

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации  
и переподготовки

Кафедра «Профессиональная переподготовка»

В. А. Бельский

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ**

### **ПОСОБИЕ**

по одноименной дисциплине для слушателей  
специальностей переподготовки  
1-40 01 74 «Web-дизайн и компьютерная графика»  
и 1-40 01 73 «Программное обеспечение  
информационных систем»  
заочной формы обучения

### **ЧАСТЬ 1**

Гомель 2020

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.971.35я73  
Б44

*Рекомендовано кафедрой «Профессиональная переподготовка»  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 10 от 29.05.2020 г.)*

Рецензент: проф. каф. «Информатика» ГГТУ им. П. О. Сухого  
д-р техн. наук, профессор *В. П. Кудин*

**Бельский, В. А.**

Б44

Компьютерные сети : пособие по одной дисциплине для слушателей специальностей переподготовки 1-40 01 74 «Web-дизайн и компьютерная графика» и 1-40 01 73 «Программное обеспечение информационных систем» заоч. формы обучения. Ч. 1 / В. А. Бельский. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2020. – 65 с. – Системные требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены некоторые важные вопросы организации компьютерных сетей: эволюция сетей, виды вычислительных сетей, программное обеспечение и оборудование, обобщенная задача коммутации, коммутация каналов и пакетов, организация Интернета. Даны контрольные вопросы, обращающие внимание на наиболее значимые понятия.

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.971.35я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Глава №1. История и эволюция компьютерных сетей .....	4
Глава №2. Общие принципы построения компьютерных сетей .....	20
Глава №3. Сетевое оборудование .....	26
Глава №4. Сетевое программное обеспечение .....	36
Глава №5. Обобщенная задача коммутации.....	42
Глава №6. Коммутация каналов. Коммутация пакетов .....	51
Литература.....	65

## Глава № 1. История и эволюция компьютерных сетей

*Основные понятия: компьютерные сети, вычислительные сети, распределенные системы, системы разделения времени, пакетная обработка, сетевые технологии.*

### Введение

Компьютерные сети не являются единственным примером сетей. Многие авторы приводят различные примеры сетей: водопроводы Древнего Рима или, менее экзотический пример, электрические сети. Действительно, все эти сети обладают некоторыми важными общими чертами.

Компьютерные сети также называют сетями передачи данных или вычислительными сетями.

Таким образом, все приведенные выше термины можно считать синонимами. Однако следует прояснить разницу между двумя следующими понятиями: компьютерные сети и распределенные системы. Основное их различие в том, что в распределенной системе наличие многочисленных автономных компьютеров незаметно для пользователя. С его точки зрения, это единая связанная система. Обычно имеется набор программного обеспечения на определенном уровне (над операционной системой), которое называется связующим ПО и отвечает за реализацию этой идеи [1, с. 17]. Хорошо известный пример распределенной системы – это Всемирная паутина.

В компьютерных сетях нет никакой единой модели, нет и программного обеспечения для ее реализации. Пользователи имеют дело с реальными машинами, и со стороны вычислительной системы не осуществляется никаких попыток связать их воедино. Если компьютеры имеют разное аппаратное и программное обеспечение, пользователь не сможет этого не заметить. Если он хочет запустить программу на удаленной машине, ему придется явно зарегистрироваться на ней и явно дать задание на запуск.

На самом деле распределенная система является программной системой, построенной на базе сети. Эта программная система обеспечивает высокую степень связности и прозрачности элементов. Таким образом, различие между компьютерной сетью и распределенной системой заключается в программном обеспечении (особенно в операционной системе), а не в аппаратуре.

## 1.1. Происхождение компьютерных сетей

Компьютерная сеть (Computer NetWork) – это совокупность компьютеров и других устройств, соединенных линиями связи и обменивающихся информацией между собой в соответствии с определенными правилами – протоколом.

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

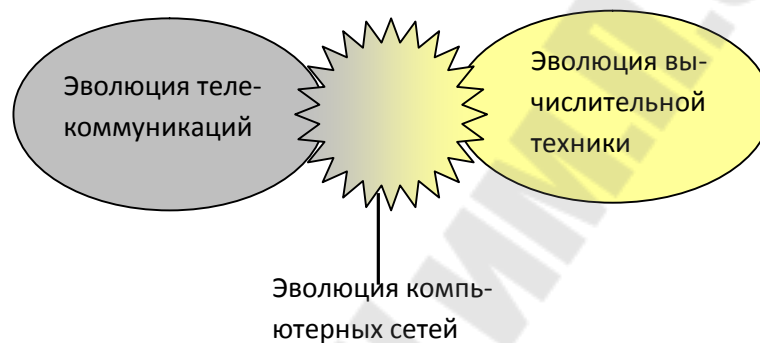


Рис. 1.1. Эволюция компьютерных сетей на стыке вычислительной техники и телекоммуникационных технологий

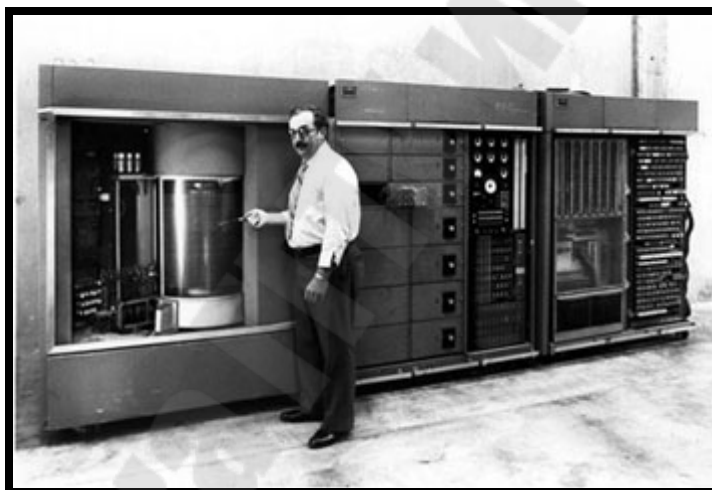
С одной стороны, компьютерные сети представляют собой группу компьютеров, согласованно решающих набор взаимосвязанных задач, обмениваясь данными в автоматическом режиме. С другой стороны, компьютерные сети могут рассматриваться как средство передачи информации на большие расстояния, для чего в них применяются методы кодирования и мультиплексирования данных, получившие развитие в различных телекоммуникационных системах, например телефонных сетях (рис. 1.1).

## 1.2. Системы пакетной обработки

Первые компьютеры были огромными, чрезвычайно дорогими и занимали собой целое здание. Разумеется, они не были предназначены для индивидуального использования, а применялись для пакетной обработки.

Системы пакетной обработки строились на базе мэйнфрейма – мощного компьютера (рис. 1.2). Обычно программы предназначались для выполнения конкретного набора задач и управлялись с панели

оператора, который вручную вводил короткие программы посредством изменения позиции переключателей на панели. Эти программы могли выполняться в течение нескольких часов или даже недель. Но когда скорость компьютеров начала расти, простой машины в связи с вводом очередной программы стал неприемлем. Методология пакетной обработки появилась с целью уменьшить время простоя машины при вводе программы. Одна неверно набитая карта означала как минимум суточную задержку. Конечно, для пользователей интерактивный режим работы, при котором можно с терминала оперативно руководить процессом обработки своих данных, был бы удобнее. Но интересами пользователей на первых этапах развития вычислительных систем в значительной степени пренебрегали. Во главу угла ставилась эффективность работы самого дорогого устройства вычислительной машины – процессора, даже в ущерб эффективности работы использующих его специалистов.



*Рис. 1.2.* Один из первых мейнфреймов IBM System/360. Создан компанией IBM в 1964 году

### **1.3. Системы разделения времени**

По мере удешевления процессоров в начале 60-х годов появились новые способы организации вычислительного процесса, которые позволили учесть интересы пользователей. Начали развиваться интерактивные многотерминальные системы разделения времени.

Разделение времени – способ распределения вычислительных ресурсов между многими пользователями с помощью мультипрограммирования и многозадачности. Появление данной концепции в

начале 1960-х годов и активное развитие в 1970-е годы привело к значительному технологическому прорыву в истории вычислительной техники.

Терминалы, выйдя за пределы вычислительного центра, рассредоточились по всему предприятию. И хотя вычислительная мощность оставалась полностью централизованной, некоторые функции – такие как ввод и вывод данных – стали распределенными. Подобные многотерминальные централизованные системы внешне уже были очень похожи на локальные вычислительные сети. Действительно, рядовой пользователь работу за терминалом мейнфрейма воспринимал примерно так же, как сейчас он воспринимает работу за подключенным к сети персональным компьютером.

Пользователь мог получить доступ к общим файлам и периферийным устройствам, при этом у него поддерживалась полная иллюзия единоличного владения компьютером, так как он мог запустить нужную ему программу в любой момент и почти сразу же получить результат (некоторые далекие от вычислительной техники пользователи даже были уверены, что все вычисления выполняются внутри их дисплея).

Однако до появления локальных сетей нужно было пройти еще большой путь, так как многотерминальные системы, хотя и имели внешние черты распределенных систем, все еще поддерживали централизованную обработку данных.

#### **1.4. Первые глобальные сети**

Хронологически первыми появились глобальные сети (Wide Area Network, WAN), то есть сети, объединяющие территориально рассредоточенные компьютеры, возможно, находящиеся в различных городах и странах.

Началось все с решения более простой задачи – доступа к отдельному компьютеру с терминалов, удаленных от него на многие сотни, а то и тысячи километров. Терминалы соединялись с компьютером через телефонные сети с помощью модемов, позволив многочисленным пользователям получать удаленный доступ к разделяемым ресурсам мощных суперкомпьютеров. Затем появились системы, в которых наряду с удаленными соединениями типа терминал – компьютер были реализованы и удаленные связи типа компьютер – компьютер.

Разнесенные территориально компьютеры получили возможность обмениваться данными в автоматическом режиме, что, собственно, и является базовым признаком любой вычислительной сети.

На основе подобного механизма в первых сетях были реализованы службы обмена файлами, синхронизации баз данных, электронной почты и другие, ставшие теперь традиционными сетевые службы.

Именно при построении глобальных сетей были впервые предложены и отработаны многие основные идеи, лежащие в основе современных вычислительных сетей. Такие, например, как многоуровневое построение коммуникационных протоколов, концепции коммутации и маршрутизации пакетов.

Глобальные компьютерные сети очень многое унаследовали от других, гораздо более старых и распространенных глобальных сетей – телефонных. Главное технологическое новшество, которое привнесли с собой первые глобальные компьютерные сети, состояло в отказе от принципа коммутации каналов, на протяжении многих десятков лет успешно использовавшегося в телефонных сетях.

Выделяемый на все время сеанса связи составной телефонный канал, передающий информацию с постоянной скоростью, не мог эффективно использоваться пульсирующим трафиком компьютерных данных, у которого периоды интенсивного обмена чередуются с продолжительными паузами. Эксперименты и математическое моделирование показали, что пульсирующий и в значительной степени не чувствительный к задержкам компьютерный трафик гораздо эффективнее передается сетями, работающими по принципу коммутации пакетов, когда данные разделяются на небольшие порции – пакеты, которые самостоятельно перемещаются по сети благодаря наличию адреса конечного узла в заголовке пакета.

Так как прокладка высококачественных линий связи на большие расстояния обходится очень дорого, то в первых глобальных сетях часто использовались уже существующие линии связи, изначально предназначенные совсем для других целей. Поскольку скорость передачи дискретных компьютерных данных по таким каналам была очень низкой (десятки килобит в секунду), набор предоставляемых услуг в глобальных сетях подобного типа обычно ограничивался передачей файлов (преимущественно в фоновом режиме) и электронной почтой. Помимо низкой скорости такие каналы имеют и другой недостаток – они вносят значительные искажения в передаваемые сигналы. Поэтому протоколы глобальных сетей, построенных с исполь-



зованием каналов связи низкого качества, отличались сложными процедурами контроля и восстановления данных.

### 1.5. Сеть ARPANet

В 1958 году для проведения и координации научно-исследовательской деятельности в военной области при Министерстве обороны США было выделено специальное Агентство Передовых Исследовательских Проектов (Advanced Research Projects Agency – ARPA).

В 1967 году для создания сети передачи данных было решено использовать разбросанные по всей стране компьютеры ARPA, соединив их обычными телефонными проводами.

В сентябре 1969 года состоялась передача первого компьютерного сообщения между университетами, что фактически ознаменовало рождение сети ARPANet. Эта сеть стала отправной точкой для создания первой и самой известной ныне глобальной сети мирового масштаба – Internet.

Сеть ARPANet объединяла компьютеры разных типов, работавшие под управлением различных операционных систем (ОС) с дополнительными модулями, реализующими коммуникационные протоколы, общие для всех компьютеров сети. ОС этих компьютеров можно считать первыми сетевыми операционными системами.

Сетевые ОС позволили не только рассредоточить пользователей между несколькими компьютерами (как в многотерминальных системах), но и организовать распределенное хранение и обработку данных. Любая сетевая операционная система, с одной стороны, выполняет все функции локальной операционной системы, а с другой стороны, обладает некоторыми дополнительными средствами, позволяющими ей взаимодействовать через сеть с операционными системами других компьютеров.

К декабрю 1969 г. ARPANet насчитывала 4 узла, в июле 1970 г. – восемь, а в сентябре 1971 г. уже 15 узлов.

В 1971 году программистом Рэем Томлисоном разработана система электронной почты, в частности, в адресации впервые использован значок @ («коммерческая эт»).

В 1974 году было открыто первое коммерческое приложение ARPANet – Telnet, обеспечивающее доступ к удаленным компьютерам в режиме терминала.

К 1977 году Сеть объединяла уже десятки научных и военных организаций, как в США, так и в Европе, а для связи использовались уже не только телефонные, но также спутниковые и радиоканалы.

Прогресс глобальных компьютерных сетей во многом определялся прогрессом телефонных сетей. С конца 60-х годов в телефонных сетях все чаще стала применяться передача голоса в цифровой форме. Это привело к появлению высокоскоростных цифровых каналов, соединяющих автоматические телефонные станции (АТС) и позволяющих одновременно передавать десятки и сотни разговоров.

К настоящему времени глобальные сети по разнообразию и качеству предоставляемых услуг догнали локальные сети, которые долгое время лидировали в этом отношении, хотя и появились на свет значительно позже.

### **1.6. Первые локальные сети**

Важное событие, повлиявшее на эволюцию компьютерных сетей, произошло в начале 70-х годов. В результате технологического прорыва в области производства компьютерных компонентов появились большие интегральные схемы (БИС). Их сравнительно невысокая стоимость и хорошие функциональные возможности привели к созданию мини-компьютеров, которые стали реальными конкурентами мейнфреймов.

Даже небольшие подразделения предприятий получили возможность иметь собственные компьютеры. Мини-компьютеры решали задачи управления технологическим оборудованием, складом и другие задачи уровня отдела предприятия. Таким образом, появилась концепция распределения компьютерных ресурсов по всему предприятию. Однако при этом все компьютеры одной организации по-прежнему продолжали работать автономно.

Шло время, потребности пользователей вычислительной техники росли. Их уже не удовлетворяла изолированная работа на собственном компьютере, им хотелось в автоматическом режиме обмениваться компьютерными данными с пользователями других подразделений. Ответом на эту потребность и стало появление первых локальных вычислительных сетей.

*Локальные сети (Local Area Network, LAN)* – это объединения компьютеров, сосредоточенных на небольшой территории, обычно в радиусе не более 1–2 км, хотя в отдельных случаях локальная сеть

может иметь и большие размеры, например, несколько десятков километров. Обычно локальная сеть представляет собой коммуникационную систему, принадлежащую одной организации.

На первых порах для соединения компьютеров друг с другом использовались нестандартные сетевые технологии.

Сетевая технология – это согласованный набор программных и аппаратных средств (например, драйверов, сетевых адаптеров, кабелей и разъемов), а также механизмов передачи данных по линиям связи, достаточный для построения вычислительной сети.

Разнообразные устройства сопряжения, использующие собственные способы представления данных на линиях связи, свои типы кабелей и т. п., могли соединять только те конкретные модели компьютеров, для которых были разработаны.

В середине 80-х годов положение дел в локальных сетях кардинально изменилось. Утвердились стандартные сетевые технологии объединения компьютеров в сеть – Ethernet, Arcnet, Token Ring, Token Bus, несколько позже – FDDI.

Мощным стимулом для их появления послужили персональные компьютеры. Эти массовые продукты стали идеальными элементами построения сетей – с одной стороны, они были достаточно мощными, чтобы обеспечивать работу сетевого программного обеспечения, а с другой – явно нуждались в объединении своей вычислительной мощности для решения сложных задач, а также разделения дорогих периферийных устройств и дисковых массивов. Поэтому персональные компьютеры стали преобладать в локальных сетях, причем не только в качестве клиентских компьютеров, но и в качестве центров хранения и обработки данных, то есть сетевых серверов, потеснив с этих привычных ролей миникомпьютеры и мейнфреймы.

Все стандартные технологии локальных сетей опирались на тот же принцип коммутации, который был с успехом опробован и доказал свои преимущества при передаче трафика данных в глобальных компьютерных сетях – принцип коммутации пакетов.

## 1.7. Технологии Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, Arcnet

Технология *Ethernet* создана фирмой XEROX в 1973 году. Основным принципом, положенным в основу Ethernet – случайный метод доступа к разделяемой среде передачи данных (метод множественного доступа).

Логическая топология сети Ethernet всегда шинная, поэтому данные передаются на все узлы сети. Каждый узел видит каждую передачу и отличает предназначенные ему данные по адресу своего сетевого адаптера. В каждый момент времени только один узел может осуществить успешную передачу, поэтому между узлами должно существовать некое соглашение, как им вместе пользоваться одним кабелем, чтобы не мешать друг к другу. Такое соглашение и определяет стандарт Ethernet.

По мере роста загрузки сети все больше возникает необходимость передавать данные в одно и то же время. Когда такое случается, то две передачи входят в конфликт, заполняя шину информационным мусором. Такое поведение известно под термином «коллизия», то есть возникновение конфликта.

Каждая передающая система, обнаружив коллизию, немедленно прекращает посылать данные, и предпринимаются действия, чтобы исправить эту ситуацию.

Хотя большинство коллизий, которые возникают в типичной сети Ethernet, разрешаются в течение микросекунд и их возникновение естественно и ожидаемо, но основной недостаток заключается в том, что чем больше трафик в сети, тем больше коллизий, тем резко падает производительность сети и может наступить коллапс, то есть сеть забита трафиком.

Технология *Token Ring* была разработана компанией IBM в 1984 году. Технология Token Ring использует совершенно другой метод доступа. Логическая сеть Token Ring имеет кольцевую топологию. Специальное сообщение, известное как маркер (Token) – это специальный трех байтовый пакет, который постоянно циркулирует по логическому кольцу в одном направлении. Когда маркер проходит через узел, готовый передать данные в сеть, он захватывает маркер, присоединяет к нему данные, предназначенные для передачи, и затем передает сообщение снова в кольцо. Сообщение продолжает свое «путешествие» по кольцу до тех пор, пока не достигнет места назначения. Пока сообщение не будет принято, ни один узел не

сможет пересылать данные. Этот метод доступа известен как передача маркера. Он исключает коллизии и произвольные периоды ожидания как Ethernet.

Технология *FDDI (Fiber Distributed Data Interface)* – оптоволоконный интерфейс распределённых данных – это первая технология локальных сетей, в которой средой передачи данных является оптоволоконный кабель. Технология FDDI во многом основывается на технологии Token Ring, развивая и совершенствуя ее основные идеи. Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Наличие двух колец – это основной способ повышения отказоустойчивости в сети FDDI и узлы, которые хотят воспользоваться этим повышенным потенциалом надежности должны быть подключены к обоим кольцам.

В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля только первичного кольца, вторичное кольцо в этом режиме не используется. В случае какого-либо вида отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ узла) первичное кольцо объединяется со вторичным, вновь образуя единое кольцо.

Кольца в сетях FDDI рассматриваются как общая среда передачи данных, поэтому для нее определен специальный метод доступа очень близкий к методу доступа сетей Token Ring. Отличие заключается в том, что время удержания маркера в сети FDDI не является постоянной величиной, как в Token Ring. Оно зависит от загрузки кольца – при небольшой загрузке оно увеличивается, а при больших перегрузках может уменьшаться до нуля для асинхронного трафика. Для синхронного трафика время удержания маркера остаётся фиксированной величиной.

*ATM (Asynchronous Transfer Mode – асинхронный режим передачи)* – самая современная сетевая технология. Она разработана для передачи речи, данных и видео с использованием высокоскоростного, ориентированного на установление соединения протокола с коммутацией ячеек.

В отличие от других технологий трафик ATM разбивается на 53-байтовые ячейки (cells). Применение структуры данных предопределенного размера делает сетевой трафик более легко измеряемым количественно, предсказуемым и управляемым. ATM построена на

передаче информации по оптоволоконному кабелю с использованием звездообразной топологии.

*ARCNET* (или *ARCnet*, от англ. *Attached Resource Computer Network*) — технология ЛВС, назначение которой аналогично назначению Ethernet и Token Ring. ARCNET являлась первой технологией для создания сетей компьютеров и стала очень популярной в 1980-х при автоматизации учрежденческой деятельности. Предназначена для организации ЛВС в сетевой топологии «звезда».

Основу коммуникационного оборудования составляет:

- коммутатор (switch);
- пассивный/активный концентратор.

Преимущество имеет коммутаторное оборудование, так как позволяет формировать сетевые домены. Активные хабы применяются при большом удалении рабочей станции (они восстанавливают форму сигнала и усиливают его). Пассивные – при маленьком. В сети применяется назначаемый принцип доступа рабочих станций, то есть право на передачу имеет станция, получившая от сервера так называемый программный маркер. То есть реализуется *детерминированный* сетевой трафик.

Достоинством технологии является низкая стоимость сетевого оборудования и возможность создания протяжённых сетей. Из недостатков – невысокая скорость передачи данных.

Конец 90-х выявил явного лидера среди технологий локальных сетей – семейство Ethernet, в которое вошли классическая технология Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с, а также Fast Ethernet со скоростью 100 Мбит/с и Gigabit Ethernet со скоростью 1000 Мбит/с.

Простые алгоритмы работы этой технологии определяют низкую стоимость оборудования Ethernet. Широкий диапазон иерархии скоростей позволяет рационально строить локальную сеть, выбирая ту технологию семейства, которая в наибольшей степени отвечает задачам предприятия и потребностям пользователей.

## **1.8. Интернет и развитие сетевых технологий**

Интернет является вершиной эволюции телекоммуникационных сетей, самой быстрорастущей технической системой в истории человечества. Интернет растет и качественно развивается постоянно, начиная с 80-х годов, и в соответствии с прогнозами специалистов этот процесс будет продолжаться.

«Размеры» Интернета можно оценивать по-разному, чаще всего используют такие показатели, как количество подключенных к Интернету терминальных устройств, количество пользователей, объем трафика, передаваемый в единицу времени.

Взрывным оказался рост объема трафика – количество байтов, переданных в месяц через магистрали Интернета (рис. 1.3).

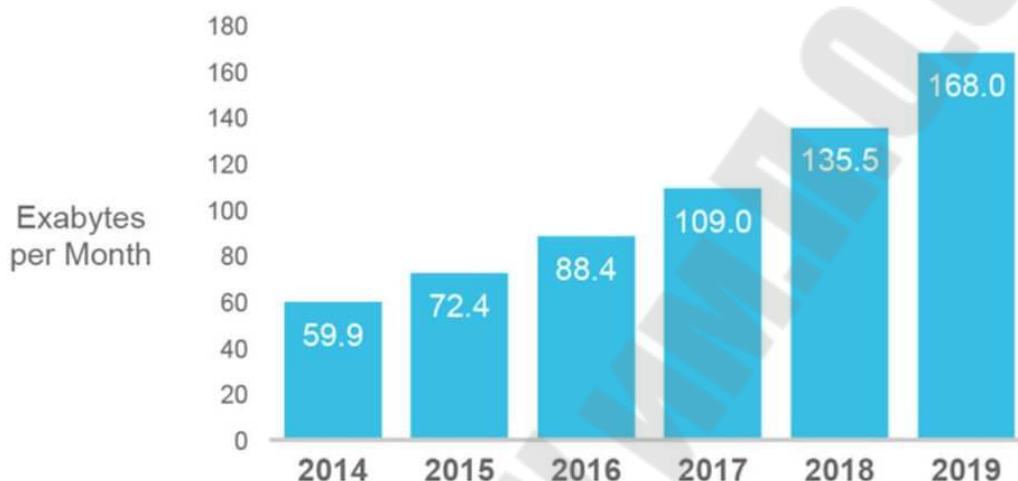


Рис. 1.3. Рост мирового объема трафика в экзабайтах в месяц

В середине 90-х годов трафик рос особенно быстро, удваиваясь каждый год, то есть демонстрируя экспоненциальный рост. Затем рост несколько замедлился, но все равно за последние 5 лет объем передаваемого трафика вырос в 2,6 раза.

- 1990 – 1 ТВ (1 терабайт =  $10^{12}$  байт, или 1000 гигабайт);
- 1996 – 2000 ТВ;
- 2000 – 84 ПБ (1 петабайт = 1000 терабайт);
- 2008 – 10 EB (1 экзбайт = 1000 петабайт);
- 2013 – 50 EB;
- 2018 – 129 EB;
- 2019 – 168 EB.

Существенно менялся и процентный состав приложений, генерирующих трафик. Так, если в 90-е годы и начале 2000-х в общем объеме преобладал трафик приложений, передающих файлы (файлы электронной почты, веб-страниц, музыки и кинофильмов), то уже к 2010 году он уступил лидерство трафику приложений, передающих видеопотоки в реальном масштабе времени (таких как интернет-телевидение, показ кинофильмов в онлайн-режиме по требованию, видеоконференции).

Новой вехой на пути развития Интернета стали облачные вычисления, которые позволяют разгрузить пользовательский компьютер и перенести хранение данных и выполнение приложений на некоторые удаленные компьютеры, связанные с пользовательским компьютером через сеть. Облачные вычисления стали еще одной причиной увеличения трафика Интернета, так как пользователи этого сервиса постоянно обращаются к внешним серверам провайдера, вместо того чтобы производить вычисления и другие манипуляции с данными локально, на своих персональных компьютерах или на корпоративных серверах.

Изменение объема и характера трафика из-за появления новых терминальных устройств, новых приложений и услуг Интернета породило новые вызовы разработчикам сетевых технологий, так как требования к характеристикам сети у этих приложений значительно отличаются от требований приложений передачи файлов.

Например, автомобили без водителя сейчас проходят испытания и скоро станут повседневностью. Интернет является неотъемлемой составной частью системы управления такими автомобилями, поддерживая обмен информацией в реальном времени между локальным компьютером автомобиля и удаленным приложением, решающим сложные задачи, возможно, с применением элементов искусственного интеллекта, которые не под силу локальному компьютеру с его ограниченными ресурсами.

## 1.9. Персоналии

В заключение этой главы кратко расскажем хотя бы о некоторых из тех людей, которые сыграли важную роль в становлении интернета.



*Поль Бэран*

Пол Бэран (урожденный Павел Баранов) (1926–28 марта 2011) – американский инженер и изобретатель, один из создателей Интернета. Родился в городе Гродно, в то время входившем в территории Польши.

Работая в корпорации RAND в начале 60-х годов, когда холодная война между США и СССР набирала новые обороты, Бэран описал



метод деления информации на «блоки сообщений», которые быстро передвигаются по сетям, собираясь в конечной точке. Позже англичанин Дональд Дэвис, который параллельно работал над подобной архитектурой, дал название этому явлению – «packet switch-ing», или пакетная коммутация.

Конкретный механизм этой передачи был следующим: данные, предназначенные к передаче с компьютера на компьютер, разбиваются на порции (те самые пакеты), сопровождаемые дополнительной идентификационной информацией. Каждый пакет должен был путешествовать по компьютерной сети независимо от других, то есть он перебрасывался из узла в узел сети по любому доступному каналу и, в конце концов, попадал в пункт назначения.

Интересно, что идея Бэрана подразумевала то, что даже если часть каналов передачи вдруг будет разрушена (например, в результате ядерной бомбардировки), но сохранится связность сети, то данные все равно дойдут до получателя. Компьютеру последнего останется лишь собрать все пакеты воедино и восстановить то, что теперь принято называть «исходным информационным файлом». В качестве физического канала связи Бэран предложил использовать телефонный кабель.

Возможно, эта поистине революционная идея Бэрана так и осталась бы в истории науки как разработка, опередившая время, но не получившая реального воплощения (даже в наше время многие специалисты признают, что реализация бэрановской разработки полвека назад была задачей, инженерная сложность которой была сопоставима со сложностью космического проекта), однако обстоятельства в тот момент сложились весьма удачно. После запуска Советским Союзом искусственного спутника Земли в 1957 году Министерство обороны США посчитало, что на случай войны Америке нужна надежная система передачи информации. Агентство передовых оборонных исследовательских проектов США (DARPA), ознакомившись с проектом Бэрана, предложило создать для этого компьютерную сеть. Техническая реализация данного проекта была поручена Калифорнийскому университету в Лос-Анджелесе, Стэнфордскому исследовательскому центру, Университету штата Юта и Университету штата Калифорния в Санта-Барбаре.

Первая сеть состояла из двух терминалов, один из которых находился в Калифорнийском университете, а второй – на расстоянии 600 километров от него, в Стэнфордском университете. Тестовое

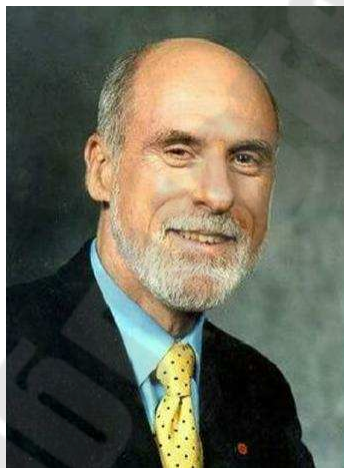
задание заключалось в том, что первый оператор вводил слово «LOG» (сокращение от «LOGON», являвшегося командой входа в систему), а второй должен был подтвердить, что он видит его у себя на экране. Эксперимент удался со второй попытки. Наличие нужного слова на экране оператор подтвердил своему коллеге, позвонив тому по телефону. Так что 29 октября 1969 года смело можно считать днем рождения Всемирной Глобальной Паутины.

### *Джозеф Карл Робнетт Ликлайдер*



Вклад Ликлайдера в возникновение Интернета огромен, он состоит из идей и принципов, а не из изобретений и технологий.

В 1963 году, когда Дж. Ликлайдер, будучи начальником одного из отделов ARPA, начал активно предлагать идею создания единой компьютерной сети США, никто лучше него не представлял, как эта сеть должна выглядеть. У Дж. Ликлайдера к тому времени был большой опыт работы с компьютерами. Именно в ходе этих работ он пришел к выводу о том, что наиболее эффективна совместная работа в диалоге человека с компьютером. Его идеи предвосхитили компьютерную графику, интерфейсы, работающие по принципу указания и выбора (point-and-click). Еще одна возможность компьютеров, которую предвидел Дж. Ликлайдер – многопользовательская работа. Предвидя дальнейшее развитие компьютеров и средств связи, Дж. Ликлайдер выдвинул также идею создания библиотек нового типа с децентрализованным хранением данных и открытым для всех доступом к информации.



### *Винтон Серф*

Винтон Серф – один из отцов Интернета, соавтор TCP-IP интернет протокола, один из основателей Интернет сообщества (1992) и его первый президент (1992–1995).

Совместно с Робертом Каном, Винтон Серф стал одним из создателей Протокола управления передачей/межсетевым протокола (TCP/IP), впервые опробованного в 1977 году, который по-прежнему обеспечивает коммутацию основных

пакетов Интернета. Этот протокол позволил ARPA подключить различные независимые сети вместе в одну большую Интернет-сеть. Когда Интернет начал переход к коммерческой деятельности, Серф перешел на работу в MCI Inc., где он сыграл важную роль в разработке первой коммерческой системы электронной почты (MCI Mail), подключенной к Интернету. Сейчас Серф является вице-президентом и «главным проповедником Интернета» в Google. Он стал известен своими предсказаниями о том, как современные технологии будут влиять на будущее общества, охватывая такие области, как искусственный интеллект, охрану окружающей среды, развитие IPv, трансформацию телевизионной индустрии и появление интернет услуг.

Вопросы, связанные с историей компьютерных сетей и развитием Интернета, также подробно рассмотрены в [3].

#### *Контрольные вопросы*

1. Какие технологии привели к созданию компьютерных сетей?
2. В чем заключалась пакетная обработка данных?
3. Режим разделения времени.
4. История создания Arpanet.
5. Кратко охарактеризуйте технологии Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, Arcnet.
6. Назовите виды коммуникационного оборудования и охарактеризуйте каждый из видов.
7. Предпосылки создания локальных сетей.
8. Вклад П. Барена, Дж. Ликлайдера и В. Серфа в развитие интернета.

## Глава № 2. Общие принципы построения компьютерных сетей

*Основные понятия: разделение ресурсов, сетевые интерфейсы, логический интерфейс, протокол.*

### 2.1. Сеть из двух компьютеров

Исторически главной целью объединения компьютеров в сеть было разделение ресурсов: пользователи компьютеров, подключенных к сети, или приложения, выполняемые на этих компьютерах, получают возможность автоматического доступа к разнообразным ресурсам остальных компьютеров сети, к числу которых относятся:

- периферийные устройства: диски, принтеры, плоттеры, сканеры и др.;
- данные, хранящиеся в оперативной памяти или на внешних запоминающих устройствах;
- вычислительная мощность (за счет удаленного запуска «своих» программ на «чужих» компьютерах).

Чтобы обеспечить пользователей разных компьютеров возможностью совместного использования ресурсов сети, компьютеры необходимо оснастить некими дополнительными сетевыми средствами.

В качестве примера можно привести сетевой принтер, то есть устройство, доступ к которому может осуществляться с любой рабочей станции сети. Это выгодное решение, поскольку нет никакой необходимости в том, чтобы свое печатающее устройство было у каждого служащего, к тому же содержание и обслуживание одного принтера, очевидно, обходится дешевле.



Рис. 2.1. Сеть из двух компьютеров и принтера

Какие дополнительные средства должны быть предусмотрены в обоих компьютерах (рис. 2.1), чтобы с принтером мог работать не только пользователь компьютера В, к которому этот принтер непосредственно подключен, но и пользователь компьютера А?

Для связи устройств в них должны быть предусмотрены внешние интерфейсы.

Интерфейс – в широком смысле – формально определенная логическая и/или физическая граница между отдельными объектами, которые обмениваются информацией. Интерфейс задает параметры, процедуры и характеристики взаимодействия объектов.

Разделяют физический и логический интерфейсы.

*Физический интерфейс* (называемый также портом) определяется набором электрических связей и характеристиками сигналов. Обычно он представляет собой разъем с набором контактов, каждый из которых имеет определенное назначение, например, это может быть группа контактов для передачи данных, контакт синхронизации данных и т. п. Пара разъемов соединяется кабелем, состоящим из набора проводов, каждый из которых соединяет соответствующие контакты. В таких случаях говорят о создании линии, или канала, связи между двумя устройствами.

*Логический интерфейс* (называемый также протоколом) – это набор информационных сообщений определенного формата, которыми обмениваются два устройства или две программы, а также набор правил, определяющих логику обмена этими сообщениями.

Для того чтобы сеть, изображенная на рис. 2.1, могла корректно функционировать, необходимо, чтобы устройства, входящие в нее, обладали интерфейсами двух видов: компьютер – компьютер и компьютер – периферийное устройство.

Интерфейс *компьютер – компьютер* позволяет двум компьютерам обмениваться информацией. С каждой стороны он реализуется парой:

- аппаратным модулем, называемым сетевым адаптером или сетевой интерфейсной картой;
- драйвером сетевой интерфейсной карты – специальной программой, управляющей работой сетевой интерфейсной карты.

Интерфейс *компьютер – периферийное устройство* (в данном случае интерфейс компьютер – принтер) позволяет компьютеру управлять работой периферийного устройства (ПУ). Этот интерфейс реализуется:

- со стороны компьютера – интерфейсной картой и драйвером ПУ (принтера), подобным сетевой интерфейсной карте и ее драйверу;

- со стороны ПУ – контроллером ПУ (принтера), обычно представляющим собой аппаратное устройство, принимающее от компьютера как данные, например, байты информации, которую нужно распечатать на бумаге, так и команды, которые он обрабатывает, управляя электромеханическими частями периферийного устройства, например, выталкивая лист бумаги из принтера или перемещая магнитную головку диска.

## 2.2 Сеть компьютер – периферийное устройство

Рассмотрим, как решается задача доступа некоторого приложения к периферийному устройству, если компьютер, на котором выполняется это приложение, соединен с ПУ непосредственно (на рис. 2.1 это компьютер В – принтер).

*Задача: приложение X должно распечатать документ.*

1. Приложение X обращается с запросом на выполнение операции ввода-вывода к операционной системе (как правило, драйвер не может быть запущен на выполнение непосредственно приложением). В запросе указываются адрес данных, которые необходимо напечатать (адрес буфера ОП), и информация о том, на каком периферийном устройстве эту операцию требуется выполнить.
2. Получив запрос, операционная система запускает программу – драйвер принтера. С этого момента все дальнейшие действия по выполнению операции ввода-вывода со стороны компьютера реализуются только драйвером принтера и работающим под его управлением аппаратным модулем – интерфейсной картой принтера без участия приложения и операционной системы.
3. Драйвер принтера оперирует командами, понятными контроллеру принтера, такими, например, как «Печать символа», «Перевод строки», «Возврат каретки». Драйвер в определенной последовательности загружает коды этих команд, а также данные, взятые из буфера ОП, в буфер интерфейсной карты принтера, которая побайтно передает их по сети контроллеру принтера.
4. Интерфейсная карта выполняет низкоуровневую работу, не вдаваясь в детали, касающиеся логики управления устройством, смысла данных и команд, передаваемых ей драйвером, считая их однородным потоком байтов. После получения от драйвера очередного байта интерфейсная карта просто последовательно

передает биты в линию связи, представляя каждый бит электрическим сигналом.

5. Получив очередной байт, контроллер интерпретирует его и запускает заданную операцию принтера. Закончив работу по печати всех символов документа, драйвер принтера сообщает операционной системе о выполнении запроса, а та, в свою очередь, сигнализирует об этом событии приложению.

### 2.3. Сеть компьютер – компьютер

Механизмы взаимодействия компьютеров в сети многое позаимствовали у схемы взаимодействия компьютера с периферийными устройствами.

*Задача: приложение А (компьютер А) должно взаимодействовать с приложением В (компьютер В).*

Приложения А и В управляют процессом передачи данных путем обмена сообщениями. Чтобы приложения могли «понимать» получаемую друг от друга информацию, программисты, разрабатывавшие эти приложения, должны строго оговорить форматы и последовательность сообщений, которыми приложения будут обмениваться во время выполнения этой операции. Например, они могут договориться о том, что любая операция обмена данными начинается с передачи сообщения, запрашивающего информацию о готовности приложения В; что в следующем сообщении идут идентификаторы компьютера и пользователя, сделавшего запрос; что признаком срочного завершения операции обмена данными является определенная кодовая комбинация, и т. п. Тем самым определяется *протокол взаимодействия* приложений для выполнения операции данного типа.

Для реализации протокола нужно, чтобы к моменту возникновения потребности в обмене данными были активны оба приложения: как приложение А, которое посылает инициирующее сообщение, так и приложение В, которое должно быть готово принять это сообщение и выработать реакцию на него.

На стороне компьютера А приложение, следуя логике протокола, размещает в буфере ОП либо собственное очередное сообщение, либо данные и обращается к ОС с запросом на выполнение операции межкомпьютерного обмена данными. ОС запускает соответствующий драйвер сетевой карты, который загружает байт из буфера ОП в буфер интерфейсной карты, после чего инициирует ее работу. Сетевая

интерфейсная карта последовательно передает биты в линию связи, дополняя каждый новый байт стартовым и стоповым битами.

На стороне компьютера В сетевая интерфейсная карта принимает биты, поступающие со стороны внешнего интерфейса, и помещает их в собственный буфер. После того как получен стоповый бит, интерфейсная карта устанавливает признак завершения приема байта и выполняет проверку корректности приема, например, путем контроля бита четности. Факт корректного приема байта фиксируется драйвером сетевой интерфейсной карты компьютера В. Драйвер переписывает принятый байт из буфера интерфейсной карты в заранее зарезервированный буфер ОП компьютера В. Приложение В извлекает данные из буфера и интерпретирует их в соответствии со своим протоколом либо как сообщение, либо как данные. Если согласно протоколу приложение В должно передать ответ приложению А, то выполняется симметричная процедура.

Таким образом, связав электрически и информационно два автономно работающих компьютера, мы получили простейшую компьютерную сеть.

#### **2.4. Сеть «компьютер – промежуточный компьютер – периферийное устройство»**

*Задача: приложение А (компьютер А) должно распечатать документ на принтере, присоединенном к компьютеру В.*

Приложение А по-прежнему не может управлять принтером, подключенным к компьютеру В, однако оно может теперь воспользоваться средствами межкомпьютерного обмена данными, чтобы передать приложению В «просьбу» выполнить для него требуемую операцию. Приложение А должно «объяснить» приложению В, какую операцию необходимо выполнить, с какими данными, на каком из имеющихся в его распоряжении устройств, в каком виде должен быть распечатан текст, и т. п. В ходе печати могут возникнуть ситуации, о которых приложение В должно оповестить приложение А, например, об отсутствии бумаги в принтере. То есть для решения поставленной задачи – доступа к принтеру по сети – должен быть разработан специальный протокол взаимодействия приложений А и В.

Рассмотрим как работают вместе все элементы этой простейшей компьютерной сети (рис. 2.1) при решении задачи совместного использования принтера.



1. В соответствии с принятым протоколом приложение А формирует сообщение-запрос к приложению В, помещает его в буфер ОП компьютеров и обращается к ОС, снабжая ее необходимой информацией.
2. ОС запускает драйвер сетевой интерфейсной карты, сообщая ему адрес буфера ОП, где хранится сообщение.
3. Драйвер и сетевая интерфейсная карта компьютера А, взаимодействуя с драйвером и интерфейсной картой компьютера В, передают сообщение байт за байтом в буфер ОП компьютера В.
4. Приложение В извлекает сообщение из буфера, интерпретирует его в соответствии с протоколом и выполняет необходимые действия. В число таких действий входит, том числе, обращение к ОС с запросом на выполнение тех или иных операций с локальным принтером.
5. ОС запускает драйвер принтера, который в кооперации с интерфейсной картой и контроллером принтера выполняет требуемую операцию печати.

Рассматривая связь компьютера с периферийным устройством, мы столкнулись с важнейшими «сетевыми» понятиями: интерфейсом и протоколом, драйвером и интерфейсной картой, а также с проблемами, характерными для компьютерных сетей: согласованием интерфейсов, синхронизацией асинхронных процессов, обеспечением достоверности передачи данных.

#### *Контрольные вопросы*

1. Разделение ресурсов.
2. Физический и логический интерфейсы.
3. Опишите особенности решения задачи доступа некоторого приложения к периферийному устройству.
4. Функционирование сети «компьютер – компьютер».
5. Доступ приложения к периферийному устройству через другой компьютер.

## Глава № 3. Сетевое оборудование

*Основные понятия: широковещательные сети, персональные сети, локальные сети, глобальные сети.*

### 3.1 Технические стороны разработки сетей

Единой общепринятой системы, которой удовлетворяют все сети, не существует, однако есть два важнейших параметра: технология передачи и размеры. Рассмотрим оба параметра по очереди.

Если смотреть в общих чертах, существует два типа технологии передачи:

- широковещательные сети;
- сети с передачей от узла к узлу.

Сети с передачей от узла к узлу состоят из соединенных пар машин. Чтобы пойти от источника до места назначения в сети, составленной из двухточечных линий, коротким сообщениям, называемым пакетами, вероятно, придется сначала посетить одну или несколько промежуточных машин. Двухточечную передачу с ровно одним отправителем и ровно одним получателем иногда называют однонаправленной передачей.

Широковещательные сети существенно отличаются тем, что обладают единым каналом связи, совместно используемым всеми машинами сети. Пакеты посылаются одной машиной, а получаются всеми машинами. Поле адреса в каждом пакете указывает, кому направляется сообщение. При получении пакета машина проверяет его адресное поле. Если пакет адресован этой машине, она его обрабатывает. Пакеты, адресованные другим машинам, игнорируются.

Беспроводная сеть – типичный пример широковещательного канала.

Широковещательные сети также позволяют адресовать пакет одновременно всем машинам с помощью специального кода в поле адреса. Когда передается пакет с таким кодом, он получается и обрабатывается всеми машинами сети. Такая операция называется широковещательной передачей. Некоторые широковещательные системы также предоставляют возможность посылать сообщения подмножеству машин, и это называется многоадресной передачей.

Другим признаком классификации сетей является их размер. Размеры сетей являются весьма важным классификационным факто-

ром, поскольку в сетях различного размера применяются различные технологии.

В соответствии с [1, с. 33] мы приводим классификацию мультипроцессорных систем в зависимости от их размеров.

Таблица 2.1

**Классификация сетей в зависимости от их размеров**

Расстояние между процессорами	Процессоры расположены	Сеть
1 м	На одном м <sup>2</sup>	Персональная сеть
10 м	Комната	Локальная сеть
100 м	Здание	
1 км	Предприятие, завод	
10 км	Город	Муниципальная сеть
100 км	Страна	Глобальная сеть
1000 км	Континент	
10000 км	Планета	Интернет

Кратко рассмотрим особенности каждого из видов сети.

### 3.2. Персональная сеть

Персональные сети (PAN) позволяют общаться устройствам вблизи человека. Персональные сети настраиваются только для личного использования. Обычно они включают компьютер, телефон, принтер, планшет и/или другое персональное устройство.

Причина, по которой PAN классифицируются отдельно от других сетевых типов, таких как LAN, WLAN, WAN и MAN, заключается в том, что идея заключается в передаче информации между соседними устройствами, вместо того, чтобы отправлять эти же данные через LAN или WAN.

Можно использовать эти сети для передачи файлов, включая электронную почту, календарные встречи, фотографии и музыку. Если передача осуществляется по беспроводной сети, это технически называется WPAN, который представляет собой беспроводную личную сеть.

Личные сети могут быть беспроводными или сконструированы с помощью кабелей. USB и FireWire часто соединяют проводную PAN, в то время как WPAN обычно используют Bluetooth или иногда инфракрасные соединения.

Беспроводные персональные сети обычно охватывают диапазон от нескольких сантиметров до 10 метров. Эти сети можно рассматривать как особый тип (или подмножество) локальных сетей, которые поддерживают одного человека вместо группы.

### 3.3. Локальная сеть (LAN)

Локальными сетями называют частные сети, размещающиеся, как правило, в одном здании или на территории какой-либо организации. Их часто используют для объединения компьютеров и рабочих станций в офисах компании или предприятия бытовой электроники для предоставления совместного доступа к ресурсам (например, принтерам) и обмена информацией. Когда локальные сети используются предприятиями, их называют сетью предприятия.

Беспроводные ЛВС сейчас очень популярны, особенно в домах, более старых офисных зданиях, кафетериях и других местах, где слишком сложно провести кабели.

В большинстве случаев каждый компьютер связывается с устройством, называемом AP (точка доступа) (рис. 3.1). Это устройство, оно же беспроводной маршрутизатор, передает пакеты между беспроводными компьютерами, а также между ними и Интернетом.

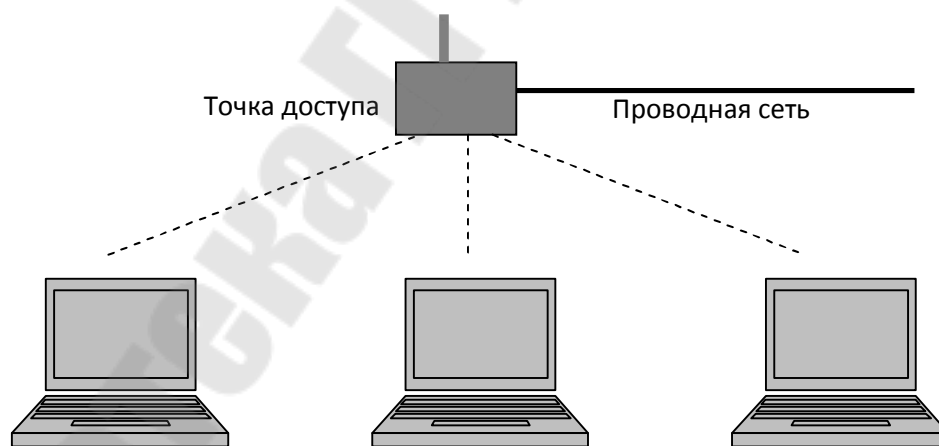


Рис. 3.1. Беспроводная сеть

Стандарт для беспроводных ЛВС, названный IEEE 802.11, более известный как WiFi, стал очень широко распространенным. Он работает на скоростях от 11 до сотни мегабит в секунду. Роутеры с поддержкой Wi-Fi 802.11ac (один из последних стандартов) в теории

способны обеспечивать поток данных до 6,93 Гбит/с. Однако на практике скорости гораздо ниже.

В проводных ЛВС используются различные технологии передачи. В некоторых из них используются медные провода, а в некоторых – оптоволокно. ЛВС ограничены в размере, это означает, что максимальное время передачи ограничено и известно заранее. Знание этих границ помогает с задачей разработки сетевых протоколов. Как правило, проводные ЛВС работают на скоростях от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с (стандарт Ethernet **10GBASE-LX4** – 10 Гбит/с передача по многомодовому ОВ на длине волны 1300 нм; в лабораторных условиях достигаются и гораздо большие скорости, например, порядка нескольких терабит/с), имеют низкую задержку (микросекунды или наносекунды) и делают очень немного ошибок. Более новые ЛВС могут работать со скоростью более 10 Гбит/с. По сравнению с беспроводными сетями проводные ЛВС превышают их по всем параметрам работы. Послать сигналы по проводу или через волокно проще, чем по воздуху.

Топология многих проводных ЛВС создана из магистральных линий. Стандарт IEEE 802.3, обычно называемый Ethernet, является, безусловно, наиболее распространенным типом проводной ЛВС.

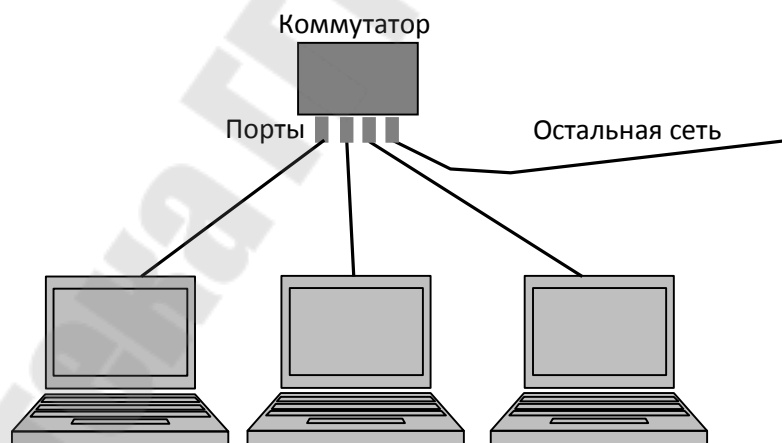


Рис. 3.2. Сеть Ethernet

Рисунок 3.2 показывает типовую топологию коммутируемого Ethernet. Каждый компьютер говорит на протоколе Ethernet и соединяется с устройством, названным коммутатором с магистральной линией. Отсюда и название. У коммутатора есть несколько портов, каждый из которых может соединиться с одним компьютером. Работа коммутатора – передать пакеты между компьютерами, которые к не-

му присоединены; для определения нужного компьютера используется адрес в каждом пакете.

Также возможно разделить одну большую физическую ЛВС на две меньших логических ЛВС. Иногда расположение сетевого оборудования не соответствует структуре организации. Например, у инженерного и финансового отделов компании могли бы быть компьютеры в одной физической ЛВС, потому что они находятся в одном крыле здания, но было бы легче управлять системой, если бы у каждого отдела была своя виртуальная ЛВС (VLAN). В этой конструкции каждый порт отмечен «цветом», скажем, зеленый для инженерного отдела и красный для финансового. Коммутатор направляет пакеты так, чтобы компьютеры, присоединенные к зеленым портам, были отделены от компьютеров, присоединенных к красным портам. Широковещательные пакеты, посланные красным портом, например, не будут получены зеленым портом, как если бы это были две различных ЛВС.

Существуют и другие топологии проводной ЛВС. Фактически, коммутируемый Ethernet – современная версия оригинального проекта Ethernet, который передавал все пакеты по единственному линейному кабелю. В один момент времени передачу могла вести только одна машина, а конфликты решал распределенный арбитражный механизм. Использовался простой алгоритм: компьютеры могли передать всякий раз, когда кабель был неактивен. Если два или несколько пакетов столкнулись, каждый компьютер ждал в течение случайного промежутка времени и делал еще одну попытку.

И проводные, и беспроводные широковещательные сети в зависимости от способа назначения канала подразделяются на статические и динамические. При статическом назначении используется циклический алгоритм, и все время делится между всеми машинами на равные интервалы, так что машина может передавать данные только в течение выделенного ей интервала времени. При этом емкость канала расходуется неэкономно, так как временной интервал предоставляется машинам независимо от того, есть им что передавать или нет. Поэтому чаще используется динамическое (то есть по требованию) предоставление доступа к каналу.

### **3.4. Муниципальные сети (metropolitan area network, MAN)**

Муниципальные сети объединяют компьютеры в пределах города. Самым распространенным примером муниципальной сети является

ся система кабельного телевидения. Она стала правопреемником обычных антенных телесетей в тех местах, где по тем или иным причинам качество эфира было слишком низким.

До конца девяностых годов эти системы были предназначены исключительно для телевизионного приема.

С тех пор как Интернет привлек к себе массовую аудиторию, операторы кабельного телевидения поняли, что, внеся небольшие изменения в систему, можно сделать так, чтобы по тем же каналам, в неиспользуемой части спектра, передавались (причем в обе стороны) цифровые данные. С этого момента кабельное телевидение стало постепенно превращаться в муниципальную компьютерную сеть.

Систему MAN можно представить себе такой, как она изображена на рис.

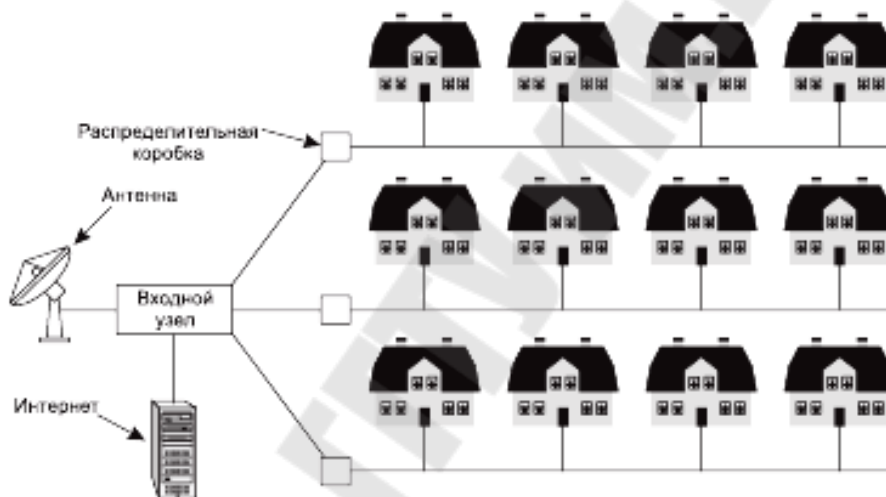


Рис. 3.3. Пример организации городской сети

На этом рисунке видно, что по одним и тем же линиям передается и телевизионный, и цифровой сигнал. Во входном устройстве они смешиваются и передаются абонентам.

Впрочем, муниципальные сети – это не только кабельное телевидение. Разработки, связанные с высокоскоростным беспроводным доступом в Интернет, привели к созданию других MAN, которые описаны в стандарте IEEE 802.16, известном как WiMax.

### 3.5. Глобальные сети (wide area network, WAN)

WAN охватывает значительную географическую область, часто целую страну или даже континент.

Предположим, организация располагает офисами, которые находятся в разных частях страны (или в разных странах). Каждый из этих офисов содержит компьютеры, предназначенные для выполнения программ пользователя (то есть приложений). Такие компьютеры часто называют хостами. Хосты соединяются коммуникационными подсетями, называемыми для краткости просто подсетями. Задачей подсети является передача сообщений от хоста хосту, подобно тому, как телефонная система переносит слова (то есть просто звуки) от говорящего слушающему.

В большинстве глобальных сетей подсеть состоит из двух отдельных компонентов: линий связи и переключающих элементов. Линии связи переносят данные от машины к машине. Они могут представлять собой медные провода, оптоволокно или даже радиосвязь. Большинство компаний не имеют собственных линий связи, поэтому они арендуют их у телекоммуникационной компании. Переключающие элементы являются специализированными компьютерами, используемыми для соединения двух или более линий связи. Когда данные появляются на входной линии, переключающий элемент должен выбрать выходную линию для дальнейшего маршрута этих данных. В прошлом для названия этих компьютеров не было стандартной терминологии. Сейчас их называют маршрутизаторами (router).

Изначально единственным значением слова «подсеть» являлся набор маршрутизаторов и линий связи, используемый для передачи пакета от одного хоста к другому. Однако теперь этот термин приобрел второй смысл, связанный с адресацией в сети.

Глобальные сети, как мы их описали, выглядят похоже на большую проводную ЛВС, но есть некоторые важные различия, которые не только в длинных проводах. Обычно в глобальной сети узлы и подсеть принадлежат и управляются различными людьми. Обычно подсетью управляют сетевой провайдер или телефонная компания.

Второе различие – то, что маршрутизаторы будут обычно соединять различные виды сетевых технологий. Сети в офисах могут быть, например, коммутируемыми Ethernet, в то время как дальние линии передачи могут быть линиями SONET. Какое-то устройство должно присоединиться к ним. Это означает, что многие глобальные сети фактически будут объединенными сетями, или сложными сетями, которые составлены больше чем из одной сети.



Большинство глобальных сетей содержит большое количество кабелей или телефонных линий, соединяющих пару маршрутизаторов. Если какие-либо два маршрутизатора не связаны линией связи напрямую, то они должны общаться при помощи других маршрутизаторов. В сети может быть много путей, которые соединяют эти два маршрутизатора. Метод принятия решения называется алгоритмом маршрутизации. Существует много таких алгоритмов. То, как каждый маршрутизатор принимает решение, куда послать пакет, называется алгоритмом пересылки.

Другие глобальные сети используют беспроводные технологии. В спутниковых системах каждый компьютер на земле снабжается антенной, при помощи которой он может принимать и посылать сигнал спутнику на орбите. Все компьютеры могут принимать сигналы со спутника, а в некоторых случаях они могут также слышать передачи соседних компьютеров, передающих данные на спутник. Спутниковые сети являются ширококонтинентальными и наиболее полезны там, где требуется ширококонтинентальное вещание.

Сеть мобильной телефонной связи – другой пример глобальной сети, использующей беспроводную технологию. Эта система уже прошла три поколения, а сейчас вступила в четвертое. Первое поколение осуществляло только аналоговую передачу звука. Второе поколение было цифровым, но тоже только для передачи голоса. Третье поколение является цифровым и предназначено для передачи и речи, и данных. Каждая сотовая базовая станция покрывает намного большую площадь, чем беспроводная ЛВС, расстояния измеряются в километрах, а не в десятках метров.

### **3.6. Организация Интернета**

Интернет представляет собой уникальную глобальную компьютерную сеть, так как почти все существующие компьютерные сети (за исключением разве что некоторых сетей, требующих особых мер защиты от вторжений и потому полностью изолированных от Интернета) и отдельные компьютеры являются частью этой сети. Поэтому протокол IP является обязательным и единственным протоколом сетевого уровня, объединяющим все сети в Интернете, уникальность которого проявляется во многих отношениях.

Прежде всего, Интернет – это самая большая в мире сеть по числу пользователей, по территории покрытия, по суммарному объему

му передаваемого трафика, по количеству входящих в ее состав сетей. Темпы роста Интернета, хотя и снизились по сравнению с периодом интернет-революции середины 90-х, остаются очень высокими и намного превышают темпы роста телефонных сетей.

Интернет – это сеть, не имеющая единого центра управления и в то же время работающая по единым правилам и предоставляющая всем своим пользователям единый набор услуг.

Интернет – это «сеть сетей», но каждая входящая в Интернет сеть управляется независимым оператором – провайдером услуг Интернета (Internet Service Provider, ISP). Некоторые центральные органы существуют, но они отвечают только за единую техническую политику, за согласованный набор технических стандартов, за централизованное назначение таких жизненно важных для гигантской составной сети параметров, как имена и адреса компьютеров и входящих в Интернет сетей, но не за ежедневное поддержание сети в работоспособном состоянии. Такая высокая степень децентрализации имеет свои достоинства и недостатки.

