

## Лекция №5

### Эволюция компьютерных сетей. Общие принципы и проблемы организации компьютерных сетей

#### План

1. Эволюция компьютерных сетей.
2. Общие принципы построения компьютерных сетей.
3. Основные проблемы построения сетей.
4. Обобщенная задача коммутации.
5. Локальные и глобальные сети.
6. Конвергенция сетей
7. Сети отделов, кампусов и корпораций.

#### 1. Эволюция компьютерных сетей

Компьютерные сети появились сравнительно недавно, в конце 60-х годов прошлого столетия. *Компьютерные сети*, называемые так же *сетями передачи данных*, являются логическим результатом эволюции двух важнейших научно-технических отраслей современной цивилизации – компьютерных и телекоммуникационных технологий.

Этот эффект особенно проявился в середине 90-х, во время Интернет революции, когда стало ясно, что возможности свободного и анонимного доступа к информации и быстрому, хотя и письменному общению очень ценятся людьми.

Результатом влияния компьютерных сетей на остальные типы телекоммуникационных сетей стал процесс их конвергенции. Этот процесс начался достаточно давно, одним из первых признаков сближения стала передача телефонными сетями голоса в цифровой форме. Компьютерные сети также активно идут навстречу телекоммуникационным сетям, разрабатывая новые сервисы, которые ранее были прерогативой телефонных, радио и телевизионных сетей — сервисы IP-телефонии, радио- и видеовещания, ряд других.

С одной стороны, сети представляют собой частный случай распределенных вычислительных систем, в которых группа компьютеров согласованно выполняет набор взаимосвязанных за-

дач, 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 (рис. 5.1).

### Эволюция вычислительной техники

Первыми появились *системы пакетной обработки*, ко-

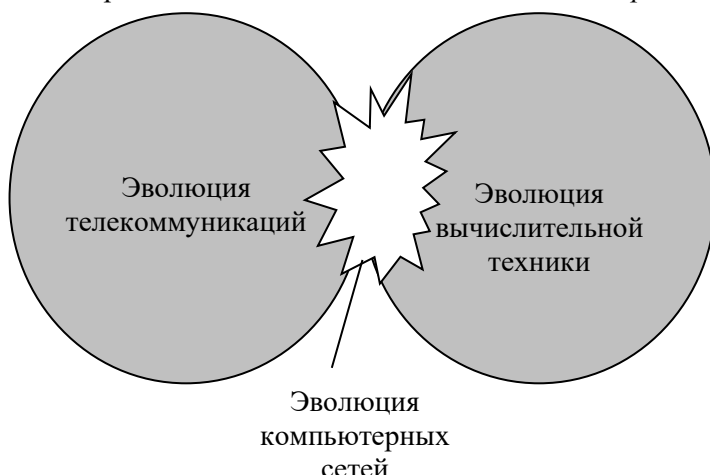


Рис. 5.1. Эволюция компьютерных сетей на стыке вычислительной техника и телекоммуникационных технологий

торые, как правило, строились на базе мэйнфрейма - мощного и надежного компьютера универсального назначения.

Пользователи подготавливали перфокарты, содержащие данные и команды программ, и передавали их в вычислительный центр. Операторы вводили эти карты в компьютер, а распечатанные результаты пользователи получали обычно только на следующий день. Таким образом, одна неверно набитая карта означала как минимум суточную задержку.

Конечно, для пользователей интерактивный режим работы, По мере удешевления процессоров в начале 60-х годов по-

явились новые способы организации вычислительного процесса, которые позволили учесть интересы пользователей. Начали развиваться *интерактивные многотерминальные системы разделения времени*. В таких системах компьютер отдавался в распоряжение сразу нескольким пользователям. Каждый пользователь получал в свое распоряжение терминал, с помощью которого он мог вести диалог с компьютером. Причем время реакции компьютерной системы было достаточно мало для того, чтобы пользователю была не слишком заметна параллельная работа с компьютером и других пользователей. Разделяя таким образом компьютер, пользователи получили возможность за сравнительно небольшую плату пользоваться преимуществами компьютеризации.

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. Такие многотерминальные централизованные системы внешне уже были очень похожи на локальные компьютерные сети.

Таким образом, многотерминальные системы, работающие в режиме разделения времени, стали первым шагом на пути создания локальных компьютерных сетей. Но до появления локальных сетей нужно было пройти еще большой путь, так как многотерминальные системы, хотя и имели внешние черты распределенных систем, все еще сохраняли централизованный характер обработки данных. С другой стороны, и потребность предприятий в создании локальных сетей в это время еще не созрела - в одном здании просто нечего было объединять в сеть, так как из-за высокой стоимости вычислительной техники предприятия не могли себе позволить роскошь приобретения нескольких компьютеров. В этот период был справедлив так называемый «закон Гроