах: две частоты - для кодирования единиц и нулей в одном направлении, а остальные две частоты - для передачи данных в обратном направлении.

При цифровом кодировании дуплексный режим на двухпроводной линии организуется с помощью техники TDM. Часть тайм-слотов используется для передачи данных в одном направлении, а часть - для передачи в другом направлении. Обычно тайм-слоты противоположных направлений чередуются, из-за чего такой способ иногда называют «пинг-понговой» передачей. TDM-разделение линии характерно, например, для цифровых сетей с интеграцией услуг (ISDN) на абонентских двухпроводных окончаниях.

В волоконно-оптических кабелях при использовании одного оптического волокна для организации дуплексного режима работы применяется передача данных в одном направлении с помощью светового пучка одной длины волны, а в обратном - другой длины волны. Такая техника относится к методу FDM, однако для оптических кабелей она получила название *разделения по длине волны (WaveDivisionMultiplexing, WDM)*. WDM применяется и для повышения скорости передачи данных в одном направлении, обычно используя от 2 до 16 каналов.

КОММУТАЦИЯ ПАКЕТОВ ПРИНЦИПЫ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ

Коммутация пакетов - это техника коммутации абонентов, которая была специально разработана для эффективной передачи компьютерного трафика. Эксперименты по созданию первых компьютерных сетей на основе техники коммутации каналов показали, что этот вид коммутации не позволяет достичь высокой общей пропускной способности сети. Суть проблемы заключается в пульсирующем характере трафика, который генерируют типичные сетевые приложения. Например, при обращении к удаленному файловому серверу пользователь сначала просматривает содержимое каталога этого сервера, что порождает передачу небольшого объема данных. Затем он открывает требуемый файл в текстовом редакторе, и эта операция может создать достаточно интенсивный обмен данными, особенно если файл содержит объемные графические включения. После отображения нескольких страниц файла пользователь некоторое время работает с ними локально, что вообще не требует передачи данных по сети, а затем возвращает модифицированные копии страниц на сервер - и это снова порождает интенсивную передачу данных по сети.

Коэффициент пульсации трафика отдельного пользователя сети, равный отношению средней интенсивности обмена данными к максимально возможной, может составлять 1:50 или 1:100. Если для описанной сессии организовать коммутацию канала между компьютером пользователя и сервером, то большую часть времени канал будет простаивать. В то же время коммутационные возможности сети будут использоваться - часть тайм-слотов или частотных полос коммутаторов будет занята и недоступна другим пользователям сети.

При коммутации пакетов все передаваемые пользователем сети сообщения разбиваются в исходном узле на сравнительно небольшие части, называемые пакетами. Напомним, что сообщением называется логически завершенная порция данных - запрос на передачу файла, ответ на этот запрос, содержащий весь файл, и т. п. Сообщения могут иметь произвольную длину, от нескольких байт до многих мегабайт. Напротив, пакеты обычно тоже могут иметь переменную длину, но в узких пределах, например от 46 до 1500 байт. Каждый пакет снабжается заголовком, в котором указывается адресная информация, необходимая для доставки пакета узлу назначения, а также номер пакета, который будет использоваться узлом назначения для сборки сообщения (Рисунок 44). Пакеты транспортируются в сети как независимые информационные блоки. Коммутаторы сети принимают пакеты от конечных узлов и на основании адресной информации передают их друг другу, а в конечном итоге - узлу назначения.



Рисунок 44. Разбиение сообщения на пакеты

Коммутаторы пакетной сети отличаются от коммутаторов каналов тем, что они имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов, если выходной порт коммутатора в момент принятия пакета занят передачей другого пакета (Рисунок 45). В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, то он передается следующему коммутатору. Такая схема передачи данных позволяет сглаживать пульсации трафика на магистральных связях между коммутаторами и тем самым использовать их наиболее эффективным образом для повышения пропускной способности сети в целом.



Рисунок 45. Сглаживание пульсаций трафика в сети с коммутацией пакетов

Действительно, для пары абонентов наиболее эффективным было бы предоставление им в единоличное пользование скоммутированного канала связи, как это делается в сетях с коммутацией каналов. При этом способе время взаимодействия этой пары абонентов было бы минимальным, так как данные без задержек передавались бы от одного абонента другому. Простои канала во время пауз передачи абонентов не интересуют, для них важно быстрее решить свою собственную задачу. Сеть с коммутацией пакетов замедляет процесс взаимодействия конкретной пары абонентов, так как их пакеты могут ожидать в коммутаторах, пока по магистральным связям передаются другие пакеты, пришедшие в коммутатор ранее.

Тем не менее общий объем передаваемых сетью компьютерных данных в единицу времени при технике коммутации пакетов будет выше, чем при технике коммутации каналов. Это происходит потому, что пульсации отдельных абонентов в соответствии с законом больших чисел распределяются во времени. Поэтому коммутаторы постоянно и достаточно равномерно загружены работой, если число обслуживаемых ими абонентов действительно велико. На Рисунок 30 показано, что трафик, поступающий от конечных узлов на коммутаторы, очень неравномерно распределен во времени. Однако коммутаторы более высокого уровня иерархии, которые обслуживают соединения между коммутаторами нижнего уровня, загружены более равномерно, и поток пакетов в магистральных каналах, соединяющих коммутаторы верхнего уровня, имеет почти максимальный коэффициент использования.

Более высокая эффективность сетей с коммутацией пакетов по сравнению с сетями с коммутацией каналов (при равной пропускной способности каналов связи) была доказана в 60-е годы как экспериментально, так и с помощью имитационного моделирования. Здесь уместна аналогия с мультипрограммными операционными системами. Каждая отдельная программа в такой системе выполняется дольше, чем в однопрограммной системе, когда программе выделяется все процессорное время, пока она не завершит свое выполнение. Однако общее число программ, выполняемых за единицу времени, в мультипрограммной системе больше, чем в однопрограммной.

ВИРТУАЛЬНЫЕ КАНАЛЫ В СЕТЯХ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Описанный выше режим передачи пакетов между двумя конечными узлами сети предполагает независимую маршрутизацию каждого пакета. Такой режим работы сети называется дейтаграммным, и при его использовании коммутатор может изменить маршрут какого-либо пакета в зависимости от состояния сети - работоспособности каналов и других коммутаторов, длины очередей пакетов в соседних коммутаторах и т. п.

Существует и другой режим работы сети - передача пакетов по *виртуальному каналу* (*virtualcircuit* или *virtualchannel*). В этом случае перед тем, как начать передачу данных между двумя конечными узлами, должен быть установлен виртуальный канал, который представляет собой единственный маршрут, соединяющий эти конечные узлы. Виртуальный канал может быть динамическим или постоянным. Динамический виртуальный канал устанавливается при передаче в сеть специального пакета - запроса на установление соединения. Этот пакет проходит через коммутаторы и «прокладывает» виртуальный канал. Это означает, что коммутаторы запоминают маршрут для данного соединения и при поступлении последующих пакетов данного соединения отправляют их всегда по проложенному маршруту. Постоянные виртуальные каналы создаются администраторами сети путем ручной настройки коммутаторов.

При отказе коммутатора или канала на пути виртуального канала соединение разрывается, и виртуальный канал нужно прокладывать заново. При этом он, естественно, обойдет отказавшие участки сети.

Каждый режим передачи пакетов имеет свои преимущества и недостатки. Дейтаграммный метод не требует предварительного установления соединения и поэтому работает без задержки перед передачей данных. Это особенно выгодно для передачи небольшого объема данных, когда время установления соединения может быть соизмеримым со временем передачи данных. Кроме того, дейтаграммный метод быстрее адаптируется к изменениям в сети.

При использовании метода виртуальных каналов время, затраченное на установление виртуального канала, компенсируется последующей быстрой передачей всего потока пакетов. Коммутаторы распознают принадлежность пакета к виртуальному каналу по специальной метке - номеру виртуального канала, а не анализируют адреса конечных узлов, как это делается при дейтаграммном методе.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕТЕЙ С КОММУТАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Одним из отличий метода коммутации пакетов от метода коммутации каналов является неопределенность пропускной способности соединения между двумя абонентами. В методе коммутации каналов после образования составного канала пропускная способность сети при передаче данных между конечными узлами известна - это пропускная способность канала. Данные после задержки, связанной с установлением канала, начинают передаваться на

максимальной для канала скорости (Рисунок 46, а). Время передачи сообщения в сети с коммутацией каналов Т_{ц.к.} равно сумме задержки распространения сигнала по линии связи $t_{з.р.}$ и задержки передачи сообщения $l_{з.п.}$. Задержка распространения сигнала зависит от скорости распространения электромагнитных волн в конкретной физической среде, которая колеблется от 0,6 до 0,9 скорости света в вакууме. Время передачи сообщения равно V/C , где V - объем сообщения в битах, а C - пропускная способность канала в битах в секунду.

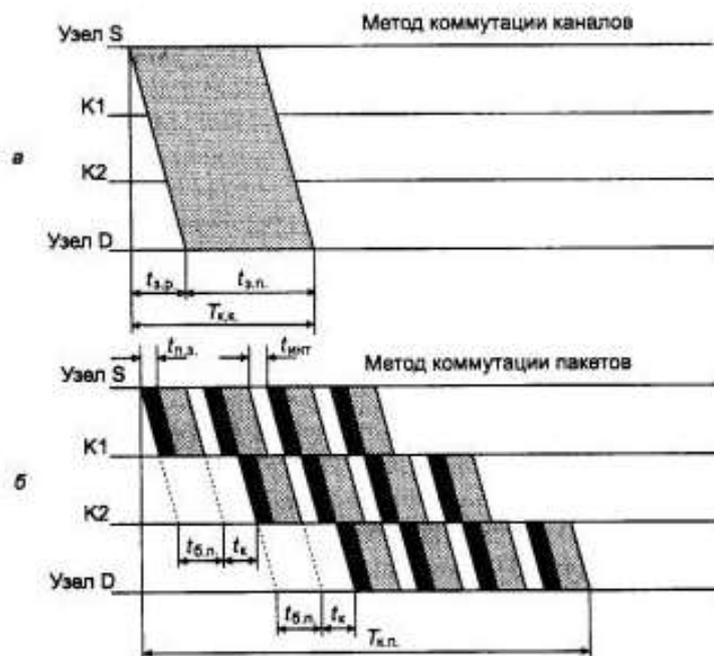


Рисунок 46. Задержки передачи данных в сетях с коммутацией каналов и пакетов

В сети с коммутацией пакетов наблюдается принципиально другая картина.

Процедура установления соединения в этих сетях, если она используется, занимает примерно такое же время, как и в сетях с коммутацией каналов, поэтому будем сравнивать только время передачи данных.

На Рисунок 46, б показан пример передачи в сети с коммутацией пакетов. Предполагается, что в сеть передается сообщение того же объема, что и сообщение, иллюстрируемое Рисунок 46, а, однако оно разделено на пакеты, каждый из которых снабжен заголовком. Время передачи сообщения в сети с коммутацией пакетов обозначено на рисунке $T_{к.п.}$. При передаче этого сообщения, разбитого на пакеты, по сети с коммутацией пакетов возникают дополнительные временные задержки. Во-первых, это задержки в источнике передачи, который, помимо передачи собственно сообщения, тратит дополнительное время на передачу заголовков $t_{п.з.}$, плюс к этому добавляются задержки $t_{инт.}$, вызванные интервалами между передачей каждого следующего пакета (это время уходит на формирование очередного пакета стеком протоколов).

Во-вторых, дополнительное время тратится в каждом коммутаторе. Здесь задержки складываются из времени буферизации пакета $t_{б.п.}$ (коммутатор не может начать передачу пакета, не приняв его полностью в свой буфер) и

времени коммутации t_k . Время буферизации равно времени приема пакета с битовой скоростью протокола. Время коммутации складывается из времени ожидания пакета в очереди и времени перемещения пакета в выходной порт. Если время перемещения пакета фиксировано и обычно невелико (от нескольких микросекунд до нескольких десятков микросекунд), то время ожидания пакета в очереди колеблется в очень широких пределах и заранее неизвестно, так как зависит от текущей загрузки сети пакетами.

Проведем грубую оценку задержки в передаче данных в сетях с коммутацией пакетов по сравнению с сетями с коммутацией каналов на простейшем примере. Пусть тестовое сообщение, которое нужно передать в обоих видах сетей, составляет 200 Кбайт. Отправитель находится от получателя на расстоянии 5000 км. Пропускная способность линий связи составляет 2 Мбит/с.

Время передачи данных по сети с коммутацией каналов складывается из времени распространения сигнала, которое для расстояния 5000 км можно оценить примерно в 25 мс, и времени передачи сообщения, которое при пропускной способности 2 Мбит/с и длине сообщения 200 Кбайт равно примерно 800 мс, то есть всего передача данных заняла 825 мс.

Оценим дополнительное время, которое потребуется для передачи этого сообщения по сети с коммутацией пакетов. Будем считать, что путь от отправителя до получателя пролегает через 10 коммутаторов. Исходное сообщение разбивается на пакеты в 1 Кбайт, всего 200 пакетов. Вначале оценим задержку, которая возникает в исходном узле. Предположим, что доля служебной информации, размещенной в заголовках пакетов, по отношению к общему объему сообщения составляет 10 %. Следовательно, дополнительная задержка, связанная с передачей заголовков пакетов, составляет 10 % от времени передачи целого сообщения, то есть 80 мс. Если принять интервал между отправкой пакетов равным 1 мс, тогда дополнительные потери за счет интервалов составят 200 мс. Итого, в исходном узле из-за пакетирования сообщения при передаче возникла дополнительная задержка в 280 мс.

Каждый из 10 коммутаторов вносит задержку коммутации, которая может иметь большой разброс, от долей до тысяч миллисекунд. В данном примере примем, что на коммутацию в среднем тратится 20 мс. Кроме того, при прохождении сообщений через коммутатор возникает задержка буферизации пакета. Эта задержка при величине пакета 1 Кбайт и пропускной способности линии 2 Мбит/с равна 4 мс. Общая задержка, вносимая 10 коммутаторами, составит примерно 240 мс. В результате дополнительная задержка, созданная сетью с коммутацией пакетов, составила 520 мс. Учитывая, что вся передача данных в сети с коммутацией каналов заняла 825 мс, эту дополнительную задержку можно считать существенной.

Хотя приведенный расчет носит очень приблизительный характер, но он делает более понятными те причины, которые приводят к тому, что процесс передачи для определенной пары абонентов в сети с коммутацией пакетов является более медленным, чем в сети с коммутацией каналов.

Неопределенная пропускная способность сети с коммутацией пакетов - это плата за ее общую эффективность при некотором ущемлении интересов отдельных абонентов. Аналогично, в мультипрограммной операционной системе время выполнения приложения предсказать заранее невозможно, так как оно зависит от количества других приложений, с которыми делит процессор данное приложение.

На эффективность работы сети существенно влияют размеры пакетов, которые передает сеть. Слишком большие размеры пакетов приближают сеть с коммутацией пакетов к сети с коммутацией каналов, поэтому эффективность сети при этом падает. Слишком маленькие пакеты заметно увеличивают долю служебной информации, так как каждый пакет несет с собой заголовок фиксированной длины, а количество пакетов, на которые разбиваются сообщения, будет резко расти при уменьшении размера пакета. Существует некоторая золотая середина, которая обеспечивает максимальную эффективность работы сети, однако ее трудно определить точно, так как она зависит от многих факторов, некоторые из них к тому же постоянно меняются в процессе работы сети. Поэтому разработчики протоколов для сетей с коммутацией пакетов выбирают пределы, в которых может находиться длина пакета, а точнее его поле данных, так как заголовок, как правило, имеет фиксированную длину. Обычно нижний предел поля данных выбирается равным нулю, что разрешает передавать служебные пакеты без пользовательских данных, а верхний предел не превышает 4-х килобайт. Приложения при передаче данных пытаются занять максимальный размер поля данных, чтобы быстрее выполнить обмен данными, а небольшие пакеты обычно используются для квитанций о доставке пакета.

При выборе размера пакета необходимо учитывать также и интенсивность битовых ошибок канала. На ненадежных каналах необходимо уменьшать размеры пакетов, так как это уменьшает объем повторно передаваемых данных при искажениях пакетов.

КОММУТАЦИЯ СООБЩЕНИЙ

Под *коммутацией сообщений* понимается передача единого блока данных между транзитными компьютерами сети с временной буферизацией этого блока на диске каждого компьютера (Рисунок 47). Сообщение в отличие от пакета имеет произвольную длину, которая определяется не технологическими соображениями, а содержанием информации, составляющей сообщение. Например, сообщением может быть текстовый документ, файл с кодом программы, электронное письмо.



Рисунок 47. Коммутация сообщений

Транзитные компьютеры могут соединяться между собой как сетью с коммутацией пакетов, так и сетью с коммутацией каналов. Сообщение хранится в транзитном компьютере на диске, причем время хранения может быть достаточно большим, если компьютер загружен другими работами или сеть временно перегружена.

По такой схеме обычно передаются сообщения, не требующие немедленного ответа, чаще всего сообщения электронной почты. Режим передачи с промежуточным хранением на диске называется режимом «хранение-и-передача» (*store-and-forward*).

Режим коммутации сообщений разгружает сеть для передачи трафика, требующего быстрого ответа, например трафика службы WWW или файловой службы.

Количество транзитных компьютеров стараются по возможности уменьшить. Если компьютеры подключены к сети с коммутацией пакетов, то число промежуточных компьютеров обычно уменьшается до двух. Например, пользователь передает почтовое сообщение своему серверу исходящей почты, а тот сразу старается передать сообщение серверу входящей почты адресата. Но если компьютеры связаны между собой телефонной сетью, то часто используется несколько промежуточных серверов, так как прямой доступ к конечному серверу может быть невозможен в данный момент из-за перегрузки телефонной сети (абонент занят) или экономически невыгоден из-за высоких тарифов на дальнюю телефонную связь.

Техника коммутации сообщений появилась в компьютерных сетях раньше техники коммутации пакетов, но потом была вытеснена последней, как более эффективной по критерию пропускной способности сети. Запись сообщения на диск занимает достаточно много времени, кроме того, наличие дисков предполагает специализированные компьютеры в качестве коммутаторов, что удорожает сеть.

Сегодня коммутация сообщений работает только для некоторых не оперативных служб, причем чаще всего поверх сети с коммутацией пакетов, как служба прикладного уровня.

ВЫВОДЫ

- В сетях для соединения абонентов используются три метода коммутации: коммутация каналов, коммутация пакетов и коммутация сообщений.

- Как коммутация каналов, так и коммутация пакетов может быть либо динамической, либо постоянной.

- В сетях с коммутацией каналов абонентов соединяет составной канал, образуемый коммутаторами сети по запросу одного из абонентов.

- Для совместного разделения каналов между коммутаторами сети несколькими абонентскими каналами используются две технологии: частотного разделения канала (FDM) и разделения канала во времени (TDM). Частотное разделение характерно для аналоговой модуляции сигналов, а временное - для цифрового кодирования.

- Сети с коммутацией каналов хорошо коммутируют потоки данных постоянной интенсивности, например потоки данных, создаваемые разговаривающими по телефону собеседниками, но не могут перераспределять пропускную способность магистральных каналов между потоками абонентских каналов динамически.

- Сети с коммутацией пакетов были специально разработаны для эффективной передачи пульсирующего компьютерного трафика. Буферизация пакетов разных абонентов в коммутаторах позволяет сгладить неравномерности интенсивности трафика каждого абонента и равномерно загрузить каналы связи между коммутаторами.

- Сети с коммутацией пакетов эффективно работают в том отношении, что объем передаваемых данных от всех абонентов сети в единицу времени больше, чем при использовании сети с коммутацией каналов. Однако для каждой пары абонентов пропускная способность сети может оказаться ниже, чем у сети с коммутацией каналов, за счет очередей пакетов в коммутаторах.

- Сети с коммутацией пакетов могут работать в одном из двух режимов: дейтаграммном режиме или режиме виртуальных каналов.

- Размер пакета существенно влияет на производительность сети. Обычно пакеты в сетях имеют максимальный размер в 1-4 Кбайт.

- Коммутация сообщений предназначена для организации взаимодействия пользователей в режиме off-line, когда не ожидается немедленной реакции на сообщение. При этом методе коммутации сообщение передается через несколько транзитных компьютеров, где оно целиком буферизуется на диске.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Как передатчик определяет факт потери положительной квитанции в методе скользящего окна?

2. Сеть с коммутацией пакетов испытывает перегрузку. Для устранения этой ситуации размер окна в протоколах компьютеров сети нужно увеличить или уменьшить?

3. Как влияет надежность линий связи в сети на выбор размера окна?

4. В чем проявляется избыточность TDM-технологии?

5. Какой способ коммутации более эффективен: коммутация каналов или коммутация пакетов?

6. Объясните разницу между тремя понятиями:

- логические соединения, на которых основаны некоторые протоколы;

- виртуальные каналы в сетях с коммутацией пакетов;

- составные каналы в сетях с коммутацией каналов.

4. БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ

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

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

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

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

4.1. БЕСПРОВОДНЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ

Список ключевых слов: мобильная телефония, фиксированная беспроводная связь, мобильная компьютерная сеть, параболическая антенна, изотропная антенна, радиодиапазон, широкополосное радио, микроволновая система,

система инфракрасных волн, система видимого света, дифракция, многолучевое распространение сигнала, межсимвольная интерференция, многолучевое замирание, лицензия, конкурс, лотерея, аукцион, ISM-диапазон.

ПРЕИМУЩЕСТВА БЕСПРОВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

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

Последнее тому доказательство — мобильная телефония. Первый мобильный телефон был изобретен еще в 1910 году Ларсом Магнусом Эрикссоном (Lars Magnus Ericsson). Этот телефон предназначался для автомобиля и был беспроводным только во время движения. Однако в движении им нельзя было пользоваться, для разговора нужно было остановиться, выйти из автомобиля и с помощью длинных жердей присоединить телефон к придорожным телефонным проводам (Рисунок 48). Понятно, что определенные неудобства и ограниченная мобильность воспрепятствовали коммерческому успеху этого вида телефонии.

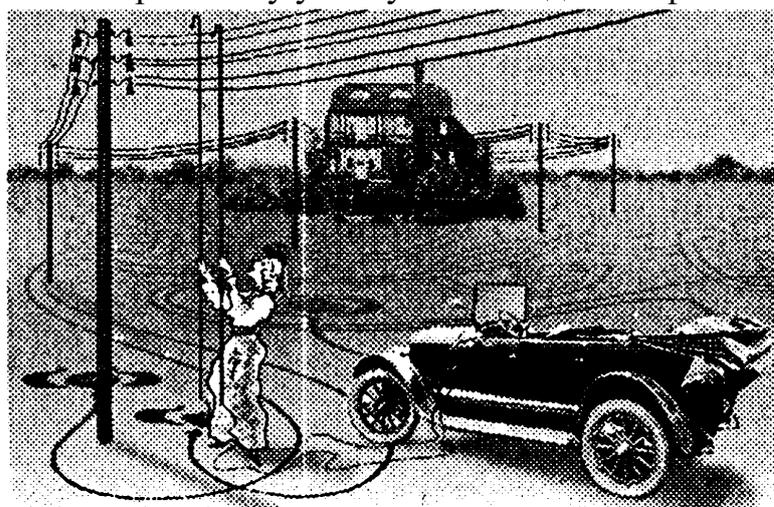


Рисунок 48 Первый мобильный телефон

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

Беспроводная связь не обязательно означает мобильность. Существует так называемая фиксированная беспроводная связь, когда взаимодействующие узлы

постоянно располагаются в пределах небольшой территории-, например определенного здания. Фиксированная беспроводная связь применяется вместо проводной, когда по какой-то причине невозможно или невыгодно использовать кабельные линии связи. Причины могут быть разными.

Например, малонаселенная или труднодоступная местность — болотистые районы и джунгли Бразилии, пустыни, крайний Север или Антарктида еще не скоро дождутся своих кабельных систем. Другой пример — здания, имеющие историческую ценность, стены которых непозволительно подвергать испытанию прокладкой кабеля. Еще один часто встречающийся случай использования фиксированной беспроводной связи — получение доступа к абонентам, дома которых уже подключены к точкам присутствия существующих уполномоченных операторов связи. Наконец, организация временной связи, например, при проведении конференции в здании, в котором отсутствует проводной канал, имеющий скорость, достаточную для качественного обслуживания многочисленных участников конференции.

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

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

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

БЕСПРОВОДНАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ

Беспроводная линия связи строится в соответствии с достаточно простой схемой (Рисунок 49).

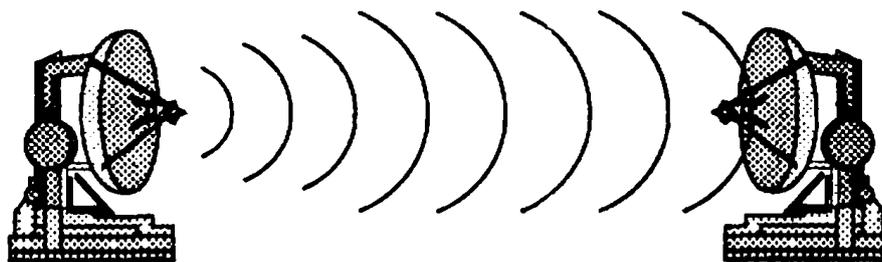


Рисунок 49. Беспроводная линия связи

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

Направленность или не направленность распространения зависит от типа антенны. На Рисунок 10.2 показана параболическая антенна, которая является направленной. Другой тип антенн — изотропные антенны, представляющие собой вертикальный проводник длиной в четверть волны излучения, являются ненаправленными. Они широко используются в автомобилях и портативных устройствах. Распространение излучения во всех направлениях можно также обеспечить несколькими направленными антеннами.

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

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

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

ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА

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

На Рисунок 50. показаны диапазоны электромагнитного спектра. Можно сказать, что они и соответствующие им беспроводные системы передачи информации делятся на четыре группы.

➤ Диапазон до 300 ГГц имеет общее стандартное название — радио диапазон. Союз ITU разделил его на несколько поддиапазонов (они показаны на рисунке), начиная от сверхнизких частот (ExtremelyLowFrequency, ELF) и заканчивая сверхвысокими (ExtraHighFrequency, EHF). Привычные для нас радиостанции работают в диапазоне от 20 кГц до 300 МГц, и для этих диапазонов существует хотя и не определенное в стандартах, однако часто* используемое название широкоэвещательное радио. Сюда попадают низкоскоростные системы AM- и FM-диапазонов, предназначенные для передачи данных со

скоростями от нескольких десятков до сотен килобит в секунду. Примером могут служить радиомодемы, которые соединяют два сегмента локальной сети на скоростях 2400, 9600 или 19200 Кбит/с.

➤ Несколько диапазонов от 300 МГц до 3000 ГГц имеют также нестандартное название микроволновых диапазонов. Микроволновые системы представляют наиболее широкий класс систем, объединяющий радиорелейные линии связи, спутниковые каналы, беспроводные локальные сети и системы фиксированного беспроводного доступа, называемые также системами беспроводных абонентских окончаний (WirelessLocalLoop, WLL).

➤ Выше микроволновых диапазонов располагается инфракрасный диапазон. Микроволновые и инфракрасный диапазоны также широко используются для беспроводной передачи информации. Так как инфракрасное излучение не может проникать через стены, то системы инфракрасных волн используются для образования небольших сегментов локальных сетей в пределах одного помещения.

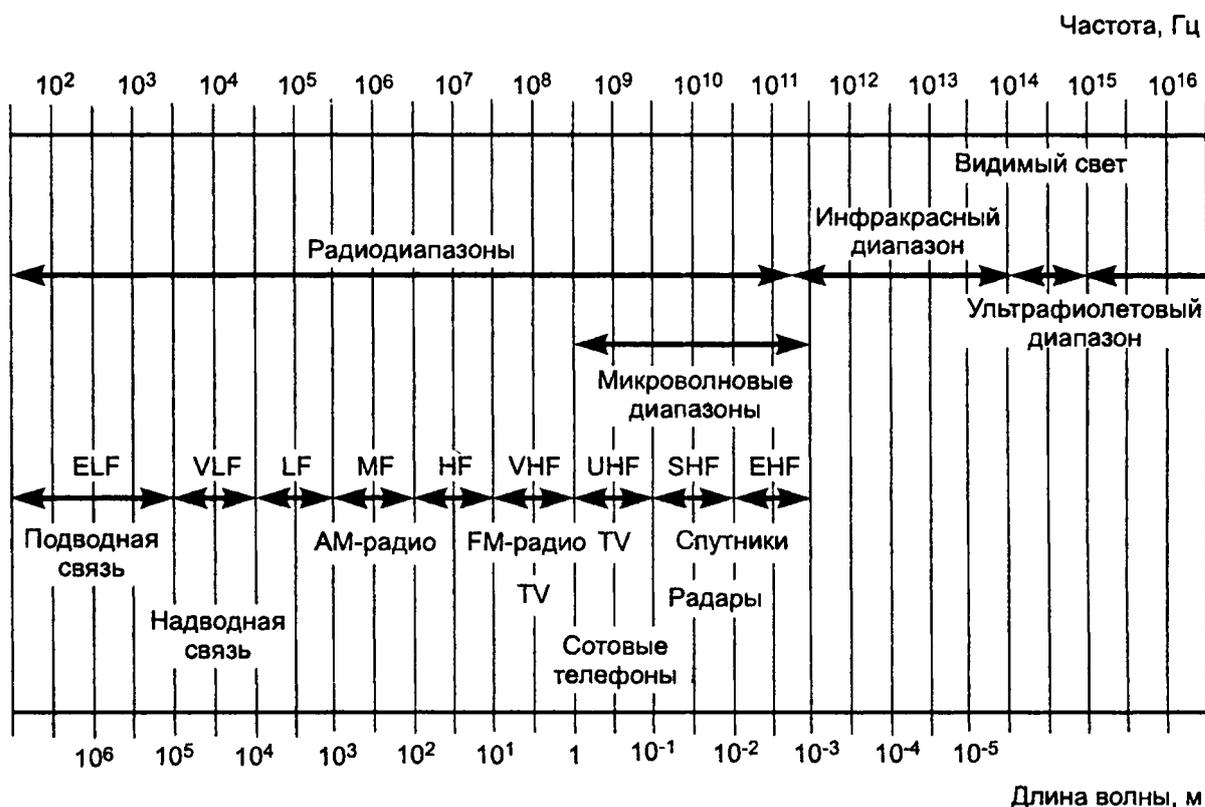


Рисунок 50. Диапазоны электромагнитного спектра

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

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

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

- Чем выше несущая частота, тем выше возможная скорость передачи информации,

- Чем выше частота, тем хуже проникает сигнал через препятствия. Низкочастотные радиоволны АМ-диапазонов Легко проникают в дома, позволяя обходиться комнатной антенной. Более высокочастотный сигнал телевидения требует, как правило, внешней антенны; И наконец инфракрасный и видимый свет не проходят через стены, ограничивая передачу *прямой видимостью* (LineOfSight, LOS)

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

- Низкие частоты (до 2 МГц) распространяются *вдоль* поверхности земли. Именно поэтому сигналы АМ-радио могут передаваться на расстояния в сотни километров.

- Сигналы частот от 2 до 30 МГц отражаются ионосферой земли, поэтому они могут распространяться даже на более значительные расстояния, в несколько тысяч километров (при достаточной мощности передатчика)

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

Потребность в скоростной передаче информации является преобладающей, поэтому все современные системы беспроводной передачи информации работают в высокочастотных диапазонах, начиная с 800 МГц, несмотря на преимущества, которые сулят низкочастотные диапазоны благодаря распространению сигнала вдоль поверхности земли или отражения от ионосферы.

Для успешного использования микроволнового диапазона необходимо также учитывать дополнительные проблемы, связанные с поведением сигналов, распространяющихся в режиме прямой видимости и встречающих на своем пути препятствия.

На Рисунок 51 показано, что сигнал, встретившись с препятствием, может распространяться в соответствии с тремя механизмами: отражением, дифракцией и рассеиванием.

Когда сигнал встречается с препятствием, которое частично прозрачно для данной длины волны и в то же время размеры которого намного превышают длину волны, то часть энергии сигнала *отражается* от такого препятствия. Волны микроволнового диапазона имеют длину несколько сантиметров, поэтому они частично отражаются от стен домов при передаче сигналов в городе. Если сигнал встречает непроницаемое для него препятствие (например, металлическую пластину) также намного большего размера, чем длина волны,

то происходит **дифракция** — сигнал как бы огибает препятствие, так что такой сигнал можно получить, даже не находясь в зоне прямой видимости. И наконец, при встрече с препятствием, размеры которого соизмеримы с длиной волны, сигнал *рассеивается*, распространяясь под различными углами.

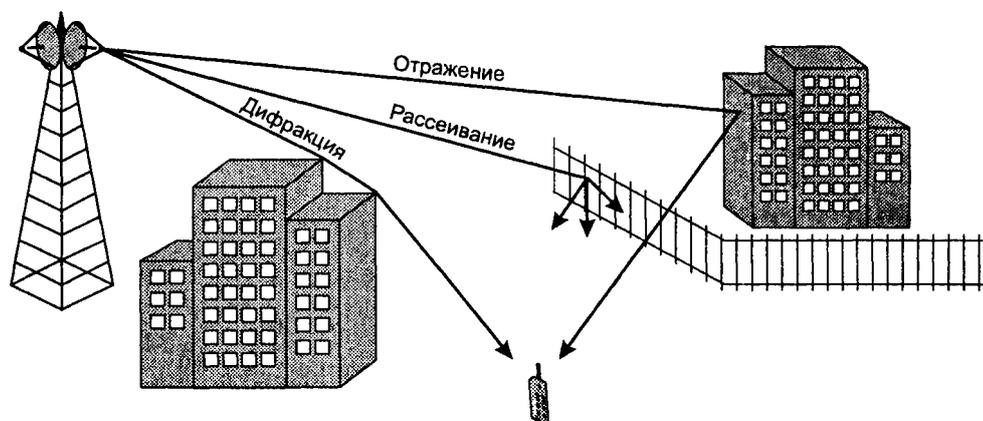


Рисунок 51. Распространение электромагнитной волны

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

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

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

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

ВНИМАНИЕ

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

Проблема высокого уровня помех беспроводных каналов решается различными способами. Важную роль играют специальные методы кодирования, распределяющие энергию сигнала в широком диапазоне частот.

Кроме того, передатчики сигнала (и приемники, если это возможно) стараются разместить на высоких башнях, чтобы избежать многократных отражений. Еще одним способом является применение протоколов с установлением соединений и повторными передачами кадров уже на *канальном* уровне стека протоколов. Эти протоколы позволяют быстрее корректировать ошибки, так как работают с меньшими значениями тайм-аутов, чем корректирующие протоколы *транспортного* уровня, такие как TSP.

ЛИЦЕНЗИРОВАНИЕ

Итак, электромагнитные волны могут распространяться во всех направлениях на значительные расстояния и проходить через препятствия, такие как стены домов. Поэтому проблема совместного использования электромагнитного спектра является весьма острой и требует *централизованного* регулирования. В каждой стране есть специальный государственный орган, который (в соответствии с рекомендациями ИТУ) выдает **лицензии** операторам связи на использование определенной части спектра, достаточной для передачи информации по определенной технологии. Лицензия выдается на определенную территорию, в пределах которой оператор монопольно использует закрепленный за ним диапазон частот.

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

- Участники **конкурса** — операторы связи — разрабатывают детальные предложения. В них они описывают их будущие услуги, технологии, которые будут использоваться для реализации этих услуг, уровень цен для потенциальных клиентов и т. п. Затем комиссия рассматривает все предложения и выбирает оператора, который в наилучшей степени будет соответствовать общественным интересам. Сложность и неоднозначность критериев выбора победителя в прошлом часто приводили к значительным задержкам в принятии решений и коррупции среди государственных чиновников, поэтому некоторые страны, например США, отказались от такого метода. В то же время в других странах он все еще используется, чаще всего для наиболее значимых для страны услуг, например развертывания современных систем мобильной связи 3G.

- **Лотерея** — это наиболее простой способ, но он также не всегда приводит к справедливым результатам, поскольку в лотерее могут принимать участие и «подставные» операторы, которые не собираются вести операторскую деятельность, а хотят просто перепродать лицензию.

- **Аукционы** сегодня являются достаточно популярным способом выявления обладателя лицензии. Они отсекают недобросовестные компании и приносят немалые доходы государствам. Впервые аукцион был проведен в Новой Зеландии в 1989 году. В связи с бумом вокруг мобильных систем 3G многие государства хорошо пополнили свои бюджеты за счет подобных аукционов.

Существуют также три частотных диапазона, 900 МГц, 2,4 ГГц и 5 ГГц, которые рекомендованы ИТУ как диапазоны для международного использования *без лицензирования*¹. Эти диапазоны предназначены для использования промышленными товарами беспроводной связи общего назначения, например устройствами блокирования дверей автомобилей, научными и медицинскими приборами. В соответствии с назначением эти диапазоны получили название **ISM-диапазонов** (Industrial, Scientific, Medical— промышленность, наука, медицина). Диапазон 900 МГц является наиболее «населенным». Это и понятно, низкочастотная техника всегда стоила дешевле. Сегодня активно осваивается диапазон 2,4 ГГц, например, в технологиях IEEE802.11 и Bluetooth. Диапазон 5 ГГц только начал осваиваться, несмотря на то, что он обеспечивает более высокие скорости передачи данных.

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

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

4.2. БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ

Список ключевых слов: радиорелейная линия связи, базовая станция, точка доступа, сота, эстафетная передача, диффузный передатчик, геостационарный спутник, среднеорбитальный спутник, низкоорбитальный спутник.

ДВУХТОЧЕЧНАЯ СВЯЗЬ

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

В телекоммуникационных первичных сетях такая схема уже долгое время используется для создания так называемых **радиорелейных линий связи**. Такую линию образуют несколько башен, на которых установлены параболические направленные антенны (Рисунок 52). Каждая такая линия работает в микроволновом диапазоне на частотах в несколько гигагерц. Направленная антенна концентрирует энергию в узком пучке, что позволяет передавать информацию на значительные расстояния, обычно до 50 км. Высокие башни обеспечивают прямую видимость антенн.

Пропускная способность линии может быть достаточно высокой, обычно она находится в пределах от нескольких до сотен мегабит в секунду. Такие линии

могут быть как магистральными, так и линиями доступа (в последнем случае они имеют чаще всего один канал). Операторы связи часто используют

такие линии, когда прокладка оптического волокна либо невозможна (из-за природных условий), либо экономически невыгодна.

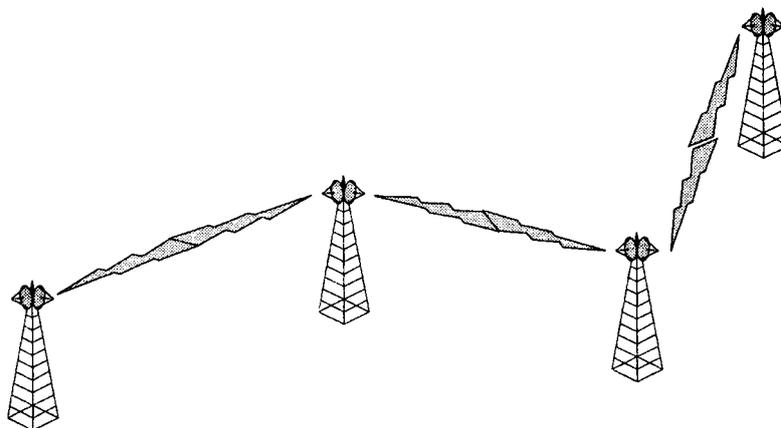


Рисунок 52. Радио линейная линия связи

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

Другой пример беспроводной двухточечной линии связи показан на Рисунок 53. Здесь она используется для соединения двух компьютеров. Такая линия образует простейший сегмент локальной сети, поэтому расстояния и мощности сигнала здесь принципиально иные.

Для расстояний в пределах одного помещения могут использоваться как диапазон инфракрасных волн (Рисунок 53, а), так и микроволновый диапазон (Рисунок 53, б). Большинство современных ноутбуков оснащено встроенным инфракрасным портом, поэтому такое соединение может быть образовано автоматически, как только порты двух компьютеров окажутся в пределах прямой видимости (или видимости отраженного луча).

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



а. Инфракрасные волны б. Микроволны

Рисунок 53. Беспроводная связь двух компьютеров

СВЯЗЬ ОДНОГО ИСТОЧНИКА И НЕСКОЛЬКИХ ПРИЕМНИКОВ

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

Беспроводные линии связи для схемы одного источника и нескольких приемников используются как для фиксированного доступа, так и для мобильного.

На Рисунок 54 показан вариант фиксированного доступа с помощью микроволновых линий связи. Оператор связи использует высокую башню (возможно, телевизионную), чтобы обеспечить прямую видимость с антеннами, установленными на крышах зданий своих клиентов. Фактически такой вариант может представлять собой набор двухточечных линий связи — по количеству зданий, которые необходимо соединить с базовой станцией. Однако это достаточно расточительный вариант, так как для каждого нового клиента нужно устанавливать новую антенну на башне. Поэтому для экономии обычно применяют антенны, захватывающие определенный сектор, например в 45° . Тогда за счет нескольких антенн оператор может обеспечить связь в пределах полного сектора в 360° , конечно, на ограниченном расстоянии (обычно в несколько километров).

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

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

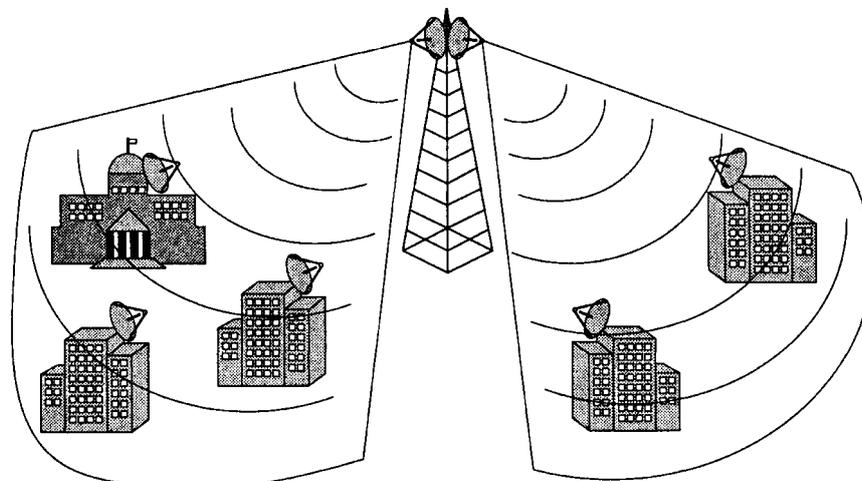


Рисунок 54. Фиксированный беспроводный доступ

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

Принцип разбиения всей области охвата сети на небольшие соты дополняется идеей многократного использования частоты. На Рисунок 55 показан вариант организации сот при наличии всего трех частот, при этом ни одна из соседних пар сот не задействует одну и ту же частоту. Многократное использование частот позволяет оператору экономно расходовать выделенный ему частотный диапазон, при этом абоненты и базовые станции соседних сот не испытывают проблем из-за интерференции сигналов. Конечно, базовая станция должна контролировать мощность излучаемого сигнала, чтобы две соты (несмежные), работающие на одной и той же частоте, не создавали друг другу помех.

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

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

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

где R — радиус соты.

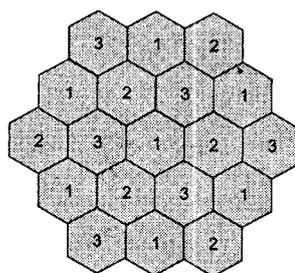


Рисунок 55. Многократное использование частот в сотовой сети.

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

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

Важной проблемой мобильной линии связи является переход терминального устройства из одной соты в другую. Эта процедура, которая

называется эстафетной передачей, отсутствует при фиксированном доступе и относится к протоколам более высоких уровней, нежели физический.

СВЯЗЬ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ И НЕСКОЛЬКИХ ПРИЕМНИКОВ

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

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

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

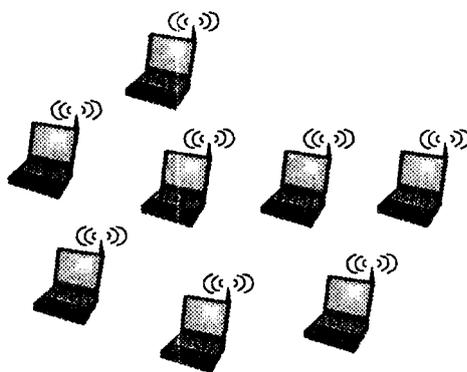


Рисунок 56. Беспроводная многоточечная линия связи

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

ТИПЫ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Спутниковая связь используется для организации высокоскоростных микроволновых протяженных линий. Так как для таких линий связи нужна прямая видимость, которую из-за кривизны Земли невозможно обеспечить на

больших расстояниях, то спутник как отражатель сигнала является естественным решением этой проблемы (Рисунок 57).

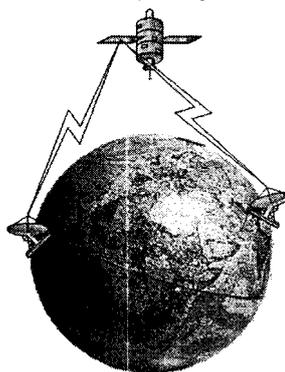


Рисунок 57. Спутник как отражатель сигнала

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

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

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

Для спутниковой связи союз ИТУ выделил несколько частотных диапазонов

Таблица 2. Частотные диапазоны для спутниковой связи

Диапазон	Нисходящая частота, ГГц	Восходящая частота, ГГц
L	1,5	1,6
S	1,9	2,2
C	3,7-4,2	5,925-6,425
Ku	11,7-12,2	14,0-14,5

Ка	17,7-21,7	27,5-30,5
-----------	------------------	------------------

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

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

Сегодня используется три группы круговых орбит, отличающихся высотой над Землей (Рисунок 58):

- 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.

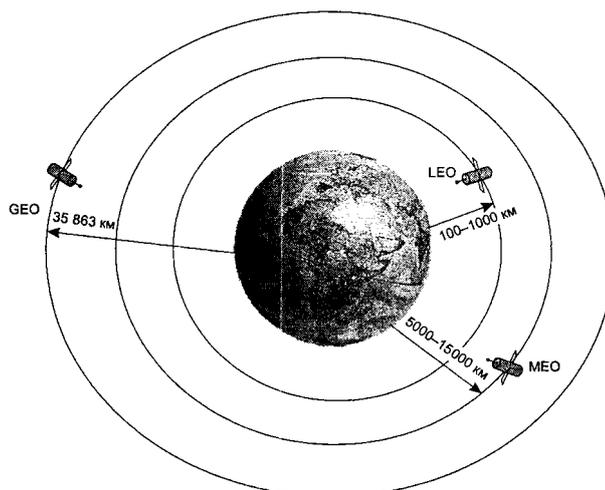


Рисунок 58. Типы орбит спутников

ГЕОСТАЦИОНАРНЫЙ СПУТНИК

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

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

Во-вторых, сам спутник неподвижен для наземных антенн, что значительно облегчает организацию связи, так как не нужно автоматически корректировать направление наземной антенны, как это приходится делать для низкоорбитальных и средневысотных спутников. Правда, с появлением в 1990

году небольших всенаправленных антенн ситуация изменилась — теперь уже не нужно следить за положением низкоорбитального спутника, достаточно, чтобы он находился в зоне прямой видимости.

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

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

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

Кроме того, на таких расстояниях потери сигнала высоки, что означает необходимость использования мощных передатчиков и тарелок больших размеров (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.

СРЕДНЕ- И НИЗКООРБИТАЛЬНЫЕ СПУТНИКИ

Класс среднеорбитальных спутников пока не так популярен, как геостационарных и низкоорбитальных спутников. 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 (GlobalPositioningSystem, 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.

Если основным назначением геостационарных спутников является широко вещание и дальняя связь, то низкоорбитальные спутники рассматриваются как важное средство поддержания мобильной связи.

В начале 90-х годов достоинства компактных терминальных устройств для низкоорбитальных спутников показали руководителям компании Motorola более важными, чем их недостатки. Вместе с несколькими крупными партнерами эта компания начала проект Iridium, который имел весьма амбициозную цель — создать всемирную спутниковую сеть, обеспечивающую мобильную связь в любой точке земного шара. В конце 80-х еще не существовало такой плотной системы сот мобильной телефонии, как сегодня, так что коммерческий успех казался обеспеченным.

В 1997 году группа из 66 спутников была запущена, а в 1998 году началась коммерческая эксплуатация системы Iridium. Спутники Iridium действительно

покрывают всю поверхность земного шара, вращаясь по 6 орбитам, проходящим через полюсы Земли. На каждой орбите находится по 11 спутников, которые имеют передатчики на частоте 1,6 ГГц с полосой пропускания 10 МГц. Эта полоса расходуется 240 каналами по 41 кГц каждый. За счет многократного использования частот система Iridium поддерживает 253 440 каналов, организуя системы скользящих по поверхности Земли сот. Для пользователей системы Iridium основным видом услуги является телефонная связь (7 долларов в минуту) и передача данных со скоростью 2,4 Кбит/с.

Спутники Iridium обладают значительным интеллектом, они могут, пользуясь специальными межспутниковыми каналами, передавать друг другу информацию со скоростью 25 Мбит/с. Поэтому телефонный вызов идет от спутникового телефона Iridium прямо на спутник, находящийся в зоне видимости. Затем этот спутник маршрутизирует вызов через систему промежуточных спутников тому спутнику, который в данный момент ближе к вызываемому абоненту. Система Iridium представляет собой сеть с полным собственным стеком протоколов, который обеспечивает всемирный роуминг.

К сожалению, коммерческие успехи Iridium оказались очень скромными, и через два года своего существования компания обанкротилась. Расчет на мобильных телефонных абонентов оказался неверным — к моменту начала работы наземная сеть сотовой связи уже покрывала большую часть территории развитых стран. А услуги по передаче данных со скоростью 2,4 Кбит/с не соответствовали потребностям пользователей конца 20-го века.

Сегодня система Iridium снова работает, теперь уже с новым владельцем и новым именем — IridiumSatellite. У нее теперь более скромные планы, связанные с созданием местных систем связи в тех частях земного шара, где связь практически отсутствует. Программное обеспечение спутников модернизируется «на лету», что позволило повысить скорость передачи данных до 10 Кбит/с.

Другой известной системой низкоорбитальных спутников является Globalstar. В отличие от Iridium 48 низкоорбитальных спутников Globalstar выполняют традиционные для геостационарных спутников функции — принимают телефонные вызовы от мобильных абонентов и передают их ближайшей наземной базовой станции. Маршрутизацию вызовов выполняет базовая станция, которая передает вызов базовой станции, ближайшей к спутнику, в зоне видимости которого находится вызываемый абонент. Межспутниковые каналы не используются. Помимо телефонных разговоров Globalstar также передает данные со скоростью 4,8 Кбит/с.

Еще одна LEO-сеть — Orbcomm предоставляет сервис, ориентированный на передачу данных. К сожалению, доставка сообщений осуществляется не в режиме реального времени. Если спутник невидим, терминал Orbcomm просто хранит пакеты, пока космический аппарат не войдет в зону видимости. Это приводит к чрезвычайно значительной неравномерности в передаче данных. Вместо привычных для пользователей Интернета задержек в доли секунды, в этой сети паузы иногда измеряются минутами.

Сегодня, когда стало ясно, что мобильная телефония будет поддерживаться в основном наземными сотовыми сетями, ориентация многих спутниковых систем меняется, на первый план выходит предоставление скоростного доступа в Интернет. В число таких систем входит LEO-система Teledesic, одним из основателей которой является Билл Гейтс. В этой системе, создаваемой с начала 90-х годов, спутники представляют собой полноценные маршрутизаторы, соединенные межспутниковыми каналами 64 Кбит/с.

Создаются также системы доступа в Интернет на основе геостационарных спутников. К таким системам относятся Spaceway, Astrolink, EuroSkyway. Они ориентированы на использование антенн VSAT и обещают предоставлять пользователям каналы 2-20 Мбит/с.

4.3. ТЕХНОЛОГИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Список ключевых слов: техника расширенного спектра, ортогональное частотное мультиплексирование, расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты, начальное число, последовательность псевдослучайной перестройки частоты, медленное расширение спектра, быстрое расширение спектра, прямое последовательное расширение спектра, расширяющая последовательность, чип, чиповая скорость, коэффициент расширения, множественный доступ с кодовым разделением, пилотный сигнал.

Техника расширенного спектра разработана специально для беспроводной передачи. Она позволяет улучшить помехоустойчивость кода для сигналов малой мощности, что очень важно для мобильных применений. Однако нужно подчеркнуть, что техника расширенного спектра - не единственная техника кодирования, которая применяется для беспроводных линий связи микроволнового диапазона. Здесь также применяются частотная (FSK) и фазовая (PSK) манипуляции, описанные в предыдущей главе. Амплитудная манипуляция (ASK) не используется по той причине, что каналы микроволнового диапазона имеют широкую полосу пропускания, а усилители, которые обеспечивают одинаковый коэффициент усиления для широкого диапазона частот, очень дороги.

Широкая полоса пропускания позволяет также применять модуляцию с несколькими несущими, когда полоса делится на несколько подканалов, каждый из которых использует свою несущую частоту. Соответственно, битовый поток делится на несколько подпотоков, текущих с более низкой скоростью. Затем каждый подпоток модулируется с помощью определенной несущей частоты, которая обычно кратна основной несущей частоте, то есть f_0 , $2f_0$, $3f_0$ и т. д. Модуляция выполняется с помощью обычных методов FSK или PSK. Такая техника называется ортогональным частотным мультиплексированием (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM).

Перед передачей все несущие сворачиваются в общий сигнал путем быстрого преобразования Фурье. Спектр такого сигнала примерно равен спектру сигнала, кодируемого одной несущей. После передачи из общего сигнала путем обратного преобразования Фурье выделяются несущие

подканалы, а затем из каждого канала выделяется битовый поток. Выигрыш в разделении исходного высокоскоростного битового потока на несколько низкоскоростных подпотоков проявляется в том, что увеличивается интервал между отдельными символами кода. Это означает, что снижается эффект межсимвольной интерференции, появляющийся из-за многолучевого распространения электромагнитных волн.

Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты

Идея метода расширения спектра скачкообразной перестройкой частоты (FrequencyHoppingSpreadSpectrum, FHSS) возникла во время Второй мировой войны, когда радио широко использовалось для секретных переговоров и для управления военными объектами, например торпедами. Для того чтобы радиообмен нельзя было перехватить или подавить узкополосным шумом, было предложено вести передачу с постоянной сменой несущей в пределах широкого диапазона частот. В результате мощность сигнала распределялась по всему диапазону, и прослушивание какой-то определенной частоты давало только небольшой шум. Последовательность несущих частот выбиралась псевдослучайной, известной только передатчику и приемнику. Попытка подавления сигнала в каком-то узком диапазоне также не слишком ухудшала сигнал, так как подавлялась только небольшая часть информации.

Идею этого метода иллюстрирует Рисунок 59.



Рисунок 59. Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты

В течение определенного фиксированного интервала времени передача ведется на неизменной несущей частоте. На каждой несущей частоте для передачи дискретной информации применяются стандартные методы модуляции, такие как FSK или PSK. Для того чтобы приемник синхронизировался с передатчиком, для обозначения начала каждого периода передачи в течение некоторого времени передаются синхробиты. Так что полезная скорость этого метода кодирования оказывается меньше из-за постоянных накладных расходов на синхронизацию.

Несущая частота меняется в соответствии с номерами частотных подканалов, вырабатываемых алгоритмом псевдослучайных чисел.

Псевдослучайная последовательность зависит от некоторого параметра, который называют начальным числом. Если приемнику и передатчику известны алгоритм и значение начального числа, то они меняют частоты в одинаковой последовательности, называемой последовательностью псевдослучайной перестройки частоты.

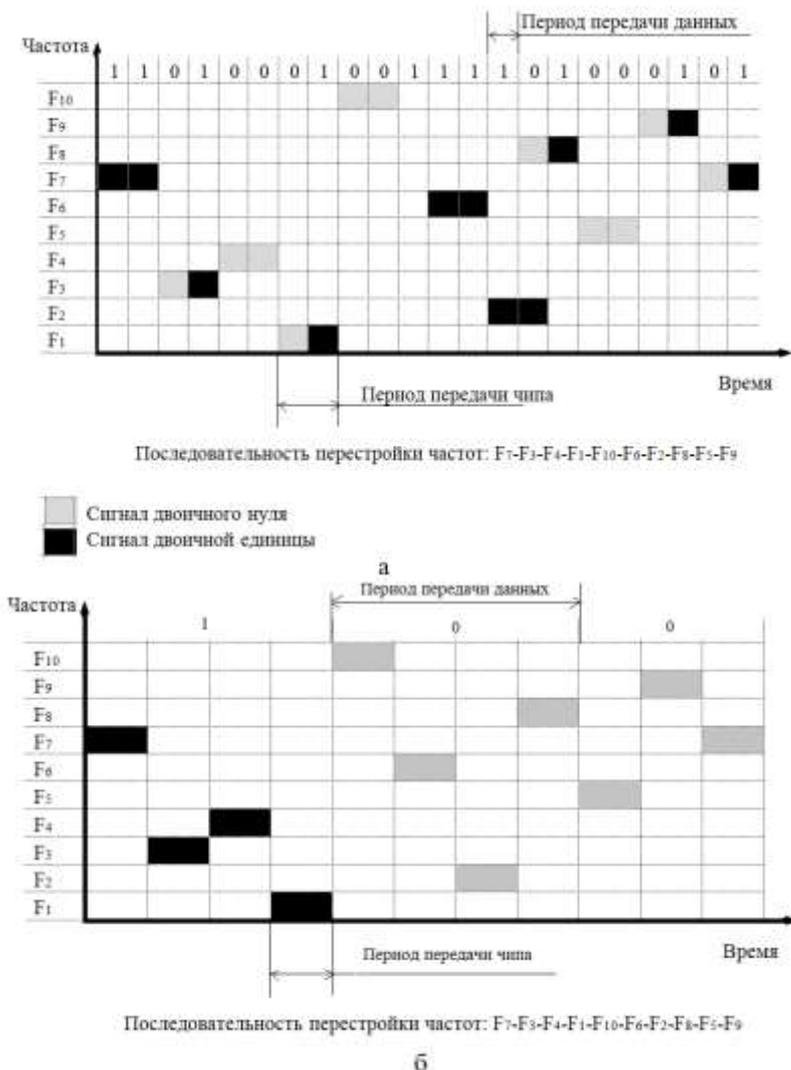


Рисунок 60. Соотношение между скоростью передачи данных и частотой смены подканалов: а — скорость передачи данных выше чиповой скорости, б — скорость передачи данных ниже чиповой скорости.

Если частота смены подканалов ниже, чем скорость передачи данных в канале, то такой режим называют медленным расширением спектра (Рисунок 60, а); в противном случае мы имеем дело с быстрым расширением спектра (Рисунок 60, б).

Метод быстрого расширения спектра более устойчив к помехам, поскольку узкополосная помеха, которая подавляет сигнал в определенном подканале, не приводит к потере бита, так как его значение повторяется несколько раз в различных частотных подканалах. В этом режиме не проявляется эффект межсимвольной интерференции, потому что ко времени прихода задержанного вдоль одного из путей сигнала система успевает перейти на другую частоту.

Метод медленного расширения спектра таким свойством не обладает, но зато он проще в реализации и имеет меньшие накладные расходы.

Методы FHSS используются в беспроводных технологиях IEEE 802.11 и Bluetooth.

В методах FHSS подход к использованию частотного диапазона не такой, как в других методах кодирования — вместо экономного расходования узкой полосы делается попытка занять весь доступный диапазон. На первый взгляд это кажется не очень эффективным — ведь в каждый момент времени в диапазоне работает только один канал. Однако последнее утверждение не всегда справедливо — коды расширенного спектра можно использовать также и для мультиплексирования нескольких каналов в широком диапазоне. В частности, методы FHSS позволяют организовать одновременную работу нескольких каналов путем выбора для каждого канала таких псевдослучайных последовательностей, чтобы в каждый момент времени каждый канал работал на своей частоте (конечно, это можно сделать, только если число каналов не превышает числа частотных подканалов).

ПРЯМОЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЕКТРА

В методе прямого последовательного расширения спектра (DirectSequenceSpreadSpectrum, DSSS) также используется весь частотный диапазон, выделенный для одной беспроводной линии связи. В отличие от метода FHSS весь частотный диапазон занимает не за счет постоянных переключений с частоты на частоту, а за счет того, что каждый бит информации заменяется N битами, так что тактовая скорость передачи сигналов увеличивается в N раз. А это, в свою очередь, означает, что спектр сигнала также расширяется в N раз. Достаточно соответствующим образом выбрать скорость передачи данных и значение N , чтобы спектр сигнала заполнил весь диапазон.

Цель кодирования методом DSSS та же, что методом FHSS — повышение устойчивости к помехам. Узкополосная помеха будет искажать только определенные частоты спектра сигнала, так что приемник с большой степенью вероятности сможет правильно распознать передаваемую информацию.

Код, которым заменяется двоичная единица исходной информации, называется расширяющей последовательностью, а каждый бит такой последовательности — чипом. Соответственно, скорость передачи результирующего кода называют чиповой скоростью. Двоичный нуль кодируется инверсным значением расширяющей последовательности. Приемники должны знать расширяющую последовательность, которую использует передатчик, чтобы понять передаваемую информацию.

Количество битов в расширяющей последовательности определяет коэффициент расширения исходного кода. Как и в случае FHSS, для кодирования битов результирующего кода может использоваться любой вид модуляции, например BFSK.

Чем больше коэффициент расширения, тем шире спектр результирующего сигнала и тем больше степень подавления помех. Но при этом растет занимаемый каналом диапазон спектра. Обычно коэффициент расширения имеет значения от 10 до 100.

Примером значения расширяющей последовательности является последовательность Баркера (Barker), которая состоит из 11 бит: 10110111000. Если передатчик использует эту последовательность, то передача трех битов 110 ведет к передаче следующих битов:

10110111000 10110111000 01001000111.

Последовательность Баркера позволяет приемнику быстро синхронизироваться с передатчиком, то есть надежно выявлять начало последовательности. Приемник определяет такое событие, поочередно сравнивая получаемые биты с образцом последовательности. Действительно, если сравнить последовательность Баркера с такой же последовательностью, но сдвинутой на один бит влево или вправо, то мы получим меньше половины совпадений значений битов. Значит, даже при искажении нескольких битов с большой долей вероятности приемник правильно определит начало последовательности, а значит, сможет правильно интерпретировать получаемую информацию.

Метод DSSS в меньшей степени защищен от помех, чем метод быстрого расширения спектра, так как мощная узкополосная помеха влияет на часть спектра, а значит, и на результат распознавания единиц или нулей.

МНОЖЕСТВЕННЫЙ ДОСТУП С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

Как и в случае FHSS, кодирование методом DSSS позволяет мультиплексировать несколько каналов в одном диапазоне. Техника такого мультиплексирования называется множественным доступом с кодовым разделением (CodeDivisionMultipleAccess, CDMA). Она широко используется в сотовых сетях.

Техника CDMA может использоваться совместно с кодированием методом FHSS, однако на практике она чаще применяется в беспроводной сети с методом DSSS.

Каждый узел сети, работающий по методу CDMA, посылает данные в разделяемую среду в те моменты времени, когда это ему нужно, то есть синхронизация между узлами отсутствует. Идея CDMA заключается в том, что каждый узел сети использует собственное значение расширяющей последовательности. Эти значения выбираются так, чтобы принимающий узел, который знает значение расширяющей последовательности передающего узла, мог выделить данные передающего узла из суммарного сигнала, образуемого в результате одновременной передачи информации несколькими узлами.

Для того чтобы такую операцию демультимплексирования можно было выполнить, значения расширяющей последовательности выбираются определенным образом. Поясним идею CDMA на примере.

Пусть в сети работает четыре узла: А, В, С и D. Каждый узел использует такие значения расширяющей последовательности:

A: 0000

B: 0101

C: 0011

D: 0110

Предположим также, что при передаче единиц и нулей расширяющей последовательности (то есть уже преобразованного исходного кода) используются сигналы, которые являются аддитивными и инверсными. Инверсность означает, что двоичная единица кодируется, например, синусоидой с амплитудой $+A$, а двоичный ноль — синусоидой с амплитудой $-A$. Из условия аддитивности следует, что если фазы этих амплитуд совпадут, то при одновременной передаче единицы и нуля мы получим нулевой уровень сигнала. Для упрощения записи расширяющей последовательности обозначим синусоиду с положительной амплитудой значением $+1$, а синусоиду с отрицательной амплитудой — значением -1 . Для простоты допустим также, что все узлы CDMA-сети синхронизированы.

Таким образом, при передаче единицы исходного кода 4 узла передают в среду такие последовательности:

A: $-1 - 1 - 1 - 1$

B: $-1 + 1 - 1 + 1$

C: $-1 - 1 + 1 + 1$

D: $-1 + 1 + 1 - 1$

При передаче нуля исходного кода сигналы расширяющей последовательности инвертируются.

Пусть теперь каждый из 4 узлов независимо от других передает в сеть один бит исходной информации: узел А — 1, узел В — 0, узел С — 0, узел D — 1.

В среде S сети наблюдается такая последовательность сигналов:

A: $-1 - 1 - 1 - 1$

B: $+1 - 1 + 1 - 1$

C: $+1 + 1 - 1 - 1$

D: $-1 + 1 + 1 - 1$

В соответствии со свойством аддитивности получаем:

S: 000 - 4

Если, например, некоторый узел E хочет принимать информацию от узла А, то он должен использовать свой демодулятор CDMA, задав ему в качестве параметра значение расширяющей последовательности узла А.

Демодулятор CDMA работает следующим образом. Он последовательно складывает все четыре суммарных сигнала S_j , принятые в течение каждого такта работы.

При этом сигнал S_j принятый в такте, на котором код расширения станции А равен $+1$, учитывается в сумме со своим знаком, а сигнал, принятый в такте, на котором код расширения станции А равен -1 , добавляется в сумму с

противоположным знаком. Другими словами, демодулятор выполняет операцию скалярного умножения вектора принятых сигналов на вектор значения расширяющей последовательности нужной станции:

$$SxA = (000 - 4) \times (-1 - 1 - 1 - 1) = 4$$

Для того чтобы узнать, какой бит послала станция А, осталось нормализовать результат, то есть разделить его на количество станций сети: $4/4=1$.

Если бы станция хотела принимать информацию от станции В, то ей нужно было бы при демодуляции использовать код расширения станции В (-1+1-1+1):

$$SxA = (000 - 4) \times (-1 + 1 - 1 + 1) = 4$$

После нормализации мы получаем сигнал -1, который соответствует двоичному нулю исходной информации станции В.

Особенность расширяющих последовательностей, используемых в CDMA, состоит в том, что они являются взаимно ортогональными. Это значит, что если их рассматривать как векторы, то при попарном умножении они дают нулевой результат, например, взаимно ортогональными являются векторы координат пространства: (1 0 0), (0 1 0) и (0 0 1). Однако помимо взаимной ортогональности нужно, чтобы такие векторы были ортогональны с инверсиями членов набора векторов (так как инверсии применяются для кодирования нулей исходной информации).

Мы объяснили только основную идею CDMA, предельно упростив ситуацию. На практике CDMA является весьма сложной технологией, которая оперирует не условными значениями +1 и -1, а модулированными сигналами, например сигналами BPSK. Кроме того, узлы сети не синхронизированы между собой, а сигналы, которые приходят от удаленных на различные расстояния от приемника узлов, имеют разную мощность. Проблема синхронизации приемника и передатчика решается за счет передачи длинной последовательности определенного кода, называемого пилотным сигналом. Для того же, чтобы мощности всех передатчиков были примерно равны для базовой станции, в CDMA применяются специальные процедуры управления мощностью.

4.4. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Список ключевых слов: поколения мобильной связи: 1G — 2G — 3G — 4G
стандарты: AMPS, TACS, NMT, TDMA, CDMA, GSM, PDC, GPRS, EDGE (2.75G), 1xRTT, WCDMA, CDMA2000, UMTS
сеть GSM с поддержкой GPRS, стек протоколов WAP

Развитие беспроводного Интернета стало возможным в первую очередь благодаря широкому распространению мобильных сотовых телефонов и персональных цифровых помощников PDA, которые составляют сегодня базу для мобильного Интернета.

Существуют две схемы для выхода в Интернет с сотового телефона. В первом случае вы получаете Интернет-доступ с мобильного телефона, используя его мини-дисплей и встроенный мини-браузер, а во втором вы

задействуете мобильный телефон в виде модема, подключаете к нему ноутбук и пользуетесь обычным браузером для просмотра Web-страниц (Рисунок 61).

Первое решение, опирающееся на терминальные возможности сотового телефона, связано с существенными ограничениями. Мобильный телефон имеет малую мощность, небольшой объем памяти, ограниченные возможности мини-браузера. Для того чтобы задействовать данные ресурсы сотового телефона, был разработан специальный беспроводной протокол WirelessApplicationProtocol (WAP). Владелец WAP-телефона подключается к базовой станции, происходит авторизация пользователя и через сетевой шлюз устанавливается соединение с Интернетом (Рисунок 61).

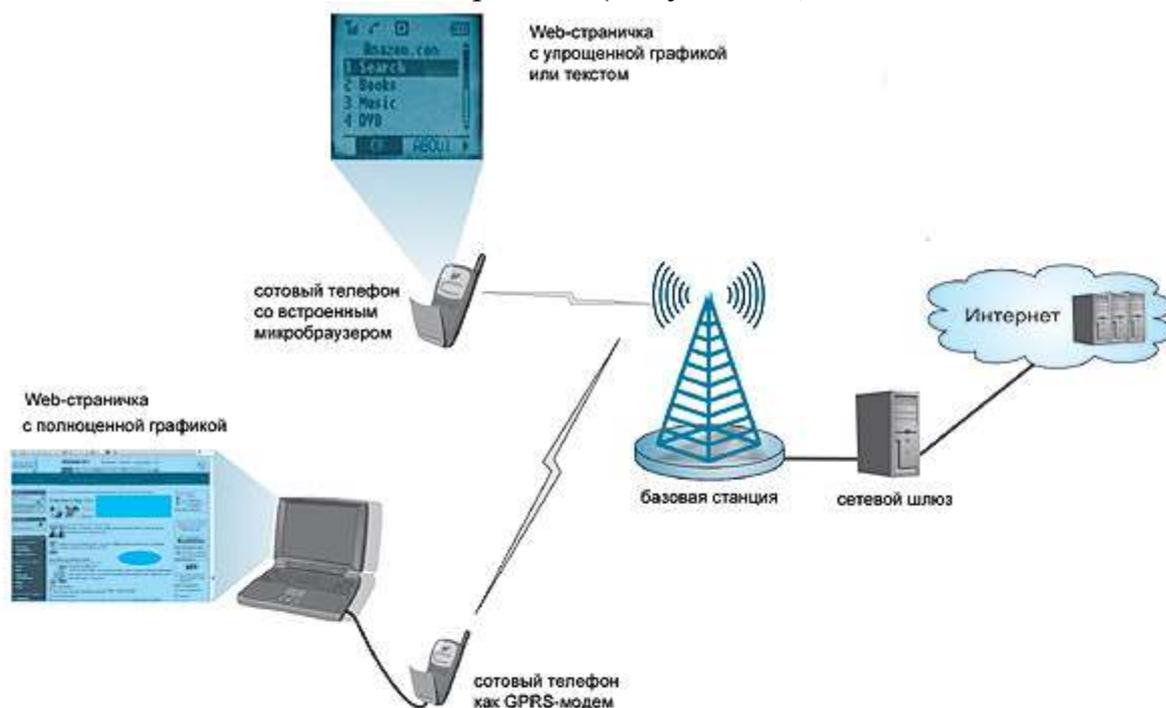


Рисунок 61. Схема выхода в Интернет с сотового телефона

До последнего времени, пользуясь сотовым телефоном с поддержкой WAP-протокола в GSM-сетях, можно было получить доступ в Интернет на очень низкой скорости — не более 9,6 Кбит/с. На такой скорости можно просматривать лишь очень упрощенные текстовые варианты Web-страниц. На базе таких страниц могут быть построены упрощенные, но тем не менее весьма востребованные сервисы: сообщения о курсе валют, сведения о погоде и т.п. Поскольку набрать адрес URL на небольшой клавиатуре мобильного телефона трудно, провайдеры услуг часто дают пользователям настроить WAP-портал в соответствии с их потребностями. При этом доступ становится удобным, поскольку пользователям нужно нажимать минимальное число клавиш, чтобы получить доступ к ограниченному набору избранных WAP-ресурсов.

Одно из современных решений, обеспечивающее более высокую скорость доступа в Интернет с сотового телефона, связано с технологией GPRS (GeneralPacketRadioService — пакетная радиосвязь общего назначения),

позволяющей существенно повысить скорость передачи данных. GPRS стала первой технологией передачи данных, предоставляющей мгновенный мобильный доступ в Интернет. Используя сотовый телефон как GPRS-модем, уже сегодня можно выходить в Интернет с ноутбука и работать при скорости передачи данных, соизмеримой с теми, что обеспечивает обычный модем на десктоп-компьютере.

Прежде чем перейти к рассмотрению технологий доступа в Интернет, представленных на Рисунок 61, поговорим о развитии стандартов мобильной связи.

СТАНДАРТЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Поколение	1G	2G	2.5G	3G	3.5G	4G
Начало разработок	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Реализация	1984	1991	1999	2002	2006—2007	2008—2010
Сервисы	аналоговый стандарт, речевые сообщения	цифровой стандарт, поддержка коротких сообщений (SMS), передача данных со скоростью до 9,6 кбит/с	большая ёмкость, пакетная передача данных	ещё большая ёмкость, скорости до 2 Мбит/с	увеличение скорости сетей третьего поколения	большая ёмкость, IP-ориентированная сеть, поддержка мультимедиа, скорости до сотен мегабит в секунду
Скорость передачи	1,9 кбит/с	9,6-14,4 кбит/с	115кбит/с(1 фаза) 384 кбит/с (2 фаза),	2 Мбит/с	3-14 Мбит/с	1 Гбит/с
Стандарты	AMPS, TACS, NMT	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE (2.75G), 1xRTT	WCDMA, CDMA2000, UMTS	HSDPA	единый стандарт
Сеть	PSTN	PSTN	PSTN, сеть пакетной передачи данных	сеть пакетной передачи данных	сеть пакетной передачи данных	Интернет

1G

Стандарты мобильной связи принято делить на поколения. К первому (The 1st Generation, 1G) относятся аналоговые стандарты, которые постепенно ушли в прошлое.

. К ним относятся:

- AMPS (Advanced Mobile Phone Service — усовершенствованная мобильная телефонная служба, диапазон 800 МГц) — широко используется в США, Канаде, Центральной и Южной Америке, Австралии; известен также как «североамериканский стандарт»; это наиболее распространённый стандарт в мире, обслуживающий почти половину всех абонентов сотовой связи (вместе с цифровой модификацией D-AMPS, речь о которой впереди); используется в России в качестве регионального стандарта (в основном — в варианте D-AMPS), где он также является наиболее распространённым;

- TACS (Total Access Communications System — общедоступная система связи, диапазон 900 МГц) — используется в Англии, Италии, Испании, Австрии, Ирландии, с модификациями ETACS (Англия) и JTACS/NTACS (Япония); это второй по распространённости стандарт среди аналоговых; ещё недавно, в 1995 г., он занимал и общее второе место в мире по величине абонентской базы, но в 1997 г. оттеснён на четвёртое место более быстро развивающимися цифровыми стандартами;

- NMT-450 и NMT 900 (Nordic Mobile Telephone — мобильный телефон северных стран, диапазоны 450 и 900 МГц соответственно) — используется в Скандинавии и во многих других странах; известен также как «скандинавский стандарт»; третий по распространённости среди аналоговых стандартов мира; стандарт NMT 450 является одним из двух стандартов сотовой связи, принятых в России в качестве федеральных (второй — цифровой стандарт GSM 900);

- C-450 (диапазон 450 МГц) — используется в Германии и Португалии;

- RTMS (Radio Telephone Mobile System — мобильная радиотелефонная система, диапазон 450 МГц) — используется в Италии;

- Radiocom 2000 (диапазоны 170, 200, 400 МГц) — используется во Франции;

- NTT (Nippon Telephone and Telegraph System — японская система телефона и телеграфа, диапазон 800...900 МГц — в трех вариантах) — используется в Японии.

Во всех аналоговых стандартах применяются частотная модуляция для передачи речи и частотная манипуляция для передачи информации управления (или сигнализации — signaling). Для передачи информации различных каналов используются различные участки спектра частот — применяется метод множественного доступа с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiple Access — FDMA), с полосами каналов в различных стандартах от 12,5 до 30 кГц. С этим непосредственно связан основной недостаток аналоговых систем — относительно низкая ёмкость, являющаяся прямым следствием недостаточно рационального использования выделенной полосы частот при частотном разделении каналов. Этот недостаток стал очевиден уже к середине 80-х годов, в самом начале широкого распространения сотовой связи в ведущих странах, и сразу же значительные силы были направлены на поиск более совершенных технических решений. В результате этих усилий и поисков появились цифровые сотовые системы второго поколения. Переход к цифровым системам сотовой связи стимулировался

также широким внедрением цифровой техники в связь в целом и в значительной степени был обеспечен разработкой низкоскоростных методов кодирования и появлением сверхминиатюрных интегральных схем для цифровой обработки сигналов.

Говоря о втором поколении, прежде всего следует упомянуть стандарт GSM (GlobalSystemforMobileCommunications — глобальная система связи с подвижными объектами), являющийся сейчас самым популярным стандартом сотовой связи в мире и, что важно для нас, де-факто беспроводным телефонным стандартом в Европе. Сотовые сети стандарта GSM — это цифровые сети, в которых может передаваться не только оцифрованная речь, но и любые цифровые данные. Большинство операторов GSM-сетей имеют договоры по роумингу. На GSM приходится свыше 60% мирового рынка сетей мобильной связи, а количество абонентов составляет более 700 млн. человек.

Первые сети GSM появились в начале 90-х годов. В то время основной их задачей было обеспечение услуг речевой связи на более высоком уровне по сравнению с существовавшими ранее аналоговыми сотовыми системами. Технология GSM способствовала популяризации сотовой связи в сфере бизнеса за счет предоставления возможности шифрования передаваемой информации и роуминга по всей Европе.

Важным шагом развития GSM было введение услуг пересылки коротких сообщений (ShortMessageService, SMS) и передачи данных. С середины 90-х годов начали бурно развиваться услуги передачи данных, и прежде всего SMS-служба. Сегодня пользователи систем GSM могут посылать друг другу короткие сообщения непосредственно с телефона или через компьютерные сети. Абоненты сетей GSM могут посредством мобильного модема получать доступ к компьютерным системам своих офисов и могут посылать и принимать сообщения электронной почты. Одним из основных недостатков сетей сотовой связи стандарта GSM для передачи данных является низкая скорость передачи и тот факт, что биллинг осуществляется исходя из времени соединения по тарифам, мало отличающимся от речевых.

Физические свойства каналов GSM не позволяют обмениваться данными со скоростью свыше 9,6 Кбит/с. Для передачи речи и текстовых сообщений такой скорости вполне достаточно, а для качественной графики — нет.

2.5G

Возможности мобильного доступа в Интернет были существенно расширены с переходом на использование технологии GPRS (GeneralPacketRadioService) и будут кардинально увеличены в высокопроизводительных сотовых сетях следующего, третьего поколения (3G), к которому относится стандарт UMTS (Рисунок 62)

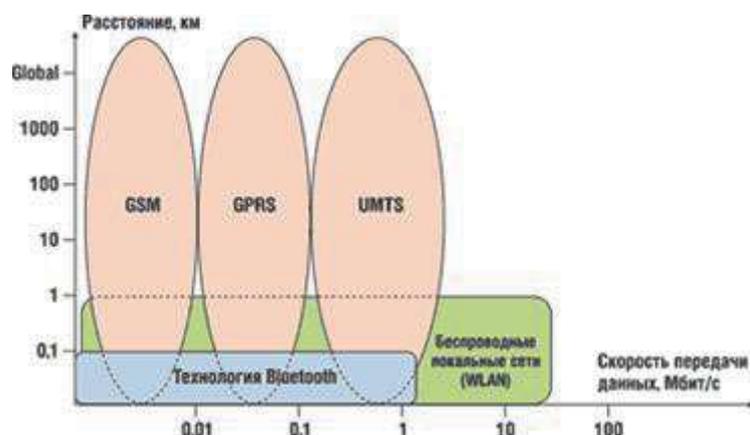


Рисунок 62. Беспроводные технологии

GPRS (англ. GeneralPacketRadioService — пакетная радиосвязь общего пользования) — надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS позволяет пользователю мобильного телефона производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, в том числе Интернет. GPRS предполагает тарификацию по объёму переданной/полученной информации, а не времени.

Основная статья: XRTT

XRTT (OneTimesRadioTransmissionTechnology) — 2.5G мобильная технология передачи цифровых данных основанная на CDMA-технологии. Использует принцип передачи с коммутацией пакетов. Теоретически возможная скорость передачи 144 Кбит/сек, но на практике реальная скорость менее 40-60 Кбит/сек. XRTT использует лицензируемый радиочастотный диапазон и, подобно другим мобильным технологиям, широко распространена.

Поскольку функциональные возможности сети GPRS скромнее, чем у полноценной сети третьего поколения, данный стандарт получил название 2,5G, отражающее ее переходное состояние от второго поколения к третьему.

2.75G

EDGE (англ. EnhancedDataRatesfor GSM Evolution) — цифровая технология для мобильной связи, которая функционирует как надстройка над 2G и 2.5G (GPRS) сетями. Эта технология работает в TDMA и GSM сетях. Для поддержки EDGE в сети GSM требуются определённые модификации и усовершенствования. На основе EDGE могут работать: ECSD — ускоренный доступ в Интернет по каналу CSD, EHSCSD — по каналу HSCSD, и EGPRS — по каналу GPRS. EDGE был впервые представлен в 2003 году в Северной Америке.

3G

Все перечисленные выше цифровые системы второго поколения основаны на методе множественного доступа с временным разделением каналов (TimeDivisionMultipleAccess — TDMA). Однако уже в 1992—1993 гг. в США

был разработан стандарт системы сотовой связи на основе метода множественного доступа с кодовым разделением каналов (CodeDivisionMultipleAccess—CDMA)— стандарт IS-95 (диапазон 800 МГц). Он начал применяться с 1995–1996 гг. в Гонконге, США, Южной Корее, причём в Южной Корее -наиболее широко, а в США начала использоваться и версия этого стандарта для диапазона 1900 МГц. Направление персональной связи нашло своё преломление и в Японии, где в 1991—1992 гг. была разработана и с 1995 г. начала широко использоваться система PHS диапазона 1800 МГц (PersonalHandyphoneSystem — буквально «система персонального ручного телефона»).

Европейская технология мобильной связи третьего поколения UMTS предлагает надёжную передачу голоса, текста и потокового видео. В рамках этой технологии связь может быть организована и с обязательным установлением соединения, и с коммутацией пакетов, как в сетях GPRS.

UMTS предоставляет скорость передачи данных 2 Мбит/с для неподвижных пользователей, 384 Кбит/с для пешеходов и 144 Кбит/с для пользователей, находящихся в движущемся транспорте.

3.5G

HSDPA (англ. High-SpeedDownlinkPacketAccess — высокоскоростная пакетная передача данных от базовой станции к мобильному телефону) — стандарт мобильной связи, рассматривается специалистами как один из переходных этапов миграции к технологиям мобильной связи четвёртого поколения (4G). Максимальная теоретическая скорость передачи данных по стандарту составляет 14,4 Мбит/сек., практическая достижимая в существующих сетях — около 3 Мбит/сек.

4G

Технологии, претендующие на роль 4G (и очень часто упоминаемые в прессе в качестве 4G):

- LTE
- TD-LTE
- Mobile WiMAX
- UMB
- HSPA+

В настоящее время запущены сети WiMAX и LTE. Первую в мире сеть LTE в Стокгольме и Осло запустил альянс TeliaSonera/Ericsson— расчётное значение максимальной скорости передачи данных к абоненту составляет 382 Mbps и 86 Mbps— от абонента. Насчёт UMB планы внедрения не известны, так как ни один оператор (в мировом масштабе) не заключил контракт на его тестирование. Стоит отметить, что стандарт WiMAX не все относят к4G, так как он не интегрирован с сетями предыдущих поколений таких как 3G и 2G, а

также из-за того, что в сети WiMAX сами операторы не предоставляют традиционные услуги связи, такие как голосовые звонки и SMS, хотя и пользование ими возможно при использовании различных VoIP сервисов. ИТТ разрешил сетям HSPA+ называться 4G, т.к. они обеспечивают соответствующие скорости.

Необходимо отметить, что по мере внедрения сетей поколения 2,5G-3G происходит интеграция устройств, передающих голос и данные. Персональные коммуникаторы интегрируют в себе возможности сотового телефона и мобильного ПК (Рисунок 3).



Рисунок 63. Интеграция устройств, передающих голос и данные

Достоинством технологии GPRS является возможность создания высокоскоростной передачи данных на базе имеющихся сетей GSM. Для этого достаточно дооснастить оборудование оператора дополнительными функциональными блоками, что намного дешевле, чем создавать новую сеть базовых станций. При этом следует отметить, что внедрение GPRS требует новых терминалов, поддерживающих более высокую скорость передачи данных. В отличие от GPRS, развертывание сетей UMTS возможно только на собственной базе; использовать установленное оборудование стандартов GSM не удастся.

Рассмотрим технологию GPRS несколько подробнее (GPRS — протокол пакетной коммутации для сетей стандарта GSM). Она реализуется в существующих сотовых сетях GSM в виде дополнительного сетевого уровня. В 2001 году сервис GPRS имелся в наличии в большинстве европейских сетей GSM.

СЕТЬ GSM С ПОДДЕРЖКОЙ GPRS

Сеть GSM с поддержкой GPRS является сетью с коммутацией пакетов. Как известно, в сетях с пакетной коммутацией передаваемая информация разбивается на отдельные пакеты, которые могут передаваться по разным каналам; при этом неверно принятые пакеты запрашиваются повторно. На

стороне получателя из пакетов конструируется исходное сообщение. Технология GPRS гарантирует постоянную связь с Интернетом.

Благодаря принципу совместного применения каналов в GPRS-технологии достигается более высокая скорость передачи данных, чем в сетях GSM (основанных на коммутации каналов), когда канал полностью блокируется независимо от того, ведется в данный момент передача данных или нет. В технологии GPRS необходимый каналный ресурс выделяется лишь на время передачи соответствующих информационных пакетов. GPRS позволяет использовать короткие временные интервалы каналов, выделенных для передачи голосовых данных. Каналы, применяемые для передачи речи, могут одновременно использоваться и для передачи пакетов данных протокола IP.

В принципе, большое количество абонентов, одновременно получающих данные из Интернета на высокой скорости, могут исчерпать запас свободных каналов в соте, поэтому сети GPRS в основном пригодны для режима чтения Web-страниц по схеме «быстрая загрузка — длительное чтение» с освобождением каналов на втором этапе. Использование Интернет-услуг в режиме вещания будет приводить к перегрузке сети.

Мобильные телефоны с поддержкой GPRS разделяются на классы в зависимости от возможностей по одновременной передаче голоса в стандарте GSM и данных в стандарте GPRS:

- класс А — устройства этого класса могут одновременно передавать голос и данные;
- класс В — аппараты автоматически переключаются в режим передачи голоса или данных (например, при поступлении звонка);
- класс С — переключение таких телефонов между голосовым режимом и режимом передачи данных осуществляется вручную.

Важной особенностью GPRS является отказ от поминутной тарификации. Оплата за передачу данных в сети GPRS взимается не за время, в течение которого абонент был на связи с базовой станцией, а за объем переданной информации. Именно поэтому многие онлайн-ресурсы, доступ к которым связан с передачей небольших объемов данных (новостные сайты, чаты и т.д.), выгодно использовать с GPRS-терминалов, а услуги вещания, например потоковое аудио, окажутся неоправданно дорогими.

ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ GPRS ДЛЯ ДОСТУПА К ИНТЕРНЕТУ

Существуют два способа применения технологии GPRS для доступа к Интернету (Рисунок 64). При одном из них GPRS-устройство выполняет функции модема, с помощью которого пользователь портативного компьютера может просматривать Web-страницы HTML. При этом может использоваться как кабельное соединение телефона с ПК, так и беспроводное — инфракрасный порт или Bluetooth. Другой способ — это подключение к Интернету напрямую с мобильного устройства, поддерживающего технологию GPRS, что дает возможность просматривать Web-страницы в формате WAP при помощи

встроенного микробраузера. Информация в формате WAP представляется в облегченном виде, поэтому для ее передачи требуется гораздо меньшая пропускная способность.

Следует отметить, что возможности доступа в Интернет с мобильного телефона на базе WAP-протокола, меняются по мере развития самого стандарта. Для того чтобы рассказать об эволюции WAP-протокола потребуется рассмотреть принцип его работы.

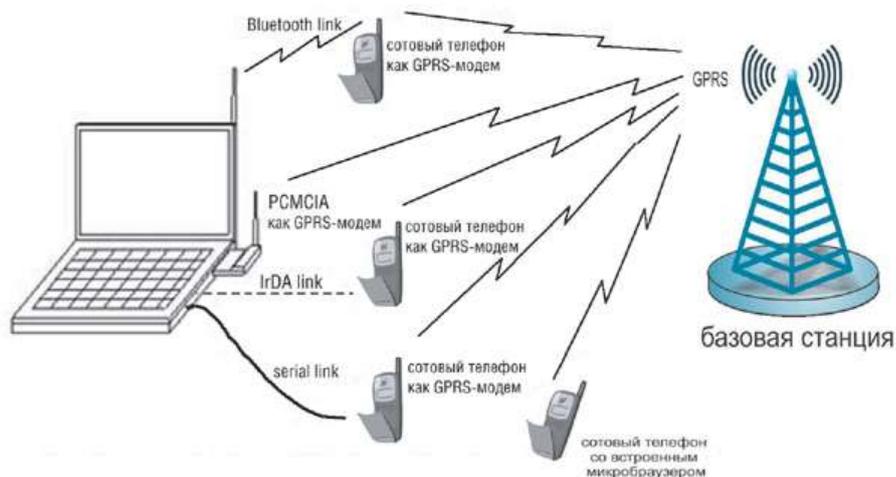


Рисунок 64. Различные варианты использования GPRS для доступа к Интернету

WAP

ПРИНЦИП РАБОТЫ WAP

WAP — это средство доставки Интернет-контента на мобильные телефоны, смартфоны и коммуникаторы, разработанное с учетом ограниченности ресурсов данных мобильных устройств, и встроенный микробраузер — клиентское ПО, созданное для мобильных устройств, имеющих доступ к Интернет-сервисам.

По меткому замечанию представителя Phone.com (бывшей UnwiredPlanet) на заседании WAP-форума, «основная идея WAP — использовать минимальные ресурсы мобильного устройства и компенсировать ограниченность данных возможностей расширением спектра сетевых устройств». WAP создан для работы в любом стандарте сотовой связи и поддерживается большинством мировых лидеров сотовой связи, совместим с различными устройствами (с любой клавиатурой, кнопками, стилусом и т.д.). Важность протокола заключается в том, что он открыл эволюционный путь разработчикам приложений и сетевым операторам для предложения их услуг в сетях различного типа, с разными носителями.

WAP изначально разрабатывался с учетом малой скорости передачи данных и ограниченных возможностей мобильных устройств по объему памяти, размерам экранов и средствам навигации. Если обычные Web-страницы подразумевают разрешение как минимум 640x480 пикселей, то телефонный экран обычно предоставляет всего лишь 150x150 пикселей и монохромный

режим. При работе на ПК мы привыкли осуществлять навигацию в Web, подводя курсор к ссылкам и кликая их, однако в телефоне и PDA аналогичного устройства просто нет.

В связи с этим, как мы отмечали, для мобильных устройств и были разработаны собственные протоколы передачи данных (WirelessAccessProtocol, WAP) и соответствующие языки разметки, в частности WML (WirelessMarkupLanguage).

Для передачи данных на мобильное устройство в соответствующем формате разрабатываются либо специальные сайты, либо происходит идентификация типа устройства в момент его обращения к серверу и преобразование исходного документа в формат, необходимый данному мобильному устройству.

Рассмотрим подробнее, что происходит, когда вы обращаетесь на Web-сайт, используя WAP-телефон (Рисунок 65).

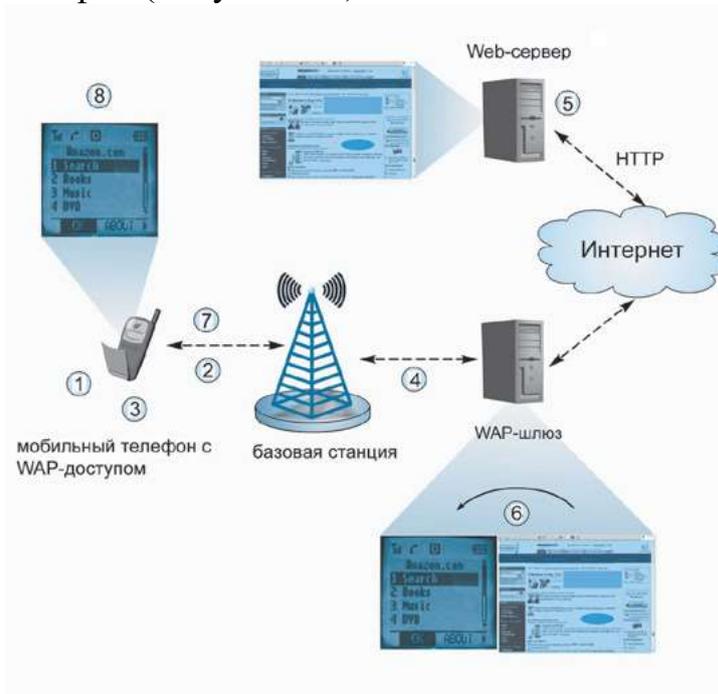


Рисунок 65. Схема доступа на Web по WAP-протоколу

Сначала реализуется обращение к службе (Рисунок 5, пункт 1) — пользователь должен связаться с ближайшей сотовой станцией. Далее устанавливается связь с сервис-провайдером (пункт 2) и осуществляется выбор Web-сайта (пункт 3). Затем пользователь посылает запрос, который направляется на шлюзовой сервер (пункт 4). Шлюзовой сервер, в свою очередь, запрашивает информацию в виде HTTP-запроса с Web-сервера (пункт 5). Получив ответ от Web-сервера, шлюзовой сервер переводит HTTP-данные в WML-данные (пункт 6). WML-данные отсылаются на мобильное устройство (пункт 7).

После того как информация получена WAP-клиентом, она отправляется на мини-браузер, который предлагает базовые средства навигации, и на дисплее мобильного устройства отображается версия Web-странички с упрощенной графикой (пункт 8).

Беспроводной Интернет пока еще весьма слабая альтернатива обычному Интернету. Сегодня это средство для ограниченного круга людей, которым важно подключаться к Сети в условиях мобильного доступа. Однако ситуация быстро меняется: Ericsson, Motorola, Nokia и другие компании уже выпустили десятки миллионов WAP-совместимых сотовых телефонов; растет популярность и других беспроводных карманных устройств.

Быстро появляются новые услуги и информационное наполнение для подобных устройств. Такие порталы, как Amazon.com, Yahoo и ZDNet, активно предоставляют услуги и информацию беспроводным способом. Ряд компаний предлагает разработчикам пакеты инструментальных средств для проектирования беспроводных программ и служб. Таким образом, в самом ближайшем будущем ситуация изменится и выход в Web можно будет осуществлять в любом месте и в любое время, используя самые разные мобильные устройства, которые будут предоставлять выход в Интернет на высокой скорости.

Стек протоколов WAP

Архитектурная модель WAP является производной от модели WWW с учетом текущих ограничений беспроводных сетей и мобильных терминалов. WAP — это стек протоколов, которые охватывают весь процесс доставки информации — от определения языка для создания и оформления содержимого, спецификации мер безопасности до нижних уровней стека, отвечающих непосредственно за транспортировку данных. WAP разрабатывался как максимально независимая от протоколов нижележащего сетевого уровня технология и служит глобальной платформой разработки приложений для предоставления услуг независимо от того, кто является производителем терминала и какая используется сеть беспроводной связи.

Рассмотрим структуру стека.

WAE (WirelessApplicationEnvironment) — определяет инструменты, которыми пользуются разработчики контента: это программная среда для WAP-приложений. К ним относятся WML и WMLScript (скриптовый язык, имеющий много общего с JavaScript) — инструменты, которые позволяют создавать приложения для WAP.

WSP (WirelessSessionProtocol) — протокол сессионного уровня. Его основная задача — поддерживать сеанс связи. WSP предусматривает использование push-технологий (доставку «не запрошенного» контента). В этом случае соединение инициируется не клиентом, а сервером, что применяется для распространения новостей, рекламы и т.д.

WTP (WirelessTransactionProtocol) — уровень транзакций, который обрабатывает отдельные пакеты соединения. WSP и WTP соответствуют протоколу http в стеке TCP/IP.

WTLS (WirelessTransportLayerSecurity) — предоставляет многие функции, аналогичные тем, что реализованы в уровне TransportLayerSecurity (TLS), который является частью TCP/IP. Он проверяет целостность данных, обеспечивает шифрование и аутентификацию клиента и сервера.

WDP (WirelessDatagramProtocol) — предоставляет общий интерфейс между верхними уровнями и физическим уровнем, производя адаптацию под конкретные свойства протокола физического уровня.

Networkcarriermethod — физический уровень, который характеризует способ передачи данных в эфире. Протоколами этого уровня являются, в частности, уже упоминавшиеся нами протоколы SMS и GPRS.

ВЫВОДЫ

- Беспроводная связь делится на мобильную и фиксированную. Для организации мобильной связи беспроводная среда является единственной альтернативой. Фиксированная беспроводная связь обеспечивает доступ к узлам сети, расположенным в пределах небольшой территории, например здания.

- Каждый узел беспроводной линии связи оснащается антенной, которая одновременно является передатчиком и приемником электромагнитных волн.

- Электромагнитные волны могут распространяться во всех направлениях или же в пределах определенного сектора. Тип распространения зависит от типа антенны.

- Беспроводные системы передачи данных делятся на четыре группы в зависимости от используемого диапазона электромагнитного спектра: широкополосные (радио-) системы, микроволновые системы, системы инфракрасных волн, системы видимого света.

- Из-за отражения, дифракции и рассеивания электромагнитных волн возникает многолучевое распространение одного и того же сигнала. Это приводит к межсимвольной интерференции и многолучевому замиранию.

- Передача данных в диапазонах 900 МГц, 2,4 ГГц и 5 ГГц, которые получили название ISM, не требует лицензирования, если мощность передатчика не превышает 1 Ватт.

- Беспроводные двухточечные линии связи используются для создания радиорелейных линий, соединения зданий, а также двух компьютеров.

- Беспроводные линии связи с одним источником и несколькими приемниками строятся на основе базовой станции. Такие линии используются в мобильных сотовых сетях, а также в системах фиксированного доступа.

- Топология с несколькими источниками и несколькими приемниками характерна для беспроводных локальных сетей.

- В системах спутниковой связи используются три группы спутников: геостационарный, среднеорбитальный и низкоорбитальный.

- Для кодирования дискретной информации беспроводные системы используют манипуляцию (FSK и PSK), модуляцию с несколькими несущими частотами (OFDM) и методы расширения спектра (FHSS и DSSS).

- В методах расширения спектра для представления информации используется широкий диапазон частот, это уменьшает влияние на сигналы узкополосных шумов.

- На основе методов FHSS и DSSS можно мультиплексировать несколько каналов в одном диапазоне частот. Такая техника мультиплексирования называется множественным доступом с кодовым разделением (CDMA).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите основные области применения беспроводных линий связи.
2. В чем достоинства и недостатки беспроводной передачи информации по сравнению с проводной?
3. В каких пределах изменяется скорость передачи данных по различным каналам и в каких единицах она измеряется?
4. Каковы характеристики «тонкого» и «толстого» кабеля Ethernet?
5. Что такое системы GSM?
6. Что такое GPRS и WAP?
7. Охарактеризуйте спецификацию Bluetooth.
8. Что такое стандарты связи IEEE 802.11, IEEE 802.11a и IEEE 802.11b?
9. Охарактеризуйте сети Wi-Fi.
10. Охарактеризуйте диаграмму излучения направленной антенны.
11. Каковы характеристики спутниковых каналов?
12. Перечислите диапазоны систем спутниковой связи.
13. Охарактеризуйте различные разновидности орбит спутниковых систем.
14. Дайте характеристику провайдеров услуг спутниковой связи.
15. Каким образом можно организовать ненаправленное распространение радиоволн и микроволн?
16. За счет чего радиоволны с частотами от 2 до 30 МГц могут распространяться на сотни километров?
17. Какой спектр волн используется для спутниковой связи?
18. Какие атмосферные явления мешают распространению микроволн?
19. Что из нижеперечисленного используется для ненаправленного распространения инфракрасных волн:
 - a) лазерные диоды;
 - b) система линз;
 - c) отражение от потолка;
 - d) тепловые антенны.
20. Какие препятствия вызывают дифракцию, а какие рассеивание электромагнитных волн?
21. В каких случаях применяются эллиптические орбиты телекоммуникационных спутников?
22. Какими недостатками обладает геостационарный спутник?
23. В чем, по вашему мнению, заключается причина неудачи проекта Iridium?
24. При соблюдении какого условия технология FHSS является высокоскоростной?

25. Какое свойство последовательности Баркера определяет возможность ее использования в технологии DSSS?

26. Назовите основное свойство расширяющих последовательностей, используемых в технологии CDMA.

27. Можно ли в качестве расширяющих последовательностей узлов сети, поддерживающих множественный доступ с кодовым разделением на основе технологии DSSS, использовать значения 1 0 0 ... 0, 0 1 0 0 ... 0, 0 0 1 0 ... 0, 0 0 0 1 0 ... 0 и т. д.?

28. Предложите 11-битную расширяющую последовательность, отличную от последовательности Баркера, которая, как и последовательность Баркера, позволяет надежно определять начало передачи очередного бита исходной информации.

5. ПЕРВИЧНЫЕ СЕТИ

Первичные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко организовать постоянный канал с двухточечной топологией между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети. В первичных сетях используется техника коммутации каналов. На основе каналов, образованных первичными сетями, работают наложенные компьютерные или телефонные сети. Каналы, предоставляемые первичными сетями своим пользователям, отличаются высокой пропускной способностью — обычно от 2 Мбит/с до 10 Гбит/с.

Существует три поколения технологий первичных сетей:

- плезиохронная цифровая иерархия (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH);
- синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH), которой в Америке соответствует стандарт SONET;
- уплотненное волновое мультиплексирование (DWDM).

Первые две технологии (PDH и SDH) для разделения высокоскоростного канала используют временное мультиплексирование (TDM) и передают данные в цифровой форме. Каждая из них поддерживает иерархию скоростей, так что пользователь может выбрать подходящую ему скорость для каналов, с помощью которых он будет строить наложенную сеть.

Технология SDH обеспечивает более высокие скорости, чем PDH, так что при построении крупной первичной сети ее магистраль строится на технологии SDH, а сеть доступа — на технологии PDH.

Сети DWDM представляют собой последнее достижение в области создания высокоскоростных каналов. Они уже не являются цифровыми, так как предоставляют своим пользователям выделенную волну для передачи информации, которую те могут задействовать по своему усмотрению — модулировать или кодировать. Технология DWDM вытесняет сегодня технологию SDH из протяженных магистралей на периферию сети, превращая SDH в технологию сетей доступа.

Три различные технологии коммутации и мультиплексирования позволяют создать гибкую и масштабируемую первичную сеть, способную обслуживать большое количество компьютерных и телефонных сетей.

5.1. СЕТИ PDH

Список ключевых слов: мультиплексор T-1, система T-каналов, каналы типа E-1, E-2 и E-3, сигнальный протокол, «кража» бита.

Технология PDH была разработана в конце 60-х годов компанией AT&T для решения проблемы связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой. Линии связи FDM, применяемые ранее для решения этой задачи, исчерпали свои возможности по организации высокоскоростной многоканальной связи по одному кабелю. В технологии FDM для одновременной передачи данных 12 абонентских каналов использовалась витая пара, а для повышения скорости связи приходилось прокладывать кабели с большим количеством пар проводов или более дорогие коаксиальные кабели.

ИЕРАРХИЯ СКОРОСТЕЙ

Начало технологии PDH было положено разработкой мультиплексора **T-1**, который позволял в цифровом виде мультиплексировать, передавать и коммутировать (на постоянной основе) голосовой трафик 24 абонентов. Так как абоненты по-прежнему пользовались обычными телефонными аппаратами, то есть передача голоса шла в аналоговой форме, то мультиплексоры T-1 сами осуществляли оцифровывание голоса с частотой 8000 Гц и кодировали голос методом импульсно - кодовой модуляции. В результате каждый абонентский канал образовывал цифровой поток данных 64 Кбит/с, а мультиплексор T-1 обеспечивал передачу 1,544 Мбит/с.

Для соединения крупных телефонных станций каналы T-1 представляли собой слишком слабые и негибкие средства мультиплексирования, поэтому была реализована идея образования каналов с *иерархией скоростей*. Четыре канала типа T-1 объединили в канал следующего уровня цифровой иерархии — T-2, передающий данные со скоростью 6,312 Мбит/с. Канал T-3, образованный путем объединения семи каналов T-2, имеет скорость 44,736 Мбит/с. Канал T-4 объединяет 6 каналов T-3, в результате его скорость равна 274 Мбит/с. Эта технология получила название **системы T-каналов**.

С середины 70-х годов выделенные каналы, построенные на основе систем T-каналов, стали сдаваться телефонными компаниями в аренду на коммерческих условиях, перестав быть внутренней технологией этих компаний. Системы T-каналов позволяют передавать не только голос, но и любые данные, представленные в цифровой форме, — компьютерные данные, телевизионное изображение, факсы и т. п.

Технология систем T-каналов была стандартизована Американским национальным институтом стандартов (ANSI), а позже — международным комитетом CCITT. При стандартизации она получила название

Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH). В результате внесенных комитетом ССИТТ изменений возникла несовместимость американской и международной версий стандарта PDH. Аналогом систем Т-каналов в международном стандарте являются каналы типа Е-1, Е-2 и Е-3 с отличающимися скоростями — соответственно 2,048 Мбит/с, 8,488 Мбит/с и 34,368 Мбит/с. Американская версия сегодня помимо США распространена также в Канаде и Японии (с некоторыми различиями), а в Европе применяется международный стандарт ССИТТ.

Таблица 3. Иерархия цифровых скоростей

Обозначение скорости	Америка			ССИТТ(Европа)		
	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего	Скорость, Мбит/с	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего	Скорость, Мбит/с
DS-0	1	1	64 Кбит/с	1	1	64 Кбит/с
DS-1	24	24	1,544	30	30	2,048
DS-2	96	4	6,312	120	4	8,488
DS-3	672	7	44,736	480	4	34,368
DS-4	4032	6	274,176	1920	4	139,264

Несмотря на различия, в американской и международной версиях технологии цифровой иерархии принято использовать одни и те же обозначения для иерархии скоростей — DS_n(Digital Signal_n). В табл. 3 приводятся значения для всех введенных стандартами уровней скоростей обеих технологий.

На практике в основном используются каналы Т-1/Е-1 и Т-3/Е-3.

МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

Мультиплексор Т-1 обеспечивает передачу данных 24-х абонентов со скоростью 1,544 Мбит/с в кадре, имеющем достаточно простой формат. В этом кадре последовательно передается по одному байту каждого абонента, а после 24 байт вставляется один *бит синхронизации*. Первоначально устройства Т-1 (которые дали имя всей технологии, работающей на скорости 1,544 Мбит/с) работали только на внутренних тактовых генераторах, и каждый кадр с помощью битов синхронизации мог передаваться асинхронно. Аппаратура Т-1 (а также более скоростная аппаратура Т-2 и Т-3) за долгие годы существования претерпела значительные изменения. Сегодня мультиплексоры и коммутаторы первичной сети работают на централизованной тактовой частоте, распределяемой из одной точки всей сети. Однако принцип формирования кадра остался, поэтому биты синхронизации в кадре по-прежнему присутствуют. Суммарная скорость пользовательских каналов составляет $24 \times 64 = 1,536$ Мбит/с, а еще 8 Кбит/с добавляют биты синхронизации, итого получается 1,544 Мбит/с.

Теперь рассмотрим еще одну особенность формата кадра T-1. В аппаратуре T-1 восьмой бит каждого байта в кадре имеет назначение, зависящее от типа передаваемых данных и поколения аппаратуры. При передаче *голоса* с помощью этого бита передается служебная информация, переносящая номер вызываемого абонента и другие сведения, необходимые для установления соединения между абонентами сети. Протокол, обеспечивающий такое соединение, называется в телефонии сигнальным протоколом. Поэтому реальная скорость передачи пользовательских данных в этом случае составляет не 64, а 56 Кбит/с. Техника использования восьмого бита для служебных целей получила название «кражи» бита.

При передаче компьютерных данных канал T-1 предоставляет для пользовательских данных только 23 канала, а 24-й канал отводится для служебных целей, в основном — для восстановления искаженных кадров. Компьютерные данные передаются со скоростью 64 Кбит/с, так как восьмой бит не «крадется».

При одновременной передаче как голосовых, так и компьютерных данных используются все 24 канала, причем и компьютерные, и голосовые данные передаются со скоростью 56 Кбит/с.

При мультиплексировании 4-х каналов T-1 в один канал T-2 между кадрами DS-1 по-прежнему передается один бит синхронизации, а кадры DS-2 (которые состоят из 4-х последовательных кадров DS-1) разделяются 12 служебными битами, которые предназначены не только для разделения кадров, но и для их синхронизации. Соответственно, кадры DS-3 состоят из 7 кадров DS-2, разделенных служебными битами.

Версия технологии PDH, описанная в международных стандартах G.700-G.706 комитета CCITT, как уже отмечалось, имеет отличия от американской технологии систем T-каналов. В частности, в ней не используется схема «кражи бита». При переходе к следующему уровню иерархии коэффициент кратности скорости имеет постоянное значение 4. Вместо восьмого бита в канале E-1 на служебные цели отводятся 2 байта из 32, а именно нулевой (для целей синхронизации приемника и передатчика) и шестнадцатый (в нем передается служебная сигнальная информация). Для голосовых каналов или каналов данных остается 30 каналов со скоростью передачи 64 Кбит/с каждый.

Пользователь может арендовать несколько каналов 64 Кбит/с (56 Кбит/с) в канале T-1/E-1. Такой канал называется «дробным» каналом T-1/E-1. В этом случае пользователю отводится несколько тайм-слотов работы мультиплексора.

Физический уровень технологии PDH поддерживает различные виды кабелей: витую пару, коаксиальный кабель и волоконно-оптический кабель. Основным вариантом абонентского доступа к каналам T-1/E-1 является кабель из двух витых пар с разъемами RJ-48. Две пары требуются для организации дуплексного режима передачи данных со скоростью 1,544/2,048 Мбит/с. Для представления сигналов используются:

- в каналах T-1 — биполярный потенциальный код B8ZS;
- в каналах E-1 — биполярный потенциальный код HDB3.

Для усиления сигнала на линиях T-1 через каждые 1800 м (одна миля) устанавливаются регенераторы и аппаратура контроля линии.

Коаксиальный кабель благодаря своей широкой полосе пропускания поддерживает канал T-2/E-2 или 4 канала T-1 /E-1. Для работы каналов T-3/E-3 обычно

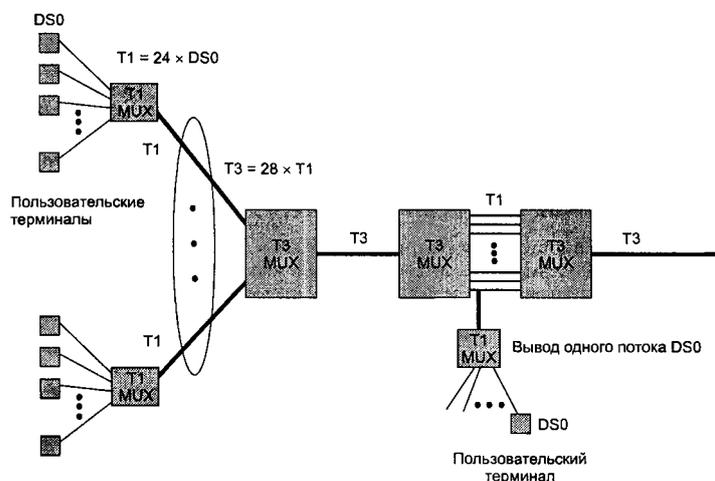


Рисунок 66. Выделение низкоскоростного канала путем полного демультимплексирования

Наконец, недостатком PDН являются слишком низкие по современным понятиям скорости передачи данных. Волоконно-оптические кабели позволяют передавать данные со скоростями в несколько гигабит в секунду по одному волокну, что обеспечивает консолидацию в одном кабеле десятков тысяч пользовательских каналов, но эту возможность технология PDН не реализует — ее иерархия скоростей заканчивается уровнем 139 Мбит/с.

5.2. СЕТИ SONET/SDH

Список ключевых слов: синхронная оптическая сеть, технология SONET,

стандарт SDH, кадр STM-N, виртуальный контейнер, заголовок пути, таблица соединений (кросс-соединений), указатель, трибутарный блок, административный блок, мультиплексор, трибутарный порт, агрегатный порт, терминальный мультиплексор, мультиплексор ввода-вывода, цифровой кросс-коннектор, регенератор сигналов, стек протоколов SDH, фотонный уровень, уровень секции, уровень линии, уровень тракта, регенераторная секция, заголовок регенераторной секции, мультиплексная секция, заголовок мультиплексной секции, заголовок тракта, положительное выравнивание, отрицательное выравнивание, кольцо SDH, цепь, плоское кольцо, ячеистая топология, автоматическое защитное переключение, самовосстанавливающаяся сеть, защита 1 + 1, защита 1:1, защита 1:N, защитное переключение оборудования, защита карт, защита мультиплексной секции, защита сетевого соединения, разделяемая защита мультиплексной секции в кольцевой топологии.

Указанные выше недостатки были учтены и преодолены разработчиками технологии синхронных оптических сетей (Synchronous Optical NET, SONET), первый вариант стандарта которой появился в 1984 году. Затем она была стандартизована комитетом T-1 института ANSI. Международная стандартизация технологии проходила под эгидой Европейского института телекоммуникационных стандартов (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) и сектором телекоммуникационной стандартизации союза ИТУ (ITU Telecommunication Standardization Sector, ITU-T) совместно с ANSI и ведущими телекоммуникационными компаниями Америки, Европы и Японии. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание технологии, способной передавать трафик всех существующих цифровых каналов уровня PDH (как американских T1-T3, так и европейских E1-E4) по высокоскоростной магистральной сети на базе волоконно-оптических кабелей и обеспечить иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH до скорости в несколько гигабит в секунду.

В результате длительной работы ИТУ-Т и ETSI удалось разработать международный стандарт SDH (Synchronous Digital Hierarchy — синхронная цифровая иерархия). Кроме того, стандарт SONET был доработан так, чтобы аппаратура и сети SDH и SONET являлись совместимыми и могли мультиплексировать входные потоки практически любого стандарта PDH — и американского, и европейского.

Иерархия скоростей и методы мультиплексирования

Поддерживаемая технологией SONET/SDH иерархия скоростей представлена в табл. 4.

Таблица 4. Иерархия скоростей SONET/SDH

SDH	SONET	Скорость
	STS-1, OC-1	51,84 Мбит/с
STM-1	STS-3, OC-3	155,520 Мбит/с
STM-3	OC-9	466,560 Мбит/с
STM-4	OC-12	622,080 Мбит/с
STM-6	OC-18	933,120 Мбит/с
STM-8	OC-24	1,244 Гбит/с
STM-12	OC-36	1,866 Гбит/с
STM-16	OC-48	2,488 Гбит/с
STM-64	OC-192	9,953 Гбит/с
STM-256	OC-768	39,81 Гбит/с

В стандарте SDH все уровни скоростей (и, соответственно, форматы кадров для этих уровней) имеют общее название STM-N (Synchronous Transport Module level N — синхронный транспортный модуль уровня N). В технологии SONET существует два обозначения для уровней скоростей: STS-N (Synchronous Transport Signal level N — синхронный

транспортный сигнал уровня N), употребляемое в случае передачи данных электрическим сигналом, и OC-N (OpticalCarrierlevelN— оптоволоконная линия связи уровня N), употребляемое в случае передачи данных по волоконно-оптическому кабелю. Далее для упрощения изложения сосредоточимся на технологии SDH.

Кадры STM-N имеют достаточно сложную структуру, позволяющую агрегировать в общий магистральный поток потоки SDH и PDH различных скоростей, а также выполнять операции ввода-вывода без полного демультиплексирования магистрального потока.

Операции мультиплексирования и ввода-вывода выполняются при помощи виртуальных контейнеров (Virtual Container, VC), в которых блоки данных PDH можно транспортировать через сеть SDH. Помимо блоков данных PDH виртуальный контейнер помещается еще некоторая служебная информация, в частности заголовок пути (PathOverHead, POH) контейнера, в котором размещается статистическая информация о процессе прохождении контейнера вдоль пути от его начальной до конечной точки (сообщения об ошибках), а также другие служебные данные, например индикатор установления соединения между конечными точками. В результате размер виртуального контейнера оказывается больше, чем соответствующая нагрузка в виде блоков данных PDH, которую он переносит. Например, виртуальный контейнер VC-12 помимо 32 байт данных потока E-1 содержит еще 3 байта служебной информации.

В технологии SDH (Рисунок 67) определено несколько типов виртуальных контейнеров, предназначенных для транспортировки основных типов блоков данных PDH: VC-11 (1,5 Мбит/с), VC-12 (2 Мбит/с), VC-2 (6 Мбит/с), VC3 (34/45 Мбит/с) и VC-4 (140 Мбит/с).

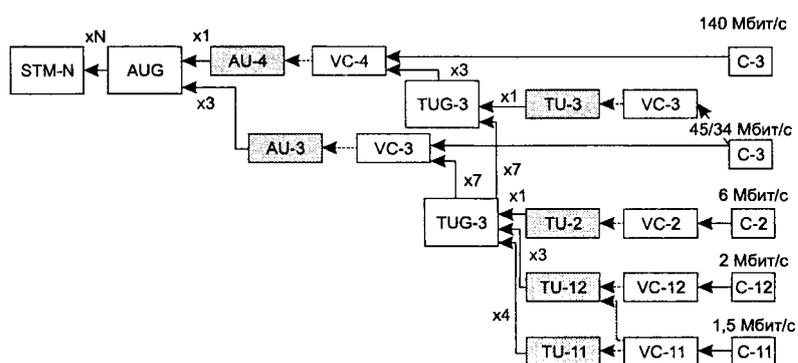


Рисунок 67. Схема мультиплексирования данных в SDH

Виртуальные контейнеры являются *единицей коммутации* мультиплексоров SDH. В каждом мультиплексоре существует таблица соединений (называемая также таблицей кросс-соединений), в которой указано, например, что контейнер VC-12 порта P1 соединен с контейнером VC12 порта P5, а контейнер VC3 порта P8 — с контейнером VC3 порта P9. Таблицу соединений формирует администратор сети с помощью системы управления или управляющего терминала на каждом мультиплексоре так, чтобы обеспечить сквозной путь

между конечными точками сети, к которым подключено пользовательское оборудование.

Для совмещения в рамках одной сети механизмов синхронной передачи кадров (STM-N) с асинхронным характером переносимых этими кадрами пользовательских данных PDH в технологии SDH применяются указатели. Концепция указателей — ключевая в технологии SDH, она заменяет принятое в PDH выравнивание скоростей асинхронных источников посредством дополнительных битов. Указатель определяет текущее положение виртуального контейнера в иерархической структуре более высокого уровня — трибутарном блоке (Tributary Unit, TU) или административном блоке (Administrative Unit, AU). Собственно, основное отличие этих блоков от виртуального контейнера заключается в наличии дополнительного поля указателя. С помощью этого указателя виртуальный контейнер может «сместиться» в определенных пределах внутри своего трибутарного или административного блока, положение которого, в свою очередь, в кадре фиксировано. Именно благодаря системе указателей мультиплексор находит положение пользовательских данных в синхронном потоке байтов кадров STM-N «на лету» извлекает их оттуда, чего механизм мультиплексирования, применяемый в PDH, делать не позволяет.

Трибутарные блоки объединяются в группы, а те, в свою очередь, входят в административные блоки. Группа из административных блоков (Administrative Unit Group, AUG) и образует полезную нагрузку кадра STM-N. Помимо этого в кадре имеется заголовок с общей для всех блоков AU служебной информацией. На каждом шаге преобразования к предыдущим данным добавляется несколько служебных байтов: они помогают распознать структуру блока или группы блоков и затем определить с помощью указателей начало пользовательских данных.

На Рисунок 67 структурные единицы кадра SDH, содержащие указатели, заштрихованы, а связь между контейнерами и блоками, допускающая сдвиг данных по фазе, показана пунктиром.

Схема мультиплексирования SDH предоставляет разнообразные возможности по объединению пользовательских потоков PDH. Например, для кадра STM-1 можно реализовать такие варианты:

- 1 поток E-4;
- 63 потока E-1;
- 1 поток E-3 и 42 потока E-1.

Другие варианты читатель может предложить сам.

ТИПЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Основным элементом сети SDH является мультиплексор (Рисунок 68). Обычно он оснащен некоторым количеством портов PDH и SDH: например, портами PDH на 2 и 34/45 Мбит/с и портами SDH STM-1 на 155 Мбит/с и STM-4 на 622 Мбит/с. Порты мультиплексора SDH делятся на агрегатные и трибутарные.

Трибутарные порты часто называют также портами ввода-вывода, а агрегатные — линейными портами. Эта терминология отражает типовые топологии сетей SDH, где имеется ярко выраженная магистраль в виде цепи или кольца, по которой передаются потоки данных, поступающие от пользователей сети через порты ввода-вывода (трибутарные порты), то есть втекающие в агрегированный поток («tributary» дословно означает «приток»).

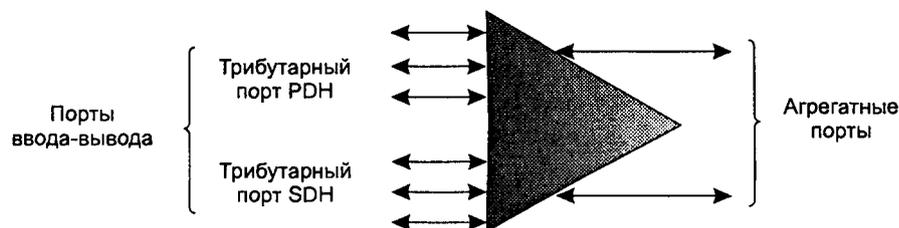


Рисунок 68. Мультиплексор SDH

Мультиплексоры SDH обычно разделяют на два типа, разница между которыми определяется положением мультиплексора в сети SDH.

□ Терминальный мультиплексор (Terminal Multiplexer, ТМ) завершает агрегатные каналы, мультиплексируя в них большое количество трибутарных каналов (Рисунок 69), поэтому он оснащен одним агрегатным портом и большим числом трибутарных портов.



Рисунок 69. Типы мультиплексоров SDH

□ Мультиплексор ввода-вывода (Add-Drop Multiplexer, ADM) занимает промежуточное положение на магистрали (в кольце, цепи или смешанной топологии). Он имеет два агрегатных порта, транзитом передавая агрегатный по ток данных. С помощью небольшого количества трибутарных портов такой мультиплексор вводит в агрегатный поток или выводит из агрегатного потока данные трибутарных каналов.

Иногда различают так называемые цифровые кросс-коннекторы (Digital Cross Connect, DXC) — мультиплексоры, которые выполняют операции коммутации над произвольными виртуальными контейнерами. В таких мультиплексорах не делается различий между агрегатными и трибутарными портами, так как они предназначены для работы в ячеистой топологии, где невозможно выделить агрегатные потоки.

Помимо мультиплексоров в состав сети SDH могут входить регенераторы сигналов, необходимые для преодоления ограничений по расстоянию между мультиплексорами. Эти ограничения зависят от мощности оптических передатчиков, чувствительности приемников и затухания волоконно-

оптического кабеля. Регенератор преобразует оптический сигнал в электрический и обратно, при этом восстанавливается форма сигнала и его временные характеристики. В настоящее время регенераторы SDH применяются достаточно редко, так как стоимость их ненамного меньше стоимости мультиплексора, а функциональные возможности несоизмеримо беднее.

СТЕК ПРОТОКОЛОВ

Стек протоколов SDH состоит из протоколов 4-х уровней. Эти уровни никак не соотносятся с уровнями модели OSI, для которой вся сеть SDH представляет собой оборудование физического уровня.

- Фотонный уровень имеет дело с кодированием битов информации путем модуляции света. Для кодирования оптического сигнала применяется потенциальный код NRZ, обладающий свойствами самосинхронизации.

- Уровень секции поддерживает физическую целостность сети. Регенераторной секцией в технологии SDH называется каждый непрерывный отрезок волоконно-оптического кабеля, который соединяет между собой такие, например, пары устройств SONET/SDH, как мультиплексор и регенератор, регенератор и регенератор, но не два мультиплексора. Компоненты регенераторной секции поддерживают протокол, который имеет дело с определенной частью заголовка кадра, называемой заголовком регенераторной секции (RegeneratorSectionOverHead, RSOH), на основе служебной информации может проводить тестирование секции и выполнять операции административного контроля.

- Уровень линии отвечает за передачу данных *по линии* между двумя мультиплексорами сети, поэтому линию также часто называют мультиплексной секцией. Протокол этого уровня работает с кадрами уровней STS-N для выполнения различных операций мультиплексирования и демultipлексирования, а также вставки и удаления пользовательских данных. Протокол линии также ответственен за реконфигурирование линии в случае отказа какого-либо ее элемента — оптического волокна, порта или соседнего мультиплексора. Служебная информация мультиплексной секции располагается в части заголовка кадра, называемой заголовком мультиплексной секции (MultiplexSectionOverHead, MSOH).

- Уровень тракта отвечает за доставку данных между двумя конечными пользователями сети. Тракт — это составное виртуальное соединение между пользователями. Протокол тракта должен принять данные, поступающие в пользовательском формате, например формате T-1, и преобразовать их в синхронные кадры STM-N.

На Рисунок 70 показано распределение протоколов SDH по типам оборудования SDH.

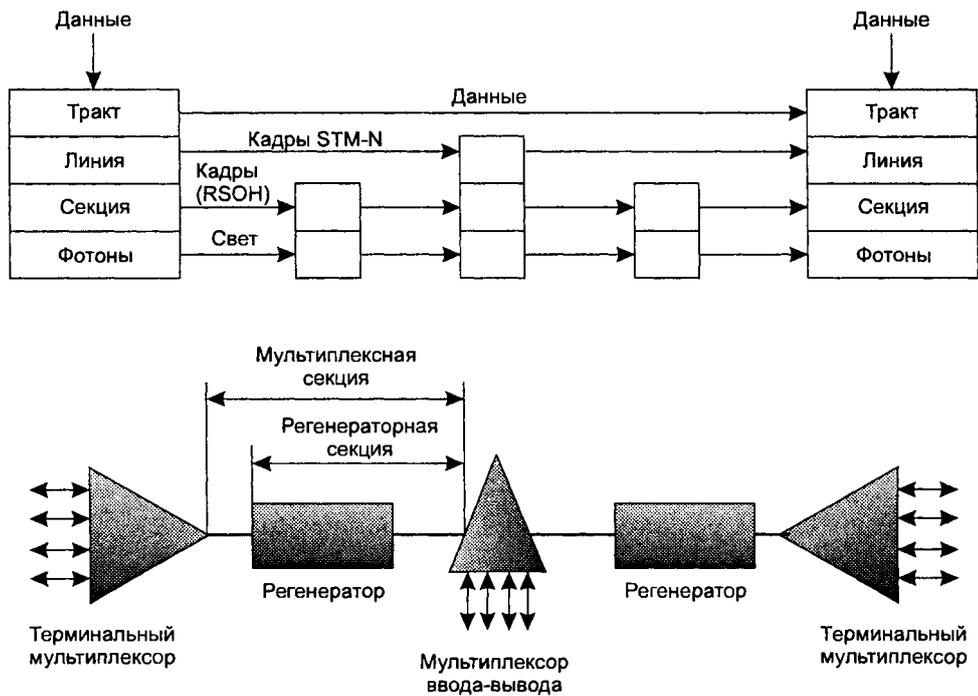


Рисунок 70. Стек протоколов технологии SDN

КАДРЫ STM-N

Основные элементы кадра STM-1 показаны на Рисунок 71, а в табл.5. приведена структура заголовков регенераторной и мультиплексной секций.

Кадр обычно представляют в виде матрицы, состоящей из 270 столбцов и 9 строк. Первые 9 байт каждой строки отводятся под служебные данные заголовков, из последующих 261 байт 260 отводятся под полезную нагрузку (данные таких структур, как AUG, AU, TUG, TUиVC), а один байт каждой строки отводится под заголовок тракта, что позволяет контролировать соединение «из конца в конец».

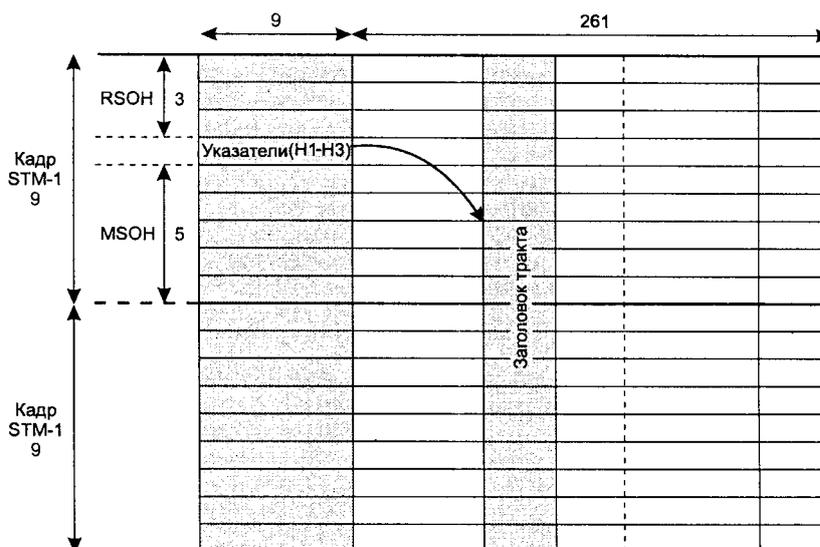


Рисунок 71. Структура кадра STM-1

Таблица 5. Состав заголовков регенераторной и мультиплексной секций

Заголовок регенераторной секции	Заголовок мультиплексной секции
Синхробайты	Байты контроля ошибок для мультиплексной секции
Байты контроля ошибок для регенераторной секции	Шесть байтов канала передачи данных, работающего на скорости 576 Кбит/с
Один байт служебного аудиоканала (64 Кбит/с)	Два байта протокола автоматической защиты трафика (байты K1 и K2), обеспечивающего живучесть сети
Три байта канала передачи данных (DataCommunicationChannel, DCC), работающего на скорости 192 Кбит/с	Байт передачи сообщений статуса системы синхронизации
Байты, зарезервированные для национальных операторов связи	Остальные байты заголовка MSONлибо зарезервированы для национальных операторов связи, либо не используются
Поля указателей H1, H2, H3 задают положение начала виртуального* контейнера VC-4 или трех виртуальных контейнеров VC-3 относительно поля указателей	

Рассмотрим механизм работы указателя H1-H2-H3 на примере кадра STM-1, переносящего контейнер VC-4. Указатель занимает 9 байт четвертого ряда кадра, причем под каждое из полей H1, H2 и H3 в этом случае отводится по 3 байта. Разрешенные значения указателя находятся в диапазоне 0-782, причем указатель отмечает начало контейнера VC-4 в трехбайтовых единицах. Например, если указатель имеет значение 27, то первый байт VC-4 находится на расстоянии $27 \times 3 = 81$ байт от последнего байта поля указателей, то есть является 90-м байтом (нумерация начинается с единицы) в 4-й строке кадра STM-1. Фиксированное значение указателя позволяет учесть фазовый сдвиг между данным мультиплексором и источником данных, в качестве которого может выступать мультиплексор PDH, оборудование пользователя с интерфейсом PDHили другой мультиплексор SDH. В результате виртуальный контейнер передается в двух последовательных кадрах STM-1, как и показано на Рисунок 71.

Указатель может обрабатывать не только фиксированный фазовый сдвиг, но и рассогласование тактовой частоты мультиплексора с тактовой частотой устройства, от которого принимаются пользовательские данные. Для компенсации этого эффекта значение указателя периодически наращивается или уменьшается на единицу.

Если скорость поступления данных контейнера VC-4 меньше, чем скорость отправки STM-1, то у мультиплексора периодически (этот период зависит от величины рассогласования частоты синхронизации) возникает нехватка пользовательских данных для заполнения соответствующих полей виртуального контейнера. Поэтому мультиплексор вставляет три «холостых» (незначащих) байта в данные виртуального контейнера, после чего продолжает заполнение VC-4 «подоспевшими» за время паузы пользовательскими данными. Указатель наращивается на единицу, что отражает запаздывание начала очередного контейнера VC-4 на три байта. Эта операция над указателем

называется положительным выравниванием. В итоге средняя скорость отправляемых пользовательских данных становится равной скорости их поступления, причем без вставки дополнительных битов в стиле PDH.

Если же скорость поступления данных VC-4 выше, чем скорость отправки кадра STM-1, то у мультиплексора периодически возникает потребность вставки в кадр «лишних» (преждевременно пришедших) байтов, для которых в поле VC-4 нет места. Для их размещения используются три младших байта указателя, то есть поле H3 (само значение указателя умещается в поля H1 и H2). Указатель при этом уменьшается на единицу, поэтому такая операция носит название отрицательного выравнивания.

Тот факт, что выравнивание контейнера VC-4 происходит с дискретностью в три байта, объясняется достаточно просто. Дело в том, что в кадре STM-1 может переноситься либо один контейнер VC-4, либо три контейнера VC-3. Каждый из контейнеров VC-3 имеет в общем случае независимое значение фазы относительно начала кадра, а также собственную величину рассогласования частоты. Указатель VC-3 в отличие от указателя VC-4 состоит уже не из девяти, а из трех байтов: H1, H2, H3 (каждое из этих полей — однобайтовое). Эти три указателя помещаются в те же байты, что и указатель VC-4, но по схеме с чередованием байтов, то есть в порядке H1, H2, H3, H2-1, H2-2, H2-3, H3-1, H3-2, H3-3 (второй индекс идентифицирует определенный контейнер VC-3). Значения указателей VC-3 интерпретируются в байтах, а не трехбайтовых единицах. При отрицательном выравнивании контейнера VC-3 лишний байт помещается в соответствующий байт H3-1, H3-2 или H3-3 — в зависимости от того, над каким из контейнеров VC-3 проводится операция.

Вот мы и дошли до размера смещения для контейнеров VC4 — этот размер был выбран для унификации этих операций над контейнерами любого типа, размещаемыми непосредственно в AUGкадра STM-1. Выравнивание контейнеров более низкого уровня всегда происходит с шагом в 1 байт.

При объединении блоков TUи AUв группы в соответствии с описанной схемой (см. Рисунок 11.6) выполняется их последовательное побайтное расслоение, так что период следования пользовательских данных в кадре STM-1 совпадает с периодом их следования в трибутарных портах. Это исключает необходимость в их временной буферизации, поэтому говорят, что *мультиплексоры SDH передают данные в реальном масштабе времени.*

ТИПОВЫЕ ТОПОЛОГИИ

В сетях SDHприменяются различные топологии связей. Наиболее часто используются кольца и линейные цепи мультиплексоров, также находит все большее применение ячеистая топология, близкая к полносвязной.

Кольцо SDHстроится из мультиплексоров ввода-вывода, имеющих, по крайней мере, по два агрегатных порта (Рисунок 72, а). Пользовательские потоки вводятся в кольцо и выводятся из кольца через трибутарные порты, образуя двухточечные соединения (на рисунке показаны в качестве примера два таких соединения). Кольцо является классической регулярной топологией,

обладающей потенциальной отказоустойчивостью — при однократном обрыве кабеля или выходе из строя мультиплексора соединение сохранится, если его направить по кольцу в противоположном направлении. Кольцо обычно строится на основе кабеля с двумя оптическими волокнами, но иногда для повышения надежности и пропускной способности применяют четыре волокна.

Цепь (Рисунок 72, б) — это линейная последовательность мультиплексоров, из которых два оконечных играют роль терминальных мультиплексоров, а остальные — мультиплексоров ввода-вывода. Обычно сеть с топологией цепи применяется в тех случаях, когда узлы имеют соответствующее географическое расположение, например вдоль магистрали железной дороги или трубопровода. Правда, в таких случаях может применяться и плоское кольцо (Рисунок 72, в), обеспечивающее более высокий уровень отказоустойчивости за счет двух дополнительных волокон в магистральном кабеле и по одному дополнительному агрегатному порту у терминальных мультиплексоров.

Эти базовые топологии могут комбинироваться при построении сложной и разветвленной сети SDH, образуя участки с радиально-кольцевой топологией, соединениями «кольцо-кольцо» и т. п. Наиболее общим случаем является ячеистая топология сети (Рисунок 72, г), при которой мультиплексоры соединяются друг с другом большим количеством связей, за счет чего сеть может достичь очень высокой степени производительности и надежности.

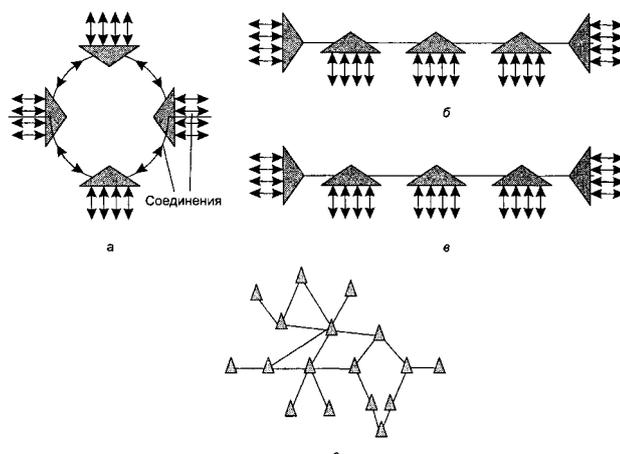


Рисунок 72. Типовые топологии

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СЕТИ

Одной из сильных сторон первичных сетей SDH является разнообразный набор средств отказоустойчивости, который позволяет сети быстро (за десятки миллисекунд) восстановить работоспособность в случае отказа какого-либо элемента сети — линии связи, порта или карты мультиплексора, мультиплексора в целом.

В SDH в качестве общего названия механизмов отказоустойчивости используется термин автоматическое защитное переключение (Automatic Protection Switching, APS), отражающий факт перехода (переключения) на резервный путь или резервный элемент мультиплексора при

отказе основного. Сети, поддерживающие такой механизм, в стандартах SDN названы самовосстанавливающимися.

В сетях SDN применяются три схемы защиты.

- Защита 1+1 означает, что резервный элемент выполняет ту же работу, что и основной. Например, при защите трибутарной карты по схеме 1 + 1 трафик проходит как через рабочую карту (резервируемую), так и через защитную (резервную).

- Защита 1:1 подразумевает, что защитный элемент в нормальном режиме не выполняет функции защищаемого элемента, а переключается на них только в случае отказа.

- Защита 1:N предусматривает выделение одного защитного элемента на N защищаемых. При отказе одного из защищаемых элементов его функции начинает выполнять защитный, при этом остальные элементы остаются без защиты — до тех пор, пока отказавший элемент не будет заменен.

В зависимости от типа защищаемого путем резервирования элемента сети в оборудовании и сетях SDN применяются следующие основные виды автоматической защиты: защитное переключение оборудования, защита карт, защита мультиплексной секции, защита сетевого соединения, разделяемая защита мультиплексной секции в кольцевой топологии.

- Защитное переключение оборудования (EquipmentProtectionSwitching, EPS) — защита блоков и элементов оборудования SDN. Применяется для таких жизненно важных элементов мультиплексора, как процессорный блок, блок коммутации (кросс-коннектор), блок питания, блок ввода сигналов синхронизации и т. п. EPS обычно работает по схеме 1 + 1 или 1:1.

- Защита карт (CardProtection, CP) — защита агрегатных и трибутарных карт мультиплексора; позволяет мультиплексору автоматически продолжать работу в случае отказа одной из агрегатных или трибутарных карт. Используется защита по схемам 1+1, 1:1 и 1:N. Защита 1+1 обеспечивает непрерывность транспортного сервиса, так как трафик пользовательских соединений не прерывается при отказе карты. В приведенном на Рисунок 11.8 примере в мультиплексоре поддерживается защита CP трибутарных двухпортовых карт по схеме 1 + 1. Одна из трибутарных карт является основной, или рабочей, а другая — защитной. Режим работы пары связанных таким образом карт задается командой конфигурирования мультиплексора. В режиме, когда обе трибутарные карты являются работоспособными, трафик обрабатывается параллельно каждой картой.