*Достоинства* проявляются, например, в легкости наращивания Интернета. *Негативные* последствия децентрализации заключаются в сложности модернизации технологий и услуг Интернета.

Стремительный рост числа пользователей Интернета, привлекаемых информацией, содержащейся на его сайтах, изменил отношение корпоративных пользователей и операторов связи к этой сети. Сегодня Интернет поддерживается практически всеми традиционными операторами связи. Кроме того, к ним присоединилось большое количество новых операторов, построивших свой бизнес исключительно на услугах Интернета.

Поэтому общая структура Интернета во многом является отражением общей структуры всемирной телекоммуникационной сети.

*Магистральные провайдеры* услуг являются аналогами транснациональных операторов связи. Они обладают собственными транспортными магистралями, покрывающими крупные регионы (страна, континент, весь земной шар).

Соответственно, *региональные провайдеры* услуг оказывают услуги Интернета в рамках определенного региона (штат, графство, округ – в зависимости от принятого в той или иной стране административного деления), а *локальные провайдеры* услуг работают, как правило, в пределах одного города.

Связи между поставщиками услуг строятся на основе двухсторонних соглашений о взаимной передаче трафика. Такие соглашения называют *пиринговыми* (от англ. peer – равный в статусе). Магистральный оператор обычно имеет пиринговые соглашения со всеми остальными магистральными операторами (так как их немного), а региональные операторы, как правило, заключают такие соглашения с одним из магистральных операторов и с несколькими другими региональными операторами.

Чтобы провайдерам было проще организовывать свои пиринговые связи, в Интернете существуют специальные центры обмена трафиком, в которых соединяются сети большого количества провайдеров. Такие центры обмена обычно называются Internet eXchange Point (IXP) или Network Access Point (NAP).

#### *Контрольные вопросы*

1. Типы технологии передачи.
2. Предпосылки появления локальных сетей.
3. Городские сети.
4. Особенности глобальных сетей.
5. Роль маршрутизатора в глобальной сети.
6. Организация Интернета.
7. Виды провайдеров и функции провайдеров.
8. Что такое пиринговые соглашения?

## Глава № 4. Сетевое программное обеспечение

*Основные понятия: сетевые службы, клиент, сервер, распределенные приложения, сетевые операционные системы.*

### 4.1. Сетевые службы и сервисы

Потребность в доступе к удаленному ресурсу или оборудованию, например, принтеру может возникать у пользователей самых разных приложений: текстового редактора, графического редактора, системы управления базой данных (СУБД). Очевидно, что дублирование в каждом из приложений общих для всех них функций по организации удаленной печати является избыточным.

Более эффективным представляется подход, при котором эти функции исключаются из приложений и оформляются в виде пары специализированных программных модулей – клиента и сервера печати (рис. 4.1), функции которых ранее выполнялись соответственно, приложениями А и В. Теперь эта пара клиент-сервер может быть использована любым приложением, выполняемым на компьютере А.

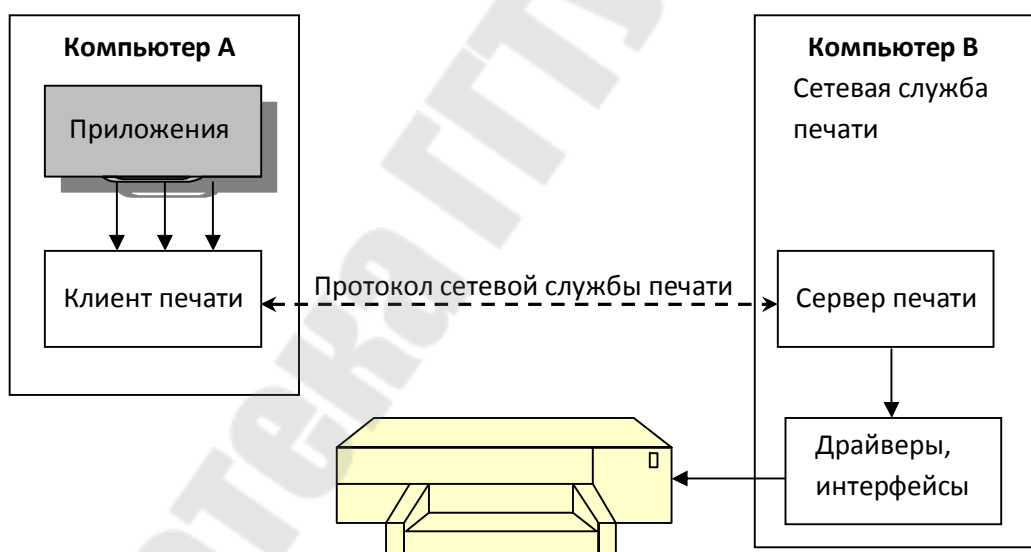


Рис. 4.1. Совместное использование принтера в компьютерной сети

Обобщая такой подход применительно к другим типам разделяемых ресурсов, дадим определения [2, с. 45–46].

Клиент – это модуль, предназначенный для формирования и передачи сообщений-запросов к ресурсам удаленного компьютера от

разных приложений с последующим приемом результатов из сети и передачей их соответствующим приложениям.

Сервер – это модуль, который постоянно ожидает прихода из сети запросов от клиентов и, приняв запрос, пытается его обслужить, как правило, с участием локальной ОС; один сервер может обслуживать запросы сразу нескольких клиентов (одновременно или поочередно).

Пара клиент-сервер представляющая доступ к конкретному типу ресурса через сеть, образует сетевую службу. Услуги, предоставляемые этой службой, называются сервисом.

Для поиска и просмотра информации в интернете используется веб-служба, состоящая из веб-сервера и веб-браузера.

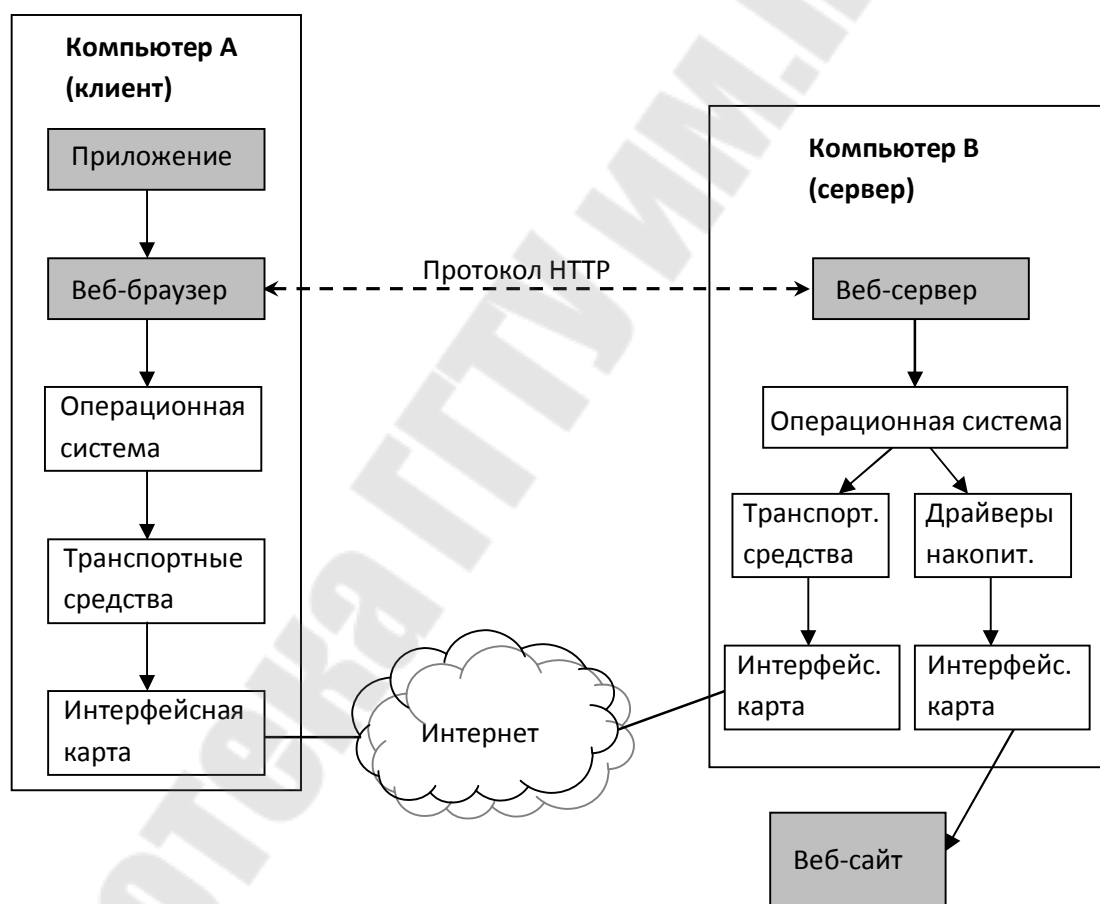


Рис. 4.2. Веб-служба

Обмен сообщениями между клиентской и серверной частями веб-службы выполняется по стандартному протоколу HTTP и никак не зависит от того, передаются ли эти сообщения «из рук в руки» (от интерфейса одного компьютера к интерфейсу другого) или через большое число посредников – транзитных коммуникационных уст-

ройств. Вместе с тем усложнение среды передачи сообщений приводит к возникновению новых дополнительных задач.

## 4.2. Сетевая операционная система

Сетевой операционной системой называют операционную систему компьютера, которая, помимо управления локальными ресурсами, предоставляет пользователям и приложениям возможность эффективного и удобного доступа к информационным и аппаратным ресурсам других компьютеров сети.

Сегодня практически все операционные системы являются сетевыми.

Удаленный доступ к сетевым ресурсам обеспечивается:

- сетевыми службами;
- средствами транспортировки сообщений по сети (в простейшем случае – сетевыми картами и их драйверами).

Следовательно, именно эти функциональные модули должны быть добавлены к ОС, чтобы она могла называться сетевой.

Помимо сетевых служб сетевая ОС включает программные коммуникационные (транспортные) средства, обеспечивающие совместно с аппаратными коммуникационными средствами передачу сообщений, которыми обмениваются клиентские и серверные части сетевых служб. Задачу коммуникации между компьютерами сети решают драйверы и протокольные модули. Они выполняют такие функции, как формирование сообщений, разбиение сообщения на части (пакеты, кадры), преобразование имен компьютеров в числовые адреса, дублирование сообщений в случае их потери, определение маршрута в сложной сети и т. д.

И сетевые службы, и транспортные средства могут являться неотъемлемыми (встроенными) компонентами ОС или существовать в виде отдельных программных продуктов. Например, сетевая файловая служба обычно встраивается в ОС, а вот веб-браузер чаще всего является отдельным приложением. Типичная сетевая ОС имеет в своем составе широкий набор драйверов и протокольных модулей, однако у пользователя, как правило, есть возможность дополнить этот стандартный набор необходимыми ему программами.

Решение о способе реализации клиентов и серверов сетевой службы, а также драйверов и протокольных модулей принимается разработчиками с учетом самых разных соображений: технических,

коммерческих и даже юридических. Так, например, именно на основании антимонопольного закона США компании Microsoft было запрещено включать ее браузер Internet Explorer в состав ОС этой компании.

Сетевая служба может быть представлена в ОС либо обеими (клиентской и серверной) частями, либо только одной из них.

В первом случае операционная система, называемая одноранговой, не только позволяет обращаться к ресурсам других компьютеров, но и предоставляет собственные ресурсы в распоряжение пользователей других компьютеров. Например, если на всех компьютерах сети установлены и клиенты, и серверы файловой службы, то все пользователи сети могут совместно использовать файлы друг друга. Компьютеры, совмещающие функции клиента и сервера, называют одноранговыми узлами.

Операционная система, которая содержит преимущественно клиентские части сетевых служб, называется клиентской. Клиентские ОС устанавливаются на компьютеры, обращающиеся с запросами к ресурсам других компьютеров сети.

К другому типу операционных систем относится серверная ОС – она ориентирована на обработку запросов из сети к ресурсам своего компьютера и включает в себя в основном серверные части сетевых служб. Компьютер с установленной на нем серверной ОС, занимающийся исключительно обслуживанием запросов других компьютеров, называют выделенным сервером сети.

### **4.3. Сетевые приложения**

На компьютере, подключенном к сети, могут запускаться приложения нескольких типов.

*Локальное приложение* целиком выполняется на данном компьютере и использует только локальные ресурсы. Для такого приложения не требуется никаких сетевых средств, оно может быть выполнено на автономно работающем компьютере.

*Централизованное сетевое приложение* целиком выполняется на данном компьютере, но обращается в процессе своей работы к ресурсам других компьютеров сети. Например, приложение, которое выполняется на клиентском компьютере, обрабатывает данные из файла, хранящегося на файл-сервере, а затем распечатывает результаты на принтере, подключенном к серверу печати. Очевидно, что рабо-

та такого типа приложений невозможна без участия сетевых служб и средств транспортировки сообщений.

*Распределенное (сетевое) приложение* состоит из нескольких взаимодействующих частей, каждая из которых выполняет какую-то определенную законченную работу по решению прикладной задачи, причем каждая часть может выполняться и, как правило, выполняется на отдельном компьютере сети. Части распределенного приложения взаимодействуют друг с другом, используя сетевые службы и транспортные средства ОС. Распределенное приложение в общем случае имеет доступ ко всем ресурсам компьютерной сети.

Очевидным преимуществом распределенных приложений является возможность распараллеливания вычислений, а также специализация компьютеров. Так, в приложении, предназначенном, скажем, для анализа климатических изменений, можно выделить три достаточно самостоятельные части, допускающие распараллеливание. Первая часть приложения, выполняющаяся на сравнительно маломощном персональном компьютере, могла бы поддерживать специализированный графический пользовательский интерфейс, вторая – заниматься статистической обработкой данных на высокопроизводительном мейнфрейме, третья – генерировать отчеты на сервере с установленной стандартной СУБД. В общем случае каждая из частей распределенного приложения может быть представлена несколькими копиями, работающими на разных компьютерах.

Заметим, что все сетевые службы, включая файловую службу, службу печати, службу электронной почты, службу удаленного доступа, интернет-телефонию и др., по определению относятся к классу распределенных приложений. Действительно, любая сетевая служба включает в себя клиентскую и серверную части, которые могут выполняться и обычно выполняются на разных компьютерах.

Многочисленные примеры распределенных приложений можно встретить и в такой области, как обработка данных научных экспериментов. Это не удивительно, так как многие эксперименты порождают такие большие объемы данных, генерируемых в реальном масштабе времени, которые просто невозможно обработать на одном, даже очень мощном суперкомпьютере.

Одним из известных примеров распределенного научного приложения является программное обеспечение обработки данных большого адронного коллайдера (Large Hadron Collider, LHC), запущенно-



го 10 сентября 2008 года в CERN, – это приложение работает более чем на 30 тысячах компьютеров, объединенных в сеть.

#### 4.4. Службы и протоколы

Службы и протоколы являются различными понятиями. Различие между ними столь важно, что мы хотели бы еще раз обратить на него ваше внимание. Служба (или сервис) – это набор примитивов (операций), которые более низкий уровень предоставляют более высокому. Служба определяет, какие именно операции уровень будет выполнять от лица своих пользователей, но никак не оговаривает, как должны реализовываться эти операции. Служба описывает интерфейс между двумя уровнями, в котором нижний уровень является поставщиком сервиса, а верхний – его потребителем.

Напротив, протокол – это набор правил, описывающих формат и назначение кадров, пакетов или сообщений, которыми обмениваются объекты одного ранга внутри уровня. Объекты используют протокол для реализации определений своих служб. Они могут менять протокол по желанию, при условии, что при этом остаются неизменными службы, предоставляемые ими своим пользователям. Таким образом, служба и протокол оказываются практически независимыми. Это – ключевое понятие, которое должен хорошо понять любой проектировщик сетей.

##### *Контрольные вопросы*

1. Технология клиент-сервер.
2. Какими средствами обеспечивается доступ к удаленным сетевым ресурсам?
3. Централизованные сетевые приложения.
4. Функции сетевых операционных систем.
5. Распределенные сетевые приложения.
6. Различие сетевых служб и протоколов.

## Глава № 5. Обобщенная задача коммутации

*Основные понятия: коммутация, маршрутизация, продвижение потоков, мультиплексирование, демультиплексирование, разделяемая среда.*

В самом общем виде задача коммутации может быть представлена в виде следующих взаимосвязанных частных задач:

1. Определение информационных потоков, для которых требуется прокладывать маршруты.
2. Маршрутизация потоков – прокладка маршрутов.
3. Продвижение потоков, то есть распознавание потоков и их локальная коммутация на каждом транзитном узле.
4. Мультиплексирование и демультиплексирование потоков.

### 5.1. Коммутация

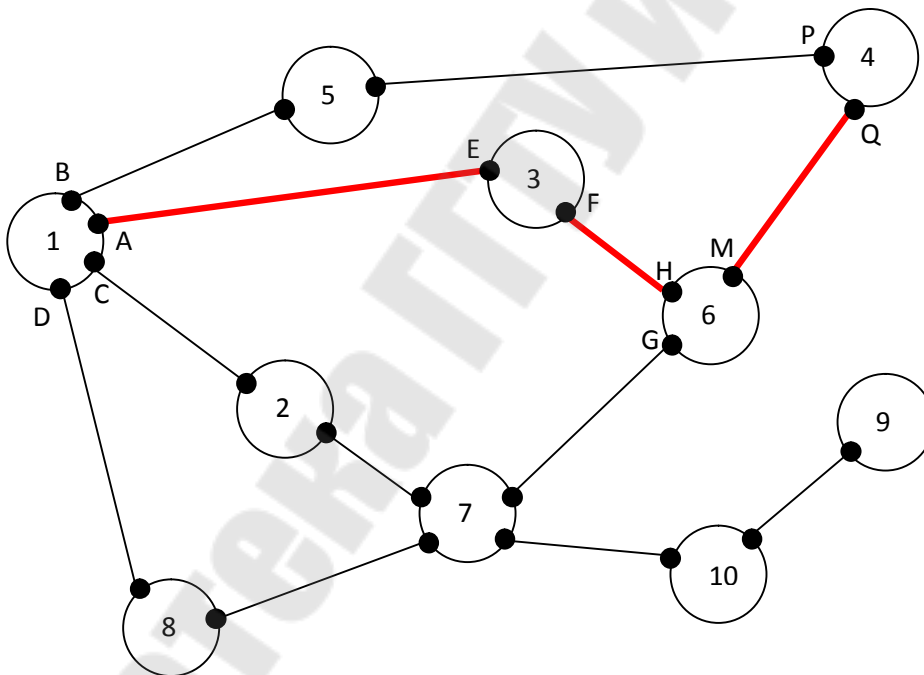


Рис. 5.1. Коммутация абонентов через сеть транзитных узлов

Пусть компьютеры физически связаны между собой в соответствии с некоторой топологией, выбрана система адресации. Остается нерешенным вопрос: каким образом передавать данные между конечными узлами (рис. 5.1)? Особую сложность приобретает эта задача для не полностью связной топологии сети, когда обмен данными между

произвольной парой конечных узлов (пользователей) должен идти в общем случае через транзитные узлы.

Соединение конечных узлов через сеть транзитных узлов называют коммутацией. Последовательность узлов, лежащих на пути от отправителя к получателю, образует маршрут. Например, в сети, показанной на рис. 5.1, узлы 1 и 4, непосредственно не связанные между собой, вынуждены передавать данные через транзитные узлы, в качестве которых могут выступить различные узлы, например, 2, 3, 5, 6, 7, 8. Выбрав 3 и 6, получим маршрут 1 – 3 – 6 – 4. При этом узел 3 должен выполнить передачу между своими интерфейсами E и F, а узел 6 – между H и M. 3 и 6 – транзитные узлы, 1 – отправитель, 4 – получатель.

## 5.2 Определение информационных потоков

Понятно, что через один транзитный узел может проходить несколько маршрутов, например, через узел 7 (см. рис. 5.1) проходят как минимум данные, направляемые узлами 10, 6, 2 и 8.

Транзитный узел должен уметь распознавать поступающие на него потоки данных, чтобы обеспечивать передачу каждого из них именно на тот свой интерфейс, который ведет к нужному узлу, и, возможно, чтобы выбрать специфический для данного потока способ его обработки.

Информационным потоком, или потоком данных, называют непрерывную последовательность данных, объединенных набором общих признаков, выделяющих эти данные из общего сетевого трафика.

Очевидно, что при коммутации в качестве обязательного признака выступает адрес назначения данных. На основании этого признака весь поток входящих в транзитный узел данных разделяется на подпотоки, каждый из которых передается на интерфейс, соответствующий тому или иному маршруту продвижения данных.

Адреса источника и назначения определяют поток для пары соответствующих конечных узлов. Однако часто бывает полезно представить этот поток в виде нескольких подпотоков, причем для каждого из них может быть проложен свой особый маршрут.

Возможна и обратная по отношению к выделению подпотоков операция – агрегирование потоков. Обычно она выполняется на магистральных сетях, которые передают очень большое количество индивидуальных потоков. Агрегирование потоков, имеющих общую часть

маршрута через сеть, позволяет уменьшить количество хранимой промежуточными узлами сети информации, так как агрегированные потоки описываются в них как одно целое. В результате снижается нагрузка на промежуточные узлы сети и повышается их быстродействие.

Признаки потока могут иметь глобальное или локальное значение – в первом случае они однозначно определяют поток в пределах всей сети, а во втором – в пределах одного транзитного узла. Пара идентифицирующих поток адресов конечных узлов – это пример глобального признака. Примером признака, локально определяющего поток в пределах устройства, может служить номер (идентификатор) интерфейса данного устройства, на который поступили данные. Например, узел 1 (рис 5.1) может быть настроен так, чтобы передавать на интерфейс А все данные, поступившие с интерфейса В, а на интерфейс С – данные, поступившие с интерфейса D. Такое правило позволяет отделить поток данных узла 5 от потока данных узла 8 и направлять их для транзитной передачи через разные узлы сети, в данном случае поток узла 5 – через узел 3, а поток узла 8 – через узел 2.

Метка потока – это особый тип признака. Она представляет собой некоторое число, которое несут все данные потока. Глобальная метка назначается данным потока и не меняет своего значения на всем протяжении его пути следования от узла источника до узла назначения, таким образом, она уникально определяет поток в пределах сети. В некоторых технологиях используются локальные метки потока, динамически меняющие свое значение при передаче данных от одного узла к другому.

### 5.3. Маршрутизация

Задача маршрутизации, в свою очередь, включает в себя две подзадачи:

- определение маршрута;
- оповещение сети о выбранном маршруте.

*Определить маршрут* означает выбрать последовательность транзитных узлов и их интерфейсов, через которые надо передавать данные, чтобы доставить их адресату. Определение маршрута – сложная задача, особенно когда конфигурация сети такова, что между парой взаимодействующих сетевых интерфейсов существует множество путей. Чаще всего выбор останавливают на одном оптимальном

по некоторому критерию маршруте. В качестве критериев оптимальности могут выступать, например, пропускная способность и загруженность каналов связи; задержки, вносимые каналами; количество промежуточных транзитных узлов; надежность каналов и транзитных узлов.

Маршрут может определяться эмпирически («вручную») администратором сети на основании различных, часто не формализуемых соображений.

Однако эмпирический подход к определению маршрутов мало пригоден для большой сети со сложной топологией. В этом случае используются автоматические методы определения маршрутов. Для этого конечные узлы и другие устройства сети оснащаются специальными программными средствами, которые организуют взаимный обмен служебными сообщениями, позволяющий каждому узлу составить свое «представление» о сети. Затем на основе собранных данных программными методами определяются рациональные маршруты.

При выборе маршрута часто ограничиваются только информацией о топологии сети. Например, существует много альтернативных маршрутов из узла 1 в узел 4, но, с точки зрения топологии, маршрут 1–5–4 лучший, так как содержит наименьшее число транзитных узлов. Решение было найдено путем минимизации критерия, в качестве которого в данном примере выступала длина маршрута, измеренная количеством транзитных узлов. Однако зачастую более важным является пропускная способность каналов.

Абстрактная оценка условного «расстояния» между двумя узлами сети называется метрикой.

После того как маршрут определен (вручную или автоматически), надо оповестить о нем все устройства сети. Сообщение о маршруте должно нести каждому транзитному устройству примерно такую информацию: «каждый раз, когда в устройство поступят данные, относящиеся к потоку X, их следует передать для дальнейшего продвижения на интерфейс B». Каждое подобное сообщение о маршруте обрабатывается транзитным устройством, в результате создается новая запись в таблице коммутации (называемой также таблицей маршрутизации) данного устройства. В этой таблице локальному или глобальному признаку (признакам) потока (например, метке, номеру входного интерфейса или адресу назначения) ставится в соответствие номер интерфейса, на который устройство должно передавать данные, относящиеся к этому потоку.

Оповещение транзитных устройств о выбранных маршрутах, как и определение маршрута, может осуществляться вручную или автоматически. Администратор сети может зафиксировать маршрут, выполнив в ручном режиме конфигурирование устройства, например, жестко скоммутировав на длительное время определенные пары входных и выходных интерфейсов.

#### 5.4. Продвижение потоков

Когда маршруты определены, записи о них сделаны в таблицах всех транзитных узлов, все готово к выполнению основной операции – передаче данных между абонентами (коммутации абонентов).

Для каждой пары абонентов эта операция может быть представлена несколькими (по числу транзитных узлов) локальными операциями коммутации. Прежде всего, отправитель должен выставить данные на тот свой интерфейс, с которого начинается найденный маршрут, а все транзитные узлы должны соответствующим образом выполнить «переброску» данных с одного своего интерфейса на другой, другими словами, выполнить коммутацию интерфейсов. Устройство, функциональным назначением которого является коммутация, называется коммутатором. На рис. 5.2 показан коммутатор, который переключает информационные потоки между четырьмя своими интерфейсами.

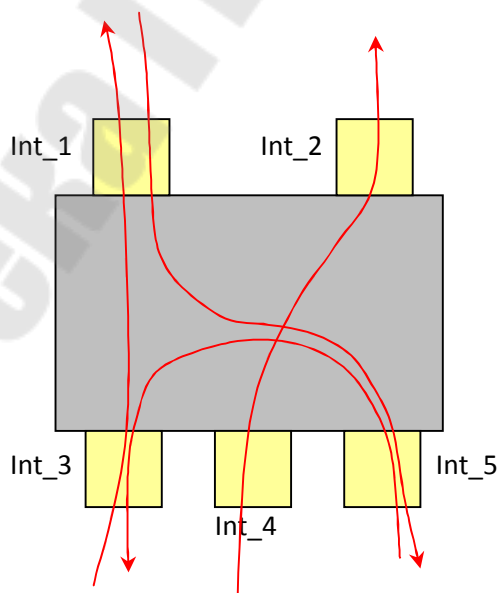


Рис. 5.2. Коммутатор

Интерфейс коммутатора (называемый также портом) является физическим модулем, состоящим из приемника и передатчика. В том случае, когда передатчик и приемник работают на дуплексный канал связи, они работают независимо друг от друга, обеспечивая одновременную передачу данных в обоих направлениях. Иногда приемную часть интерфейса называют входным интерфейсом, а выходную часть – выходным интерфейсом.

Прежде чем выполнить коммутацию, коммутатор должен распознать поток. Для этого в поступивших данных коммутатор пытается найти признак какого-либо из потоков, заданных в его таблице коммутации. Если произошло совпадение, то эти данные направляются на интерфейс, определенный для них в маршруте.

Коммутатором может быть как специализированное устройство, так и универсальный компьютер со встроенным программным механизмом коммутации, в этом случае коммутатор называется программным. Компьютер может совмещать функции коммутации данных с выполнением своих обычных функций как конечного узла. Однако во многих случаях более рациональным является решение, в соответствии с которым некоторые узлы в сети выделяются специально для коммутации. Эти узлы образуют коммутационную сеть, к которой подключаются все остальные.

## **5.5. Мультиплексирование и демультиплексирование**

Чтобы определить, на какой интерфейс следует передать поступившие данные, коммутатор должен выяснить, к какому потоку они относятся. Эта задача должна решаться независимо от того, поступает на вход коммутатора только один «чистый» поток или «смешанный» поток, являющийся результатом агрегирования нескольких потоков. В последнем случае к задаче распознавания потоков добавляется задача демультиплексирования.

Демультиплексирование – разделение суммарного потока на несколько составляющих его потоков.

Как правило, операцию коммутации сопровождает также обратная операция мультиплексирования.

Мультиплексирование (агрегирование) – образование из нескольких отдельных потоков общего агрегированного потока, который передается по одному физическому каналу связи.

Другими словами, мультиплексирование – это способ разделения одного имеющегося физического канала между несколькими одновременно протекающими сеансами связи абонентов сети.

Операции мультиплексирования/демультиплексирования имеют такое же важное значение в любой сети, как и операции коммутации, потому что без них пришлось бы для каждого потока предусматривать отдельный канал, что привело бы к большому количеству параллельных связей в сети и свело бы на нет все преимущества неполно-связной сети.

Одним из основных способов мультиплексирования потоков является разделение времени. При этом способе каждый поток время от времени (с фиксированным или случайным периодом) получает физический канал в полное свое распоряжение и передает по нему свои данные. Распространено также частотное разделение канала, когда каждый поток передает данные в выделенном ему частотном диапазоне.

Технология мультиплексирования должна позволять получателю такого суммарного потока выполнять обратную операцию – разделение (демультиплексирование) данных на слагаемые потоки. На одном интерфейсе могут одновременно выполняться обе функции – мультиплексирование и демультиплексирование.

## 5.6 Разделяемая среда передачи данных

В том случае, когда линия связи является дуплексным каналом связи, как это показано на рис. 5.3, каждый из интерфейсов монопольно использует канал связи в направлении «от себя».

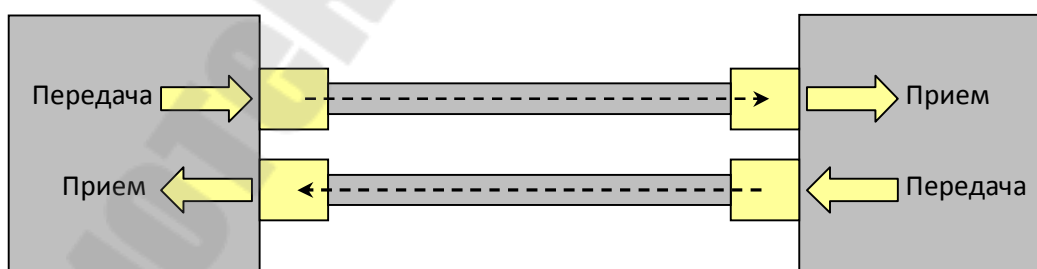


Рис. 5.3. Дуплексный канал – разделяемая среда отсутствует

Это объясняется тем, что дуплексный канал состоит из двух независимых сред передачи данных (подканалов), и так как только передатчик интерфейса является активным устройством, а приемник



пассивно ожидает поступления сигналов от приемника, то и конкуренции подканалов не возникает. Такой режим использования среды передачи данных является в настоящее время основным в компьютерных локальных и глобальных сетях.