5.3. СЕТИ DWDM

Список ключевых слов: уплотненное волновое мультиплексирование, лямбда, технология волнового мультиплексирования, частотный план с шагом 100,50 и 25 ГГц, высокоуплотненное волновое мультиплексирование, полностью оптическая сеть, двухточечная цепь, цепь с промежуточными подключениями, оптический мультиплексор ввода-вывода, кольцевая топология, ячеистая топология, оптический кросс-коннектор, тонкопленочный

фильтр, дифракционная фазовая решетка (дифракционная структура), фазар, оптоэлектронный кросс-коннектор, полностью оптический кросс-коннектор (фотонный коммутатор), микроэлектронная механическая система.

Технология уплотненного волнового мультиплексирования (DenseWaveDivisionMultiplexing, DWDM) предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях. Такой революционный скачок производительности обеспечивает принципиально иной, нежели у SDH, метод мультиплексирования — информация в оптическом волокне передается одновременно большим количеством световых волн — лямбд — термин возник в связи с традиционным для физики обозначением длины волны λ .

Сети DWDM работают по принципу коммутации каналов, при этом каждая световая волна представляет собой отдельный спектральный канал и несет собственную информацию.

Оборудование DWDM не занимается непосредственно проблемами передачи данных на каждой волне, то есть способом кодирования информации и протоколом ее передачи. Его основными функциями являются операции мультиплексирования и демультимплексирования, а именно — объединение различных волн в одном

световом пучке и выделение информации каждого спектрального канала из общего сигнала. Наиболее развитые устройства DWDM могут также *коммутировать* волны.

ВНИМАНИЕ

Технология DWDM является революционной не только потому, что в десятки раз повышает верхний предел скорости передачи данных по оптическому волокну. Она также открывает новую эру в технике мультиплексирования и коммутации, выполняя эти операции над световыми сигналами без преобразования их в электрическую форму. Все другие типы технологий, которые также используют световые сигналы для передачи информации по оптическим волокнам, например SDH и GigabitEthernet, обязательно преобразуют световые сигналы в электрические и только потом могут их мультиплексировать и коммутировать.

Первым применением технологии DWDM были протяженные магистрали, предназначенные для связи двух сетей SDH. При такой простейшей двухточечной топологии способность устройств DWDM выполнять коммутацию волн является излишней, однако по мере развития технологии и усложнения топологии сетей DWDM эта функция становится востребованной.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

Сегодня оборудование DWDM позволяет передавать по одному оптическому волокну 32 и более волн разной длины в окне прозрачности 1550 нм, при этом каждая волна может переносить информацию со скоростью до 10 Гбит/с (при применении протоколов технологий STM или 10 GigabitEthernet для передачи информации на каждой волне). В настоящее время ведутся работы по

повышению скорости передачи информации на одной длине волны до 40-80 Гбит/с.

У технологии DWDM имеется предшественница — технология волнового мультиплексирования (WaveDivisionMultiplexing, WDM), которая использует четыре спектральных канала в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм с разносом несущих в 800-400 ГГц. (Поскольку стандартной классификации WDM не существует, то встречаются системы WDM с другими характеристиками.)

Мультиплексирование DWDM называется «уплотненным» из-за того, что в нем используется существенно меньшее расстояние между длинами волн, чем в WDM. На сегодня рекомендацией G.692 сектора ITU-T определены два *частотных плана* (то есть набора частот, отстоящих друг от друга на некоторую постоянную величину):

- частотный план с разнесением частот между соседними каналами 100 ГГц ($\Delta\lambda=0,8$ нм), в соответствии с которым для передачи данных применяется 41 волна в диапазоне от 1528,77 (196,1 ТГц) до 1560,61 нм (192,1 ТГц);
- частотный план с шагом 50 ГГц ($\Delta\lambda=0,4$ нм), позволяющий передавать в этом же диапазоне 81 длину волны.

Некоторыми компаниями выпускается также оборудование, называемое оборудованием высокоуплотненного волнового мультиплексирования (High-DenseWDM, HDWDM), способное работать с частотным планом с шагом 25 ГГц (сегодня это чаще всего экспериментальные образцы, а не серийная продукция).

Реализация частотных планов с шагом 50 ГГц и 25 ГГц предъявляет гораздо более жесткие требования к оборудованию DWDM, особенно в том случае, если каждая волна переносит сигналы со скоростью модуляции 10 Гбит/с и выше (STM-64, 10GE или STM-256). Еще раз подчеркнем, что сама технология DWDM (как и WDM) не занимается непосредственно кодированием переносимой на каждой волне информации — это проблема более высокоуровневой технологии, которая пользуется предоставленной ей волной по своему усмотрению и может передавать на этой волне как дискретную, так и аналоговую информацию. Такими технологиями могут быть SDH или 10 GigabitEthernet. Теоретически зазоры между соседними волнами в 50 ГГц и даже 25 ГГц позволяют передавать данные со скоростями 10 Гбит/с, но при этом нужно обеспечить высокую точность частоты и минимально возможную ширину спектра несущей волны, а также снизить уровень шумов, чтобы минимизировать эффект перекрытия спектра (Рисунок 73).

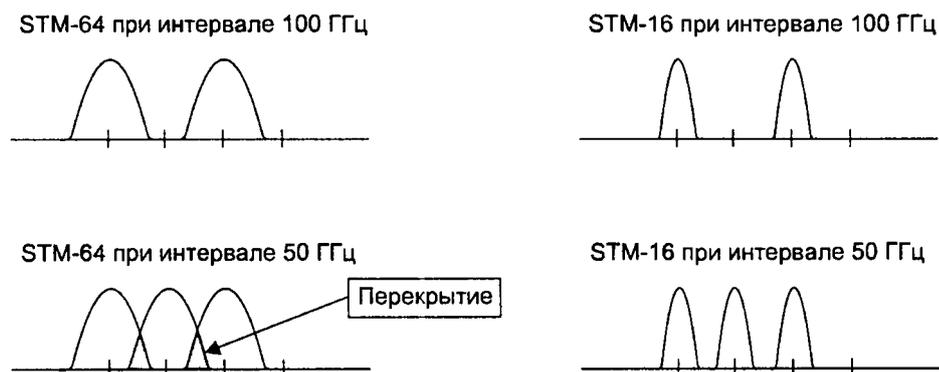


Рисунок 73. Перекрытие спектра соседних волн для разных частотных планов и скоростей передачи данных

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

Практический успех технологии DWDM, оборудование которой уже работает на магистралях многих ведущих мировых операторов связи, во многом определило появление волоконно-оптических усилителей. Эти оптические устройства непосредственно усиливают световые сигналы в диапазоне 1550 нм, исключая необходимость промежуточного преобразования их в электрическую форму, как это делают регенераторы, применяемые в сетях SDH. Системы электрической регенерации сигналов весьма дороги и, кроме того, зависят от протокола, так как они должны воспринимать определенный вид кодирования сигнала. Оптические усилители, «прозрачно» передающие информацию, позволяют наращивать скорость магистрали без необходимости модернизировать усилительные блоки.

Протяженность участка между оптическими усилителями может достигать 150 км и более, что обеспечивает экономичность создаваемых магистралей DWDM, в которых длина мультиплексной секции составляет на сегодня 600-3000 км при применении от 1 до 7 промежуточных оптических усилителей.

В рекомендации ITU-TG.692 определены три типа усилительных участков, то есть участков между двумя соседними мультиплексорами DWDM:

- **L (Long)** — участок состоит максимум из 8 пролетов волоконно-оптических линий связи и 7 оптических усилителей, максимальное расстояние между усилителями — до 80 км при общей максимальной протяженности участка 640 км;
- **V (Verylong)** — участок состоит максимум из 5 пролетов волоконно-оптических линий связи и 4 оптических усилителей, максимальное расстояние между усилителями — до 120 км при общей максимальной протяженности участка 600 км;
- **U (Ultralong)** — участок без промежуточных усилителей длиной до 160 км.

Ограничения на количество пассивных участков и их длину связаны с деградацией оптического сигнала при его оптическом усилении. Хотя оптический усилитель восстанавливает мощность сигнала, он не полностью

компенсирует эффект хроматической дисперсии (то есть распространения волн разной длины с разной скоростью, из-за чего сигнал на приемном конце волокна «размазывается»), а также другие нелинейные эффекты. Поэтому для построения более протяженных магистралей необходимо между усилительными участками устанавливать DWDM-мультиплексоры, выполняющие регенерацию сигнала путем его преобразования в электрическую форму и обратно. Для уменьшения нелинейных эффектов в системах DWDM применяется также ограничение мощности сигнала.

Оптические усилители используются не только для увеличения расстояния между мультиплексорами, но и внутри самих мультиплексоров. Если мультиплексирование и кросс-коммутация выполняются исключительно оптическими средствами, без преобразования в электрическую форму, то сигнал при пассивных оптических преобразованиях теряет мощность и его нужно усиливать перед передачей в линию.

Новые исследования привели к появлению усилителей, работающих в так называемом L-диапазоне (4-е окно прозрачности), от 1570 до 1605 нм. Использование этого диапазона, а также сокращение расстояния между волнами до 50 ГГц и 25 ГГц позволяет нарастить количество одновременно передаваемых длин волн до 80-160 и более, то есть обеспечить передачу трафика со скоростями 800 Гбит/с- 1,6 Тбит/с в одном направлении по одному оптическому волокну. С успехами DWDM связано еще одно перспективное технологическое направление — **полностью оптические сети**. В таких сетях все операции по мультиплексированию/демультиплексированию, вводу-выводу и кросс-коммутации (маршрутизации) пользовательской информации выполняются без преобразования сигнала из оптической формы в электрическую. Исключение преобразований в электрическую форму позволяет существенно удешевить сеть. Однако возможности оптических технологий пока еще недостаточны для создания полностью оптических масштабных сетей, поэтому их практическое применение ограничено фрагментами, между которыми выполняется электрическая регенерация сигнала.

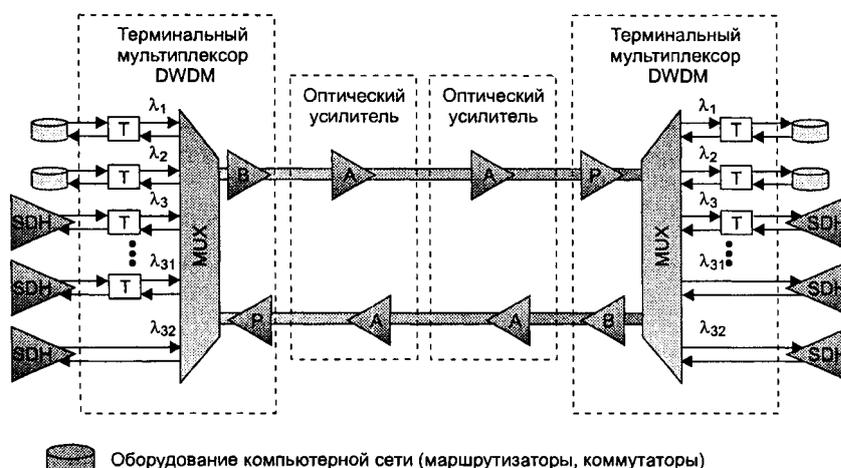


Рисунок 74. Сверхдальняя двухточечная связь на основе терминальных мультиплексоров DWDM

Для организации такой магистрали достаточно в ее конечных точках установить терминальные мультиплексоры DWDM, а в промежуточных точках — оптические усилители, если этого требует расстояние между конечными точками.

В приведенной на Рисунок 74 схеме дуплексный обмен между абонентами сети происходит за счет однонаправленной передачи всего набора волн по двум волокнам. Существует и другой вариант работы сети DWDM, когда для связи узлов сети используется одно волокно. Дуплексный режим достигается путем двунаправленной передачи оптических сигналов по волокну — половина волн частотного плана передают информацию в одном направлении, половина — в обратном.

Естественным развитием топологии двухточечной цепи является **цепь с промежуточными подключениями**, в которой промежуточные узлы выполняют функции мультиплексоров ввода-вывода (Рисунок 75).

Оптические мультиплексоры ввода-вывода (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM) могут вывести из общего оптического сигнала волну определенной длины и ввести туда сигнал этой же длины волны, так что спектр транзитного сигнала не изменится, а соединение будет выполнено с одним из абонентов, подключенных к промежуточному мультиплексору. OADM может выполнять операции ввода-вывода волн оптическими средствами или путем промежуточного преобразования в электрическую форму. Обычно полностью оптические (пассивные) мультиплексоры ввода-вывода могут отводить небольшое число волн, так как каждая операция вывода требует последовательного прохождения оптического сигнала через оптический фильтр, который вносит дополнительное затухание. Если же мультиплексор выполняет электрическую регенерацию сигнала, то количество выводимых волн может быть любым в пределах имеющегося набора волн, так как транзитный оптический сигнал предварительно полностью демультиплексируется.

Кольцевая топология (Рисунок 76) обеспечивает живучесть сети DWDM за счет резервных путей. Методы защиты трафика, применяемые в DWDM, аналогичны методам SDH (хотя в DWDM они пока не стандартизованы). Для того чтобы какое-либо соединение было защищено, между его конечными точками устанавливаются два пути — основной и резервный. Мультиплексор конечной точки сравнивает два сигнала и выбирает сигнал лучшего качества (или сигнал, заданный по умолчанию).

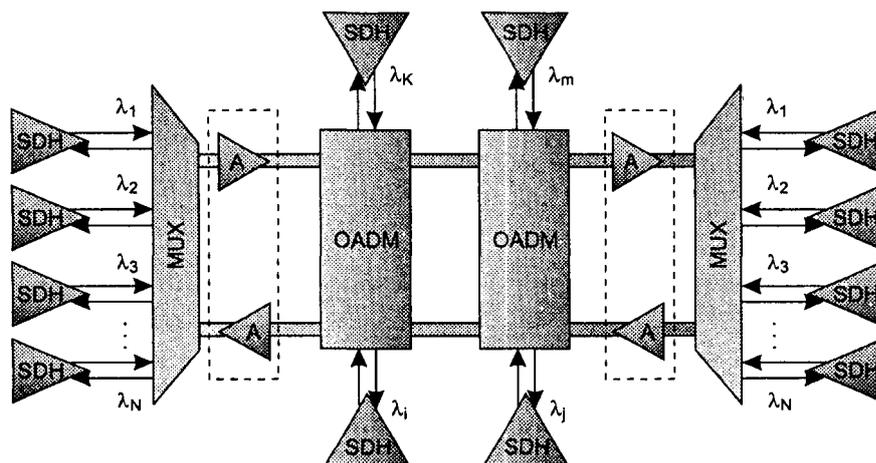


Рисунок 75. Цепь DWDMс вводом-выводом в промежуточных узлах

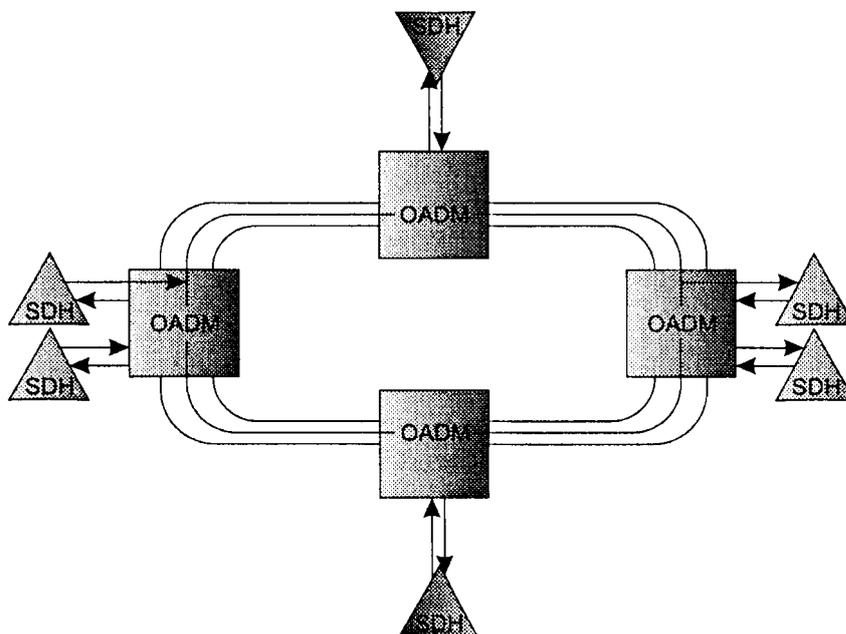


Рисунок 76. Кольцо мультиплексоров DWDM

По мере развития сетей DWDM в них все чаще будет применяться **ячеистая топология** (Рисунок 77), которая обеспечивает большую гибкость, производительность и отказоустойчивость, чем остальные топологии. Однако для реализации ячеистой топологии необходимо наличие **оптических кросс-коннекторов** (Optical Cross-Connect, OXC), которые не только добавляют волны в общий транзитный сигнал и выводят их оттуда, как это делают мультиплексоры ввода-вывода, но и поддерживают произвольную коммутацию между оптическими сигналами, передаваемыми волнами разной длины.

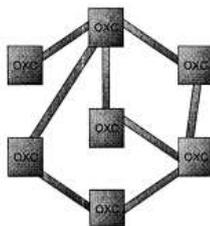


Рисунок 77. Ячеистая топология сети DWDM

ОПТИЧЕСКИЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ ВВОДА-ВЫВОДА

Оптический мультиплексор выполняет операции смешения нескольких длин волн в общий сигнал, а также выделения волн различной длины из общего сигнала.

Для выделения волн в мультиплексоре могут использоваться разнообразные оптические механизмы. В оптических мультиплексорах, поддерживающих сравнительно небольшое количество длин волн в волокне, обычно 16 или 32, применяются тонкопленочные фильтры. Они состоят из пластин с многослойным покрытием, в качестве которых на практике используется торец оптического волокна, скошенный под углом 30-45°, с нанесенными на него слоями покрытия. Для систем с большим числом волн требуются другие принципы фильтрации и мультиплексирования.

В мультиплексорах DWDM применяются интегрально выполненные дифракционные фазовые решетки, или дифракционные структуры (ArrayedWaveguideGrating, AWG). Функции пластин в них выполняют оптические волноводы или волокна. Приходящий мультиплексный сигнал попадает на входной порт (Рисунок 78, а). Затем этот сигнал проходит через волновод-пластину и распределяется по множеству волноводов, представляющих дифракционную структуру AWG. По-прежнему сигнал в каждом из волноводов остается мультиплексным, а каждый канал ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$) остается представленным во всех волноводах.

Далее происходит отражение сигналов от зеркальной поверхности, и в итоге световые потоки вновь собираются в волноводе-пластине, где происходит их фокусировка и интерференция — образуются пространственно - разнесенные интерференционные максимумы интенсивности, соответствующие разным каналам. Геометрия волновода-пластины, в частности расположение выходных полюсов, и значения длины волноводов структуры AWG рассчитываются таким образом, чтобы интерференционные максимумы совпадали с выходными полюсами. Мультиплексирование происходит обратным путем.

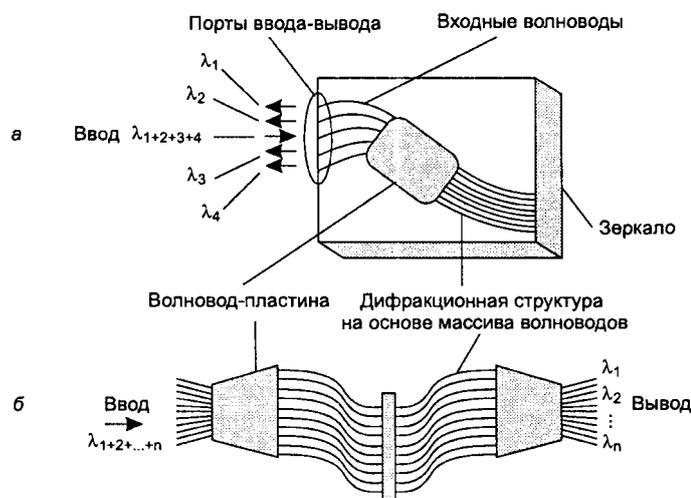


Рисунок 78. Полное демультиплексирование сигнала с помощью дифракционной фазовой решетки

Другой способ построения мультиплексора базируется не на одной, а на паре волноводов-пластин (Рисунок 78, б). Принцип действия такого устройства аналогичен предыдущему случаю за исключением того, что здесь для фокусировки и интерференции используется дополнительная пластина.

Интегральные решетки AWG (называемые также фазарами) стали одними из ключевых элементов мультиплексоров DWDM. Они обычно применяются для полного демultipлексирования светового сигнала, так как хорошо масштабируются и потенциально могут успешно работать в системах с сотнями спектральных каналов.

ОПТИЧЕСКИЕ КРОСС-КОННЕКТОРЫ

В сетях с ячеистой топологией необходимо обеспечить гибкие возможности для изменения маршрута следования волновых соединений между абонентами сети. Такие возможности предоставляют оптические кросс-коннекторы, позволяющие направить любую из волн входного сигнала каждого порта в любой из выходных

портов (конечно, при условии, что никакой другой сигнал этого порта не использует эту волну, иначе необходимо выполнить трансляцию длины волны).

Существуют оптические кросс-коннекторы двух типов:

- оптоэлектронные кросс-коннекторы с промежуточным преобразованием в электрическую форму;
- полностью оптические кросс-коннекторы, или фотонные коммутаторы.

Исторически первыми появились оптоэлектронные кросс-коннекторы, за которыми и закрепилось название оптических кросс-коннекторов. Поэтому производители полностью оптических устройств этого типа стараются использовать для них отличающиеся названия — фотонные коммутаторы, маршрутизаторы волн, или лямбда-маршрутизаторы. У оптоэлектронных кросс-коннекторов имеется принципиальное ограничение — они хорошо справляются со своими обязанностями при работе на скоростях до 2,5 Гбит/с, но, начиная со скорости 10 Гбит/с и выше, габариты таких устройств и потребление энергии превышают допустимые пределы. Фотонные коммутаторы свободны от такого ограничения.

В фотонных коммутаторах используются различные оптические механизмы, в том числе дифракционные фазовые решетки и микроэлектронные механические системы (Micro-ElectroMechanicalSystems, MEMS).

Система MEMS представляет собой набор подвижных зеркал очень маленького (с диаметром менее миллиметра) размера (Рисунок 79). Коммутатор на основе MEMS применяется после демultipлексора, когда исходный сигнал уже разделен на составляющие волны. За счет поворота микрозеркала на заданный угол исходный луч определенной волны направляется в соответствующее выходное волокно. Затем все лучи мультиплексируются в общий выходной сигнал.

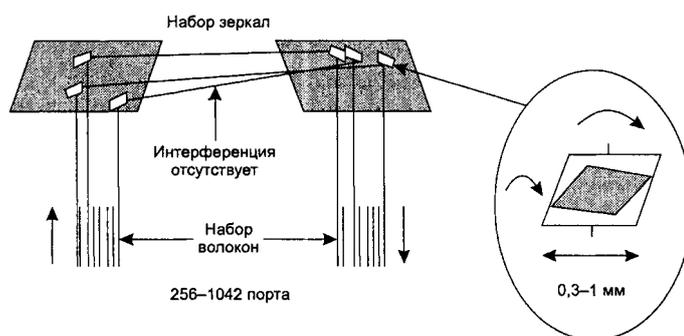


Рисунок 79. Микроэлектронная механическая система кросс-коммутации

По сравнению с оптоэлектронными кросс-коннекторами фотонные коммутаторы занимают объем в 30 раз меньше и потребляют примерно в 100 раз меньше энергии. Однако этот тип устройств обладает низким быстродействием и чувствительностью к вибрации. Тем не менее системы MEMS находят широкое применение в новых моделях фотонных коммутаторов. Сегодня подобные устройства могут обеспечивать коммутацию 256 x 256 спектральных каналов, и планируется выпуск устройств с возможностями коммутации 1024 x 1024 каналов и выше.