Однако если в глобальных сетях такой режим использовался всегда, то в локальных сетях до середины 90-х годов преобладал другой режим, основанный на разделяемой среде передачи данных.

Разделяемой средой называется физическая среда передачи данных, к которой непосредственно подключено несколько передатчиков узлов сети. Причем в каждый момент времени только один из передатчиков какого-либо узла сети получает доступ к разделяемой среде и использует ее для передачи данных приемнику другого узла, подключенному к этой же среде.

В наиболее простом случае эффект разделения среды возникает при соединении двух интерфейсов с помощью полудуплексного канала связи, то есть такого канала, который может передавать данные в любом направлении, но только попеременно. В этом случае к одной и той же среде передачи данных (например, к коаксиальному кабелю или общей радиосреде) подключены два приемника двух независимых узлов сети.

При подобном применении среды передачи данных возникает новая задача совместного использования среды независимыми передатчиками таким образом, чтобы в каждый отдельный момент времени по среде передавались данные только одного передатчика. Другими словами, возникает необходимость в механизме синхронизации доступа интерфейсов к разделяемой среде.

В сетях организация совместного доступа к линиям связи имеет свою специфику из-за существенно большего времени распространения сигналов по линиям связи. Здесь процедуры согласования доступа к линии связи могут занимать слишком большой промежуток времени и приводить к значительным потерям производительности сети. Именно по этой причине механизм разделения среды в глобальных сетях практически не используется.

На первый взгляд может показаться, что механизм разделения среды очень похож на механизм мультиплексирования потоков – поскольку и в том и в другом случаях по линии связи передается несколько потоков данных. Однако здесь есть принципиальное различие, касающееся того, как контролируется (управляется) линия связи. При мультиплексировании дуплексная линия связи в каждом направ-

лении находится под полным контролем одного коммутатора, который решает, какие потоки разделяют общий канал связи.

Основной причиной отказа от разделяемой среды явилась ее низкая и плохо предсказуемая производительность, а также плохая масштабируемость. Низкая производительность объясняется тем, что пропускная способность канала связи делится между всеми компьютерами сети.

Описанные недостатки являются следствием самого принципа разделения среды, поэтому преодолеть их полностью невозможно. Появление в начале 90-х недорогих коммутаторов локальных сетей привело к настоящей революции в этой области, и постепенно коммутаторы вытеснили разделяемую среду полностью.

Сегодня механизм разделения среды используется только в беспроводных локальных сетях, где среда – радиоэфир – естественным образом соединяет все конечные узлы, находящиеся в зоне распространения сигнала.

#### *Контрольные вопросы*

1. В чем заключается обобщенная задача коммутации?
2. Что называется информационным потоком?
3. Признаки потока.
4. Проблема маршрутизации.
5. Продвижение потоков.
6. В чем суть мультиплексирования и демуплексирования?
7. Что такое разделяемая среда передачи данных?
8. Дуплексный и полудуплексный каналы связи.

## Глава № 6. Коммутация каналов. Коммутация пакетов

*Основные понятия: коммутация каналов, пропускная способность, дискретная модуляция, составной канал, элементарный канал, коммутация каналов, пульсация трафика, буферизация пакетов, дейтаграммная передача, логическое соединение, виртуальный канал.*

В общем случае решение каждой из частных задач коммутации – определение потоков и соответствующих маршрутов, фиксация маршрутов в конфигурационных параметрах и таблицах сетевых устройств, распознавание потоков и передача данных между интерфейсами одного устройства, мультиплексирование и демultipлексирование потоков и разделение среды передачи – тесно связано с решением всех остальных. Комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации в совокупности составляет базис любой сетевой технологии. От того, какой механизм прокладки маршрутов, продвижения данных и совместного использования каналов связи заложен в той или иной сетевой технологии, зависят ее фундаментальные свойства.

Среди множества возможных подходов к решению задачи коммутации абонентов в сетях выделяют два основополагающих:

- *коммутация каналов;*
- *коммутация пакетов.*

*Сети с коммутацией каналов* имеют более богатую историю, они произошли 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. Каждая из этих схем имеет свои достоинства и недостатки, но по долгосрочным прогнозам многих специалистов, будущее принадлежит технологии коммутации *пакетов*, как более гибкой и универсальной. Однако есть и альтернативная точка зрения, заключающаяся в том, что этот спор пока не решен, и скорее всего, две техники коммутации будут сосуществовать еще долгое время, дополняя друг друга.

### 6.1. Коммутация каналов

Одной из особенностей сетей с коммутацией каналов является использование понятия «элементарный канал».

Элементарный канал – это базовая техническая характеристика сети с коммутацией каналов, представляющая собой некоторое фиксированное в пределах данного типа сетей значение пропускной способности. Любая линия связи в сети с коммутацией каналов имеет пропускную способность, кратную элементарному каналу, принятому для данного типа сети.

Численное значение элементарного канала, или, другими словами, минимальная единица пропускной способности линии связи, выбирается с учетом разных факторов. Очевидно, однако, что элементарный канал не стоит выбирать меньше минимально необходимой пропускной способности для передачи ожидаемой нагрузки. Например, в современных телефонных сетях наиболее распространенным значением элементарного канала является скорость 64 Кбит/с – это минимально достаточная скорость для качественной цифровой передачи голоса.

Сети, построенные по принципу коммутации каналов, имеют богатую историю, они и сегодня находят широкое применение в мире телекоммуникаций, являясь основой первичных сетей, позволяющих создавать высокоскоростные магистральные каналы связи. Первые сеансы связи между компьютерами были осуществлены через телефонную сеть, то есть также с применением техники коммутации каналов, а пользователи, которые получают доступ в Интернет по модему, продолжают обслуживаться этими сетями, так как их данные доходят до оборудования провайдера по местной телефонной сети.

Сеть с коммутацией каналов представляет собой множество коммутаторов и конечных узлов – абонентов, соединенных между собой линиями (звеньями) связи. Заметим, что в данном контексте термин «линия связи» используется для обозначения соединения двух соседних узлов сети.

В качестве информационных потоков в сетях с коммутацией каналов выступают данные, которыми обмениваются пары абонентов. Время существования информационного потока ограничивается рамками сеанса связи абонентов. Глобальным признаком потока является пара адресов (например, телефонных номеров) абонентов, связывающихся между собой через последовательность коммутаторов.

Для всех возможных потоков заранее определяются маршруты. Маршруты в сетях с коммутацией каналов задаются либо «вручную» администратором сети, либо находятся автоматически с привлечением специальных программных и аппаратных средств. Маршруты фикс-

сируются в таблицах коммутации, в которых признакам потока ставятся в соответствие идентификаторы выходных интерфейсов коммутаторов.

Линии связи в сетях с коммутацией каналов (как, впрочем, и в остальных типах компьютерных сетей) имеют разную пропускную способность, одни – большую, другие – меньшую. Выбирая линии связи с разными скоростными качествами, специалисты, проектирующие сеть, стараются учесть разную интенсивность информационных потоков, которые могут возникнуть в разных фрагментах сети: чем ближе к центру сети, тем выше пропускная способность линии связи, так как магистральные линии агрегируют трафик большого количества периферийных линий связи.

Особенностью сетей с коммутацией каналов является то, что пропускная способность каждой линии связи должна быть равна целому числу элементарных каналов.

## 6.2. Дискретная модуляция и оцифровывание голоса

Задача оцифровывания голоса является частным случаем более общей проблемы – передачи аналоговой информации в дискретной форме.

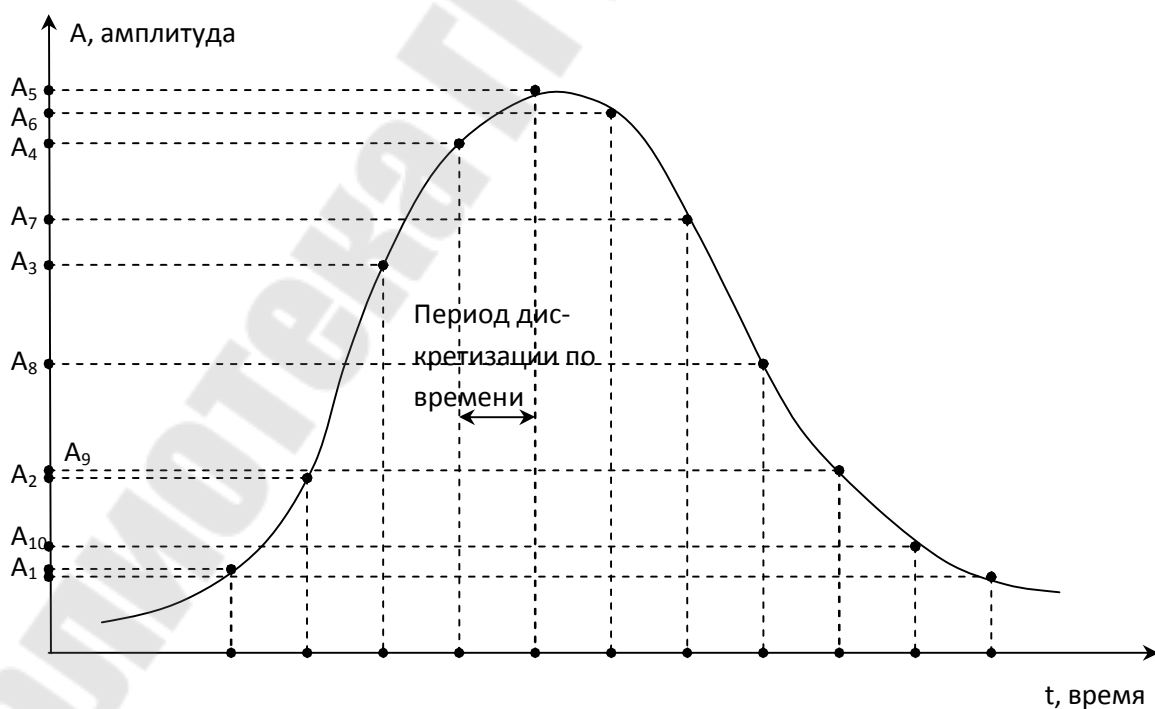


Рис. 6.1. Дискретная модуляция непрерывного процесса

Она была решена в 60-е годы, когда голос начал передаваться по телефонным сетям в виде последовательности единиц и нулей. Такое преобразование основано на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени (рис. 6.1).

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 – непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений.

Для качественной передачи голоса используется частота квантования амплитуды звуковых колебаний в 8000 Гц (дискретизация по времени с интервалом 125 мкс). Для представления амплитуды одного замера чаще всего используется 8 бит кода, что дает 256 градаций звукового сигнала (дискретизация по значениям). В этом случае для передачи одного голосового канала необходима пропускная способность 64 Кбит/с:  $8000 : 8 = 64\ 000$  бит/с или 64 Кбит/с. Такой голосовой канал называют элементарным каналом цифровых телефонных сетей.

### **6.3. Составной канал**

Канал, построенный путем коммутации (соединения) выделенных для информационного потока элементарных каналов, называют составным каналом.

Отметим следующие свойства составного канала:

- составной канал на всем своем протяжении состоит из одинакового количества элементарных каналов;
- составной канал имеет постоянную и фиксированную пропускную способность на всем своем протяжении;
- составной канал создается временно на период сеанса связи двух абонентов или, другими словами, только на время существования потока;
- на время сеанса связи все элементарные каналы, входящие в составной канал, поступают в исключительное пользование абонентов, для которых был создан этот составной канал;
- в течение всего сеанса связи абоненты могут посылать в сеть данные со скоростью, не превышающей пропускную способность составного канала;

- данные, поступившие в составной канал, гарантированно доставляются вызываемому абоненту без задержек, потерь и с той же скоростью (скоростью источника) вне зависимости от того, существуют ли в это время в сети другие соединения или нет;
- после окончания сеанса связи элементарные каналы, входившие в соответствующий составной канал, объявляются свободными и возвращаются в пул распределяемых ресурсов для использования другими абонентами.

В сети может одновременно происходить несколько сеансов связи (обычная ситуация для телефонной сети, в которой одновременно передаются разговоры сотен и тысяч абонентов). Разделение сети между сеансами связи происходит на уровне элементарных каналов. Например, мы можем предположить, что после того, как в линии связи S1-S2, имеющей толщину в пять элементарных каналов, было выделено два канала для связи абонентов А и В, оставшиеся три элементарных канала были распределены между тремя другими сеансами связи, проходившими в это же время и через эту же линию связи. Такое *мультиплексирование* позволяет одновременно передавать через каждый физический канал трафик нескольких логических соединений.

Мультиплексирование означает, что абоненты вынуждены конкурировать за ресурсы, в данном случае за элементарные каналы. Возможны ситуации, когда некоторая промежуточная линия связи уже исчерпала свободные элементарные каналы – тогда новый сеанс связи, маршрут которого пролегает через данную линию связи, не может состояться.

Обмен данными в сети с коммутацией каналов предваряется процедурой установления соединения. В соответствии с этой процедурой абонент, являющийся инициатором сеанса связи (например, абонент А), посылает в коммутационную сеть запрос, представляющий собой сообщение, содержащее адрес вызываемого абонента, например, абонента В.

Цель запроса – проверить, можно ли образовать составной канал между вызывающим и вызываемым абонентами. Для этого требуется соблюдение двух условий: наличие требуемого числа свободных элементарных каналов в каждой линии связи, лежащей на пути от А к В, и незанятость вызываемого абонента в другом соединении.

Запрос перемещается по маршруту, заранее определенному для информационного потока данной пары абонентов. Этот маршрут за-

фиксирован в глобальных таблицах коммутации, размещенных на всех промежуточных коммутаторах на пути от абонента А к В.

После того как составной канал считается установленным и в каждом коммутаторе сформированы соответствующие записи в локальных таблицах коммутации, абоненты А и В могут начать свой сеанс связи.

Таким образом, продвижение данных в сетях с коммутацией каналов происходит в два этапа:

1. В сеть поступает служебное сообщение – запрос, который несет адрес вызываемого абонента и инициирует создание составного канала.
2. По подготовленному составному каналу передается основной поток данных, для передачи которого уже не требуется никакой вспомогательной информации, в том числе адреса вызываемого абонента. Коммутация данных в коммутаторах выполняется на основе локальных признаков потока – номеров выделенных ему элементарных каналов.

Запросы на установление соединения не всегда завершаются успешно. Если на пути между вызывающим и вызываемым абонентами отсутствуют свободные элементарные каналы или вызываемый узел занят, то происходит отказ в установлении соединения.

Существует также статический ручной режим установления соединения, характерный для случаев, когда необходимо установить составной канал не на время одного сеанса связи абонентов, а на более долгий срок. Создание такого долговременного канала не могут инициировать абоненты – он создается администратором сети.

Технология коммутации каналов ориентирована на минимизацию случайных событий в сети, то есть это технология, стремящаяся к детерминизму. Во избежание всевозможных неопределенностей значительная часть работы по организации информационного обмена выполняется еще до того, как начнется собственно передача данных. Сначала по заданному адресу проверяется доступность необходимых элементарных каналов на всем пути от отправителя до адресата. Затем эти каналы закрепляются на все время сеанса для исключительного использования двумя абонентами и коммутируются в один непрерывный «трубопровод» (составной канал), имеющий «шлюзовые задвижки» на стороне каждого из абонентов. После этой исчерпывающей подготовительной работы остается сделать самое малое: «от-



крыть шлюзы» и позволить информационному потоку свободно и без помех «перетекать» между заданными точками сети.

#### **6.4. Неэффективность передачи пульсирующего трафика**

Сети с коммутацией каналов наиболее эффективно передают пользовательский трафик в том случае, когда скорость его постоянна в течение всего сеанса связи и максимально соответствует фиксированной пропускной способности физических линий связи сети. Эффективность работы сети снижается, когда информационные потоки, генерируемые абонентами, приобретают пульсирующий характер.

Так, разговаривая по телефону, люди постоянно меняют темп речи, перемежая быстрые высказывания паузами. В результате соответствующие «голосовые» информационные потоки становятся неравномерными, а значит, снижается эффективность передачи данных. Правда, в случае телефонных разговоров это снижение оказывается вполне приемлемым и позволяет широко использовать сети с коммутацией каналов для передачи голосового трафика.

Гораздо сильнее снижает эффективность сети с коммутацией каналов передача так называемого компьютерного трафика, то есть трафика, генерируемого приложениями, с которыми работает пользователь компьютера. Этот трафик практически всегда является пульсирующим. Например, при загрузке из Интернета очередной страницы, скорость трафика резко возрастает, а после окончания загрузки падает практически до нуля. Если для описанного сеанса доступа в Интернет задействуется сеть с коммутацией каналов, то большую часть времени составной канал между вашим компьютером и веб-сервером будет простаивать. В то же время часть пропускной способности сети окажется закрепленной за вами и останется недоступной другим пользователям сети. Сеть в такие периоды похожа на пустой эскалатор метро, который движется, но полезную работу не выполняет.

Для эффективной передачи неравномерного компьютерного трафика была специально разработана техника коммутации пакетов.

#### **6.5. Коммутация пакетов**

Сети с коммутацией пакетов, так же как и сети с коммутацией каналов, состоят из коммутаторов, связанных физическими линиями

связи. Однако передача данных в этих сетях происходит совершенно по-другому.

Сеть с коммутацией пакетов может принять данные для передачи, не заботясь о резервировании линий связи на пути следования этих данных и не гарантируя требуемую пропускную способность. Сеть с коммутацией пакетов не создает заранее для своих абонентов отдельных каналов связи, выделенных исключительно для них. Данные могут задерживаться и даже теряться по пути следования.

Важнейшим принципом функционирования сетей с коммутацией пакетов является представление информации, передаваемой по сети, в виде структурно отделенных друг от друга порций данных, называемых пакетами.

Каждый пакет снабжен заголовком, в котором содержится адрес назначения и другая вспомогательная информация (длина поля данных, контрольная сумма и др.), используемая для доставки пакета адресату. Также в пакете содержится и пользовательская информация, называемая полезной нагрузкой.

Помимо заголовка у пакета может иметься еще одно дополнительное поле, размещаемое в конце пакета и поэтому называемое концевиком (прицепом). В концевике обычно помещается контрольная сумма, которая позволяет проверить, была ли искажена информация при передаче через сеть или нет.

Пакеты могут иметь фиксированную или переменную длину. Теоретически, максимальный размер IP-дейтаграммы составляет 65 535 байтов, что обусловлено 16-разрядным полем полной длины в IP-заголовке. В функции уровня IP входит разбиение слишком длинного для конкретного типа составляющей сети сообщения на более короткие пакеты с созданием соответствующих служебных полей, нужных для последующей сборки фрагментов в исходное сообщение.

Пакеты поступают в сеть в том темпе, в котором их генерирует источник. Предполагается, что сеть с коммутацией пакетов, в отличие от сети с коммутацией каналов, всегда готова принять пакет от конечного узла.

Как и в сетях с коммутацией каналов, в сетях с коммутацией пакетов для каждого из потоков вручную или автоматически определяется маршрут, фиксируемый в хранящихся на коммутаторах таблицах коммутации. Пакеты, попадая на коммутатор, обрабатываются и на-

правляются по тому или иному маршруту на основании информации, содержащейся в их заголовках, а также в таблице коммутации.

Пакеты, принадлежащие как одному и тому же, так и разным информационным потокам, при перемещении по сети могут «перемешиваться» между собой, образовывать очереди и «тормозить» друг друга. На пути пакетов могут встречаться линии связи, имеющие разную пропускную способность. В зависимости от времени суток может сильно меняться и степень загруженности линий связи. В таких условиях не исключены ситуации, когда пакеты, принадлежащие одному и тому же потоку, могут перемещаться по сети с разными скоростями и даже прийти к месту назначения не в том порядке, в котором они были отправлены.

Разделение данных на пакеты позволяет передавать неравномерный компьютерный трафик более эффективно, чем в сетях с коммутацией каналов. Это объясняется тем, что пульсации трафика от отдельных компьютеров носят случайный характер и распределяются во времени так, что их пики чаще всего не совпадают. Поэтому когда линия связи передает трафик большого количества конечных узлов, в суммарном потоке пульсации сглаживаются, и пропускная способность линии используется более рационально, без длительных простоев.

## **6.6. Буферизация пакетов**

Неопределенность и асинхронность перемещения данных в сетях с коммутацией пакетов предъявляет особые требования к работе коммутаторов в таких сетях.

Главное отличие пакетных коммутаторов от коммутаторов в сетях с коммутацией каналов состоит в том, что они имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов.

Действительно, пакетный коммутатор не может принять решения о продвижении пакета, не имея в своей памяти всего пакета. Коммутатор проверяет контрольную сумму; если она говорит о том, что данные пакета не искажены, то коммутатор начинает обрабатывать пакет и по адресу назначения определяет следующий коммутатор. Поэтому каждый пакет последовательно, бит за битом, помещается во входной буфер. Имея в виду это свойство, говорят, что сети с коммутацией пакетов используют технику сохранения с продвижением.

ем (store-and-forward). Заметим, что для этой цели коммутатору было бы достаточно иметь буфер размером в один пакет.

Но коммутатору нужны буферы и для других целей, в частности, для согласования скоростей передачи данных в линиях связи, подключенных к его интерфейсам. Действительно, если скорость поступления потока пакетов из одной линии связи в течение некоторого периода превышает пропускную способность той линии связи, в которую эти пакеты должны быть направлены, то во избежание потерь пакетов на целевом интерфейсе необходимо организовать выходную очередь.

Буферизация необходима пакетному коммутатору и для согласования скорости поступления пакетов со скоростью их коммутации. Если коммутирующий блок не успевает обрабатывать пакеты (анализировать заголовки и перебрасывать пакеты на нужный интерфейс), то на интерфейсах коммутатора возникают входные очереди. Очевидно, что для хранения входной очереди объем буфера должен превышать размер одного пакета.

Поскольку объем буферов в коммутаторах ограничен, иногда происходит потеря пакетов из-за переполнения буферов при временной перегрузке части сети, когда, например, совпадают периоды пульсации нескольких информационных потоков. Для компенсации таких потерь в технологии коммутации пакетов предусмотрен ряд специальных механизмов.

Пакетный коммутатор может работать на основании одного из трех методов продвижения пакетов:

- дейтаграммная передача;
- передача с установлением логического соединения;
- передача с установлением виртуального канала.

### **6.7. Дейтаграммная передача**

*Дейтаграммный* способ передачи данных основан на том, что все передаваемые пакеты продвигаются (передаются от одного узла сети другому) независимо друг от друга на основании одних и тех же правил. Никакая информация об уже переданных пакетах сетью не хранится и в ходе обработки очередного пакета во внимание не принимается. То есть каждый отдельный пакет рассматривается сетью как совершенно независимая единица передачи – дейтаграмма.

Решение о продвижении пакета принимается на основе таблицы коммутации, ставящей в соответствие адресам назначения пакетов информацию, однозначно определяющую следующий по маршруту транзитный (или конечный) узел. В качестве такой информации могут выступать идентификаторы интерфейсов данного коммутатора или адреса входных интерфейсов коммутаторов, следующих по маршруту.

В таблице коммутации для одного и того же адреса назначения может содержаться несколько записей, указывающих соответственно на различные адреса следующего коммутатора. Такой подход называется балансом нагрузки и используется для повышения производительности и надежности сети. Пакеты, следующие по одному и тому же адресу назначения, могут добираться до него разными путями также вследствие изменения состояния сети, например отказа промежуточных коммутаторов.

Дейтаграммный метод работает быстро, так как никаких предварительных действий перед отправкой данных проводить не требуется. Однако при таком методе трудно проверить факт доставки пакета узлу назначения.

## **6.8. Передача с установлением логического соединения**

Следующий рассматриваемый нами способ продвижения пакетов основывается на знании устройствами сети «истории» обмена данными, например, на запоминании узлом-отправителем числа отправленных, а узлом-получателем – числа полученных пакетов. Такого рода информация фиксируется в рамках логического соединения.

Процедура согласования двумя конечными узлами сети некоторых параметров процесса обмена пакетами называется установлением *логического соединения*. Параметры, о которых договариваются два взаимодействующих узла, называются параметрами логического соединения.

Наличие логического соединения позволяет более рационально по сравнению с дейтаграммным способом обрабатывать пакеты. Например, при потере нескольких предыдущих пакетов может быть снижена скорость отправки последующих. Напротив, благодаря нумерации пакетов и отслеживанию номеров отправленных и принятых пакетов можно повысить надежность путем отбрасывания дубликатов, упорядочивания поступивших и повторения передачи потерянных пакетов.

Параметры соединения могут быть постоянными, то есть не изменяющимися в течение всего соединения (например, идентификатор соединения, способ шифрования пакета или максимальный размер поля данных пакета), или переменными, то есть динамически отражающими текущее состояние соединения (например, последовательные номера передаваемых пакетов).

Когда отправитель и получатель фиксируют начало нового соединения, они прежде всего «договариваются» о начальных значениях параметров процедуры обмена и только после этого начинают передачу собственно данных.

Передача с установлением соединения предоставляет больше возможностей в плане надежности и безопасности обмена данными, чем дейтаграммная передача. Однако этот способ более медленный, так как он подразумевает дополнительные вычислительные затраты на установление и поддержание логического соединения.

### **6.9. Передача с установлением виртуального канала**

Следующий способ продвижения данных в пакетных сетях основан на частном случае логического соединения, в число параметров которого входит жестко определенный для всех пакетов маршрут. То есть все пакеты, передаваемые в рамках данного соединения, должны проходить строго по одному и тому же закреплённому за этим соединением пути.

Единственный заранее проложенный фиксированный маршрут, соединяющий конечные узлы в сети с коммутацией пакетов, называют *виртуальным каналом*.

Виртуальные каналы прокладываются для устойчивых информационных потоков. С целью выделения потока данных из общего трафика каждый пакет этого потока помечается признаком особого вида – меткой.

Как и в сетях с установлением логических соединений, прокладка виртуального канала начинается с отправки узлом-источником специального пакета – запроса на установление соединения. В запросе указываются адрес назначения и метка потока, для которого прокладывается этот виртуальный канал. Запрос, проходя по сети, формирует новую запись в таблице каждого из коммутаторов, расположенных на пути от отправителя до получателя. Запись говорит о том, каким образом коммутатор должен обслуживать пакет, имеющий за-

данную метку. Образованный виртуальный канал идентифицируется той же меткой.

После прокладки виртуального канала сеть может передавать по нему соответствующий поток данных. Во всех пакетах, которые переносят пользовательские данные, адрес назначения уже не указывается, его роль играет метка виртуального канала. При поступлении пакета на входной интерфейс коммутатор читает значение метки из заголовка пришедшего пакета и просматривает свою таблицу коммутации, по которой определяет, на какой выходной порт передать пришедший пакет.

Таблица коммутации в сетях, использующих виртуальные каналы, отличается от таблицы коммутации в дейтаграммных сетях. Она содержит записи только о проходящих через коммутатор виртуальных каналах, а не обо всех возможных адресах назначения, как это имеет место в сетях с дейтаграммным алгоритмом продвижения. Обычно в крупной сети количество проложенных через узел виртуальных каналов существенно меньше общего количества узлов, поэтому таблицы коммутации в этом случае намного короче и, следовательно, анализ такой таблицы занимает у коммутатора меньше времени.

Использование в сетях техники виртуальных каналов не делает их сетями с коммутацией каналов. Хотя в подобных сетях также применяется процедура предварительного установления канала, этот канал является виртуальным, то есть по нему передаются отдельные пакеты, а не потоки информации с постоянной скоростью, как в сетях с коммутацией каналов.

В одной и той же сетевой технологии могут быть задействованы разные способы продвижения данных. Так, для передачи данных между отдельными сетями, составляющими Интернет, используется дейтаграммный протокол IP. В то же время обеспечением надежной доставки данных между конечными узлами этой сети занимается протокол TCP, устанавливающий логические соединения без фиксации маршрута. И, наконец, Интернет – это пример сети, применяющей технику виртуальных каналов, так как в состав Интернета входит немало сетей MPLS, поддерживающих виртуальные каналы.

## **6.10. Сравнение сетей с коммутацией пакетов и каналов**

Сравнение свойств сетей с коммутацией каналов и сетей с коммутацией пакетов зафиксируем в виде таблицы.

## Сравнение свойств сетей с коммутацией каналов и пакетов

Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Необходимо предварительно устанавливать соединение □	Отсутствует этап установления соединения (дейтаграммный способ)
Адрес требуется только на этапе установления соединения	Адрес и другая служебная информация передаются с каждым пакетом
Сеть может отказать абоненту в установлении соединения □	Сеть всегда готова принять данные от абонента
Гарантированная пропускная способность (полоса пропускания) для взаимодействующих абонентов	Пропускная способность сети для абонентов неизвестна, задержки передачи носят случайный характер
Трафик реального времени передается без задержек	Ресурсы сети используются эффективно при передаче пульсирующего трафика
Высокая надежность передачи	Возможны потери данных из-за переполнения буферов
Нерациональное использование пропускной способности каналов, снижающее общую эффективность сети □	Автоматическое динамическое распределение пропускной способности физического канала между абонентами □

*Контрольные вопросы*

1. Сети с коммутацией каналов.
2. Особенности продвижения данных в сетях с коммутацией каналов.
3. Коммутация каналов.
4. Дискретная модуляция.
5. Составной канал.
6. Что называется элементарным каналом?
7. Проблемы, связанные с пульсацией трафика, и их особенности в сетях обоих типов.
8. Пакетные коммутаторы и буферизация пакетов.
9. Дейтаграммная передача.
10. Передача с установлением логического соединения.
11. Передача с установлением виртуального канала.
12. Провести сравнительный анализ сетей с коммутацией каналов и коммутацией пакетов.



## Литература

1. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.
2. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание / В. Олифер, Н. Олифер. – СПб.: Питер, 2020. – 1008 с.
3. Куроуз, Дж., Росс, К. Компьютерные сети: нисходящий подход / Джеймс Куроуз, Кит Росс. – 6-е изд. – М.: Из-во «Э», 2016. – 912 с.

**Бельский Вадим Алексеевич**

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ**

**Пособие**

**по одноименной дисциплине для слушателей  
специальностей переподготовки  
1-40 01 74 «Web-дизайн и компьютерная графика»  
и 1-40 01 73 «Программное обеспечение  
информационных систем»  
заочной формы обучения**

**ЧАСТЬ 1**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 06.10.20.

Рег. № 26Е.

<http://www.gstu.by>