ВЫВОДЫ

- Первичные сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро создать постоянные каналы, организующие произвольную топологию.
- В первичных сетях используют технику коммутации каналов различного типа: с частотным (FDM), временным (TDM) и волновым (WDM/DWDM) мультиплексированием.
- В сетях FDM каждому абонентскому каналу выделяется полоса частот шириной 4 кГц. Существует иерархия каналов FDM, при этом 12 абонентских каналов образуют группу каналов первого уровня иерархии (базовую группу) с полосой 48 кГц, 5 каналов первого уровня объединяются в канал второго уровня иерархии (супергруппу) с полосой 240 кГц, а 10 каналов второго уровня составляют канал третьего уровня иерархии (главную группу) с полосой в 2,4 мГц.
- Цифровые первичные сети PDH позволяют образовывать каналы с пропускной способностью от 64 Кбит/с до 140 Мбит/с, предоставляя своим абонентам скорости четырех уровней иерархии.
- Недостатком сетей PDH является невозможность непосредственного выделения данных низкоскоростного канала из данных высокоскоростного канала, если каналы работают на несмежных уровнях иерархии скоростей.
- Асинхронность ввода абонентских потоков в кадр SDH обеспечивается благодаря концепции виртуальных контейнеров и системы плавающих указателей, отмечающих начало пользовательских данных в виртуальном контейнере.

- Мультиплексоры SDH могут работать в сетях с различной топологией: цепи, кольца, ячеистой топологией. Различают несколько специальных типов мультиплексоров, которые занимают специфическое место в сети: терминальные мультиплексоры, мультиплексоры ввода-вывода, кросс-коннекторы.

- В сетях SDH поддерживается большое количество механизмов отказоустойчивости, которые защищают трафик данных на уровне отдельных блоков, портов или соединений: EPS, CP, MSP, SNC-P и MS-SPRing. Наиболее эффективная схема защиты выбирается в зависимости от логической топологии соединений в сети.

- Технология WDM/DWDM реализует принципы частотного мультиплексирования для сигналов иной физической природы и на новом уровне иерархии скоростей. Каждый канал WDM/DWDM представляет собой определенный диапазон световых волн, позволяющих переносить данные в аналоговой и цифровой форме, при этом полоса пропускания канала в 25-50-100 ГГц обеспечивает скорости в несколько гигабит в секунду (при передаче дискретных данных).

- В ранних системах WDM использовалось небольшое количество спектральных каналов, от 2 до 16. В системах DWDM задействовано уже от 32 до 160 каналов на одном оптическом волокне, что обеспечивает скорости передачи данных для одного волокна до нескольких терабит в секунду.

- Современные оптические усилители позволяют удлинить оптический участок линии связи (без преобразования сигнала в электрическую форму) до 700-1000 км.

- Для выделения нескольких каналов из общего светового сигнала разработаны сравнительно недорогие устройства, которые обычно объединяются с оптическими усилителями для организации мультиплексоров ввода-вывода в сетях дальней связи.

- Для взаимодействия с традиционными оптическими сетями (SDH, GigabitEthernet, 10G Ethernet) в сетях DWDM применяются транспондеры и трансляторы длин волн, которые преобразуют длину волны входного сигнала в длину одной из волн стандартного частотного плана DWDM.

- В полностью оптических сетях все операции мультиплексирования и коммутации каналов выполняются над световыми сигналами без их промежуточного преобразования в электрическую форму. Это упрощает и удешевляет сеть.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие недостатки первичных сетей FDM привели к созданию цифровых первичных сетей?

2. Название T-1 обозначает:

- аппаратуру мультиплексирования, разработанную компанией AT&T;
- уровень скорости 1,544 Мбит/с;

- международный стандарт линии связи;
 - способ мультиплексирования цифровых потоков 64 Кбит/с.
3. Какие функции выполняет младший бит каждого байта в канале T-1 при передаче голоса?
 4. Можно ли в сети PDH выделить канал DS-0 непосредственно из канала DS-3?
 5. Какие методы применяются на практике для решения предыдущей проблемы?
 6. Какие механизмы в канале E-1 заменяют «кражу бита» канала T-1?
 7. Почему первичные сети обеспечивают высокое качество обслуживания всех видов трафика?
 8. Какое свойство технологии PDH отражает слово «плезиохронная»?
 9. Каким образом компенсируется отсутствие синхронности трибутарных потоков в технологии SDH?
 10. Какое максимальное количество каналов E-1 может мультиплексировать кадр STM-1?
 11. Сколько каналов T-1 может мультиплексировать кадр STM-1, если в нем уже мультиплексировано 15 каналов E-1?
 12. Какие уровни стека протоколов SDH отвечают за реконfigurирование сети в случае отказов оборудования?
 13. Какова максимальная скорость канала передачи данных между регенераторами SDH?
 14. По какой причине в кадре STM-1 используется три указателя?
 15. С какой целью в технологиях PDH и SDH используется чередование байтов?
 16. В чем отличие схем защиты 1+1 и 1:1? Варианты ответов:
 - в схеме 1 + 1 два потока мультиплексируются в один, а в схеме 1:1 нет;
 - схема 1 + 1 говорит о том, что резервный элемент выполняет те же функции, что и основной, а в схеме 1:1 резервный элемент простаивает до момента выхода из строя основного;
 - схема 1 + 1 используется для защиты портов, а схема 1:1 — для защиты путей трафика.
 17. При каких условиях защита MS-SPRing более эффективна, чем SNC-R?
 18. Что общего между первичными сетями FDM и DWDM?
 19. К какому типу сетей относятся сети DWDM — аналоговым или цифровым?
 20. С какой целью в сетях DWDM используются регенераторы, преобразующие оптический сигнал в электрический?
 21. Назовите причины ухудшения качества оптического сигнала при передаче через большое количество пассивных участков DWDM?
 22. Какие принципы коммутации световых сигналов используют оптические кросс-коннекторы?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 6. Параметры неэкранированных витых пар категории 6

Частота, МГц	Затухание, дБ/100 м	NEXT, дБ	ACR, дБ/100 м
1	2,3	62	60
10	6,9	47	41
100	23,0	38	23
300	46,8	31	4

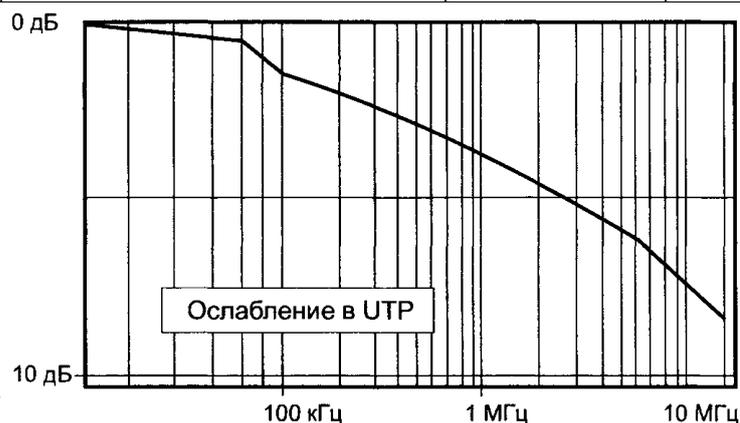


Рисунок 80. Зависимость ослабления сигнала от частоты для неэкранированной витой пары

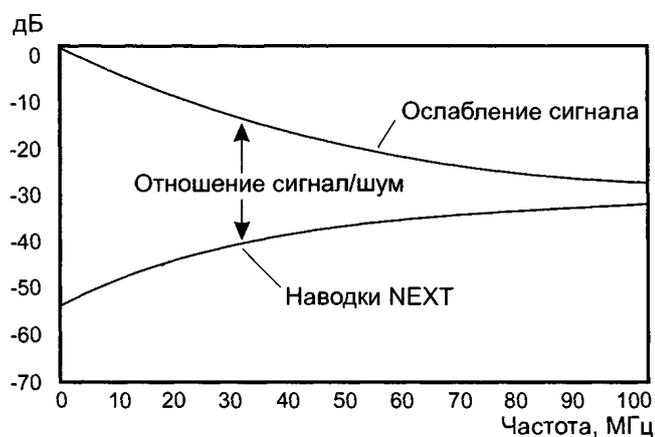


Рисунок 81. Зависимость отношения сигнал/шум от частоты с учетом ослабления наводок на ближнем конце кабеля для неэкранированной витой пары 5-й категории

Таблица 7. Характеристики прохождения сигналов в каналах различных категорий

Категория* кабеля	Сопротивление по постоянному току (L - 300 м)	Ослабление, дБ/частота, МГц	NEXT, дБ/частота, МГц
3	128,4	17/4 30/10 40/16	32/4 26/10 23/16
4	128,4	13/4 22/10 27/16 31/20	47/4 41/10 38/16 36/20
5	128,4	13/4 20/10 25/16 28/20 67/100	I 53/4 47/10 44/16 742/20 32/100

Таблица 8. Характеристики каналов, базирующихся на обычном и широкополосном коаксиальном кабелях

Параметры	Стандартный кабель	Широкополосный кабель
Максимальная длина канала, км	2	10-15
Скорость передачи данных, Мбит/с	1-50	100-140
Режим передачи	Полудуплекс	Дуплекс
Ослабление влияния электромагнитных и радиочастотных наводок, дБ	50	85
Число подключений 1	Более 50 устройств	1500 каналов с одним или более устройств на канал

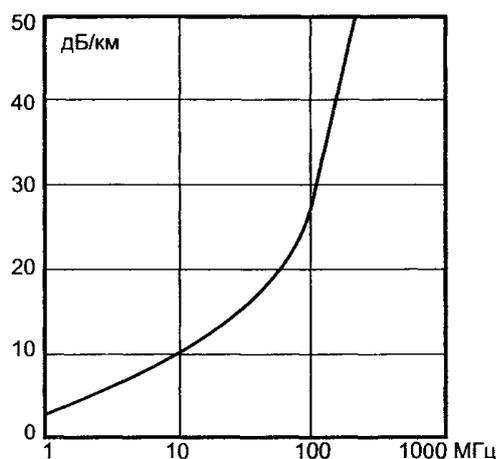


Рисунок 82. Зависимость ослабления сигнала в кабеле от его частоты

Таблица 9. Характеристики светодиодов и инжекционных лазерных диодов

Параметры	Светодиод (led)	Инжекционные лазерные
Выходная мощность, мВт	0,5-11,5	3-10
Время нарастания, нс	1-20	1-2
Диапазон тока смещения, мА	5-150	100-500

Таблица 10. Характеристики оптических приемников

Параметры	рiп	Лавинный фотодиод	Фототранзистор	Фотоприемник Дарлингтона
Чувствительность, мкА/мкВт	0,5	15	35	180
Время нарастания	1 нс	2нс	2 мкс	40 мкс
Напряжение смещения, В	10	100	10	10

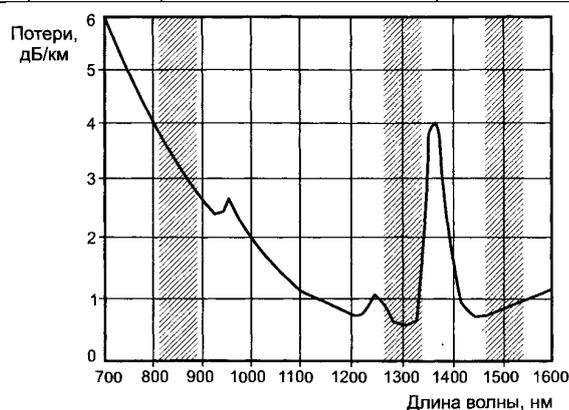


Рисунок 83. Зависимость поглощения света в волокне от длины волны

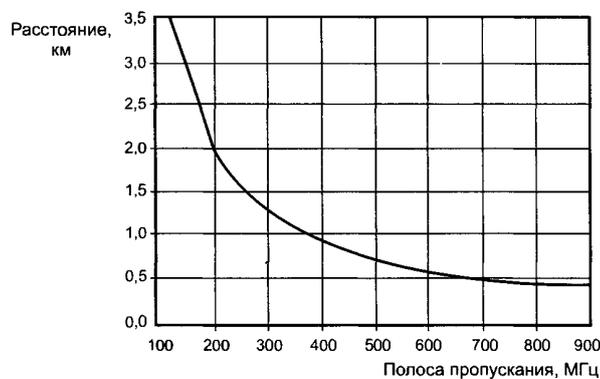


Рисунок 84. Зависимость полосы пропускания волокна от его длины

Таблица 11. Типовые характеристики оптических волокон

Тип волокна	Диаметр ядра, мкм	Диаметр клэдинга, мкм	A*	Затухание, дБ/км			Полоса пропускания, МГц/км
				850	1300	1550	
Длина волны, нм							
Одномодовое	9,3 8,1	125 ; 125	0,13 0,17		0,4 0,5	0,3 0,25	5000 для 850 нм
Со сглаженным индексом	50 62,5 85	125 125 125	0,2 0,275 0,26	2,4 3,0 2,8	0,6 0,7 0,7	0,5 0,3 0,4	600 для 850 нм; 1500 для 1300 нм
Ступенчатый индекс	200	380	0,27	6,0			6 при 850 нм

Таблица 12. Основные характеристики средств проводной связи

Показатели	Среда передачи данных		
	Витая пара	Коаксиальный кабель	Оптоволоконный кабель
Цена	Невысокая	Относительно высокая	Высокая
Наращивание	Очень простое	Проблематично	Простое
Защита от прослушивания	Незначительная	Хорошая	Высокая
Проблемы с заземлением	Нет	Возможны	Нет
Восприимчивость к помехам	Существует	Существует	Отсутствует

Таблица 13. Дополнительные характеристики кабельных компонент

Показатели	10BASE-T(Ethernet)	100BASE-TX(FastEthernet)	100BASE-T4(FastEthernet)	100BASE-FX(FastEthernet)	1000BASE-FX(GigabitEthernet)
Требуемое число пар	2	2	4	Неприменимо	Неприменимо
Категория кабеля	3/4/5	5	3/4/5	Оптоволоконный	Оптоволоконный

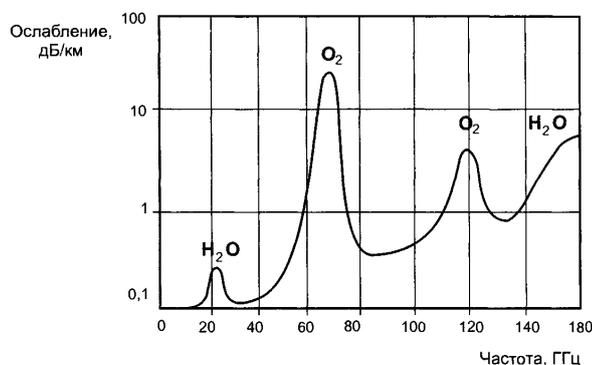


Рисунок 85. Зависимость поглощающей способности земной атмосферы от длины волны

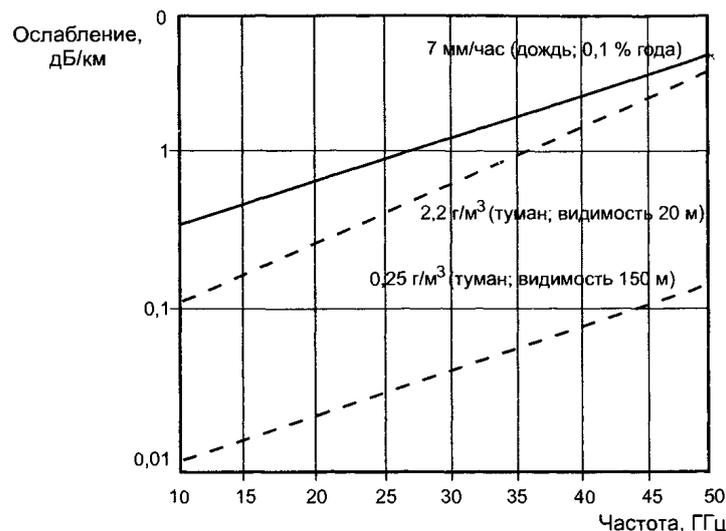


Рисунок 86. Зависимость поглощения радиоволн в тумане и дожде от частоты

Таблица 14. Характеристики стандартов семейства 802.11

Характеристики	Стандарты			
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Когда принят	Июль 1999	Июль 1999 г.	Июнь 2003 г.	Обсуждается
Максимальная скорость, Мбит/с	54 OFDM	11	54	600
Метод модуляции	OFDM	DSSS или CCK	DSSS или CCK, или OFDM	DSSS или CCK, или OFDM
Диапазон радиочастот, ГГц	5,0	2,4	2,4	2,4-5,0
Число пространственных потоков	1	1	1	1, 2, 3 или 4
Ширина канала, МГц	20	20	20	20-40

Таблица 15. Диапазоны частот спутниковых систем связи

Наименования диапазонов	Полосы частот, ГГц	Длины волн, см
L	1,452-1,500 и 1,61-1,71	20,0-20,7 и 17,5-18,6
S	1,93-2,70	11,1-15,5
C	3,40-5,25 и 5,725-7,075	5,71-8,8 и 4,24-5,24
Ки	10,70-12,75 и 12,75-14,80	2,35-2,8 и 2,02-2,35
Ка	14,80-26,50 и 27,00-50,20	1,13-2,02 и 0,59-1,11
К	84,00-86,00	0,34-0,35

ГЛОССАРИЙ

Arcnet — сеть магистральной или иерархической топологии, скорость — 2,5 Мбит/с, максимальное число узлов — 255, максимальная длина — 6600 м.

Ethernet — сеть с общей шиной, скорость — 10 Мбит/с, максимальная длина сегмента — 500 м, максимальная длина сети — 2500 м, максимум 100 компьютеров на сегмент.

FTP-программные средства (FTPSoftware) — программные средства (клиенты и серверы), обеспечивающие взаимодействие в Internet по протоколу FTP.

HTML — язык разметки документов с целью организации гипертекстовых связей и проектирования интерфейсов.

HTTP-программные средства (HTTPSoftware) — программные средства (клиенты, серверы, интерпретаторы скриптов), поддерживающие информационный обмен в сети WWW.

Internet — глобальное сообщество мировых сетей, использующих стандартные технологии и протоколы передачи данных.

IP-пакет — пакет данных, передаваемых по стандартам IP.

ISDN — единая сеть цифровой связи (англ. ISDN, фр. RNIS, NUMERIS), обеспечивает передачу всех видов информации (звук, изображения, текст) и интегрирует телефон, факс, видео, телетекст и пр.; скорость передачи 64 бит/с.

PPP-фрейм — информационная единица канального уровня, состоящая из идентификатора протокола, заголовка и «хвоста».

TCP-пакет (TCPPackage) — пакет данных, заголовок которого указывает на TCP-порты получателя и источника информации, а также содержит номер пакета в последовательности пакетов и другую управляющую информацию.

TokenRing — сеть кольцевой топологии, максимальная скорость 4 Мбит/с, максимальное число узлов — 260.

UDP-грамма (UDP Datagram) — блок данных, которым обменивается модуль IP с модулем UDP.

WWW (WorldWideWeb) — информационная технология, построенная по принципу гипертекста и объединяющая информационные системы и сети.

WWW-технологии (WWW Applications) — информационные технологии, реализующие доступ к информации в сети WWW.

Адаптер сетевой (Networking Adapter) — устройство, реализующее связь компьютера с сетевым кабелем.

Бод (baud), бит/с (bps) — единица измерения скорости передачи данных по сети.

Выделенная линия — высокоскоростная линия (как правило, телефонная), выделенная для подключения к сети.

Доменная система имен DNS (DomainNameSystem) — используемые в Internet протокол и система обозначений для сопоставления адресов IP и имен, понятных пользователю. Система DNS иногда называется службой BIND.

Интерфейс (Interface) — совокупность технических и программных средств визуализации информации и ввода данных, обеспечивающая интерактивное взаимодействие пользователя с системой.

Кодирование (Coding) — установление согласованного (узаконенного) соответствия между набором символов и сигналами или битовыми комбинациями, представляющими каждый символ для целей передачи, хранения или обработки данных.

Линия ISDN (Integrated Services Digital Network) — подключение к Internet, созданное поставщиком услуг Internet. Линия удаленного доступа ISDN может работать с быстрой скоростью до 128 000 бит/с.

Модем (Modem) ~ устройство преобразования цифровой информации в аналоговую и обратно посредством модуляции/демодуляции несущей частоты для передачи данных по телефонным линиям.

Протокол ARP (ARP (Adres Resolution Protocol)) — протокол, используемый в локальных сетях для отображения IP-адреса в адрес Ethernet.

Протокол FTP (FTP (File Transfer Protocol)) — протокол передачи файлов, использующий управляющий канал и канал передачи данных.

Протокол Gopher (Gopher Protocol) — протокол прикладного уровня, обеспечивающий обмен между клиентом и сервером для доступа к ресурсам распределенной файловой системы Gopher.

Протокол HTTP (HTTP (HyperText Transfer Protocol)) — протокол прикладного уровня, разработанный для обмена гипертекстовой информацией в WWW, используется с 1990 г.

Протокол IMAP (IMAP) — протокол разбора почты (Interactive Mail Access Protocol), по своим возможностям похож на POP3, но более надежен и обеспечивает поиск нужного сообщения, а также разбор заголовков сообщения.

Протокол IP (IP Protocol) — базовый протокол Internet (Internet Protocol), реализующий передачу пакетов в соответствии с таблицей маршрутов.

Протокол POP3 (POP3 Protocol) — протокол электронной почты (Post Office Protocol), предназначен для разбора почтовых ящиков пользователей и отправки почты на их рабочие места с помощью программ-клиентов.

Протокол PPP (PPP Protocol) — протокол управления передачей по коммутируемым и выделенным каналам связи (Point to Point Protocol), информация инкапсулируется в PPP-фреймы.

Протокол RIP (RIP Protocol) — протокол автоматического обновления таблицы маршрутов (Routing Information Protocol) в Internet, использующий информацию о состоянии сети, рассылаемую маршрутизаторами.

Протокол SLIP (SLIP Protocol) — протокол, применяемый на выделенных и коммутируемых каналах телефонной связи на скоростях от 1200 до 19 200 бод (Serial Line Internet Protocol), RFC-1055.

Протокол SMTP (SMTP Protocol) — протокол для работы электронной почты в Internet (Simple Mail Transport Protocol), использующий принцип установления двусторонней связи между отправителем (клиент) и получателем (сервер).

Протокол TCP (TCP Protocol) — протокол транспортный (Transport Control Protocol) с гарантированной доставкой путем установления соединения в виде байтовых потоков.

Протокол Telnet (Telnet Protocol) — протокол типа «клиент — сервер» для организации доступа удаленного терминала к хосту, обмена терминал — терминал и организации распределенных вычислений (хост — хост).

Протокол UDP (UDPProtocol) — транспортный протокол (UserDatagramProtocol), использующий логические UDP-порты; протокол ненадежной доставки.

Литература

1. Попов И.И., Максимов Н.В. Компьютерные сети: Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2010

2. Пескова С.А. Сети и телекоммуникации: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений – М.:4-е изд; Издательский центр «Академия», 2009

Дополнительные источники:

3. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 4-е издание СПб: Питер, 2010 – 943 с.: ил.

4. В.В. Ломовитский, А.И. Михайлов, К.В.Шестак, В.М.Щекотихин; под ред В.М.Щекотихина–учебное пособие для ВУЗов М.: Горячая линия – Телеком,2005.- 382с.:ил.

5. Ватаманюк А.И. Беспроводная сеть своими руками СПб: Питер, 2006 – 672 с.: ил.

Интернет ресурсы

<http://www.studfiles.ru/dir/cat32/subj61/file69/view316.html>

http://kunegin.narod.ru/ref/sod_lec.htm

<http://www.twirpx.com/file/748648/>

<http://www.compress.ru/article.aspx?id=11849&iid=460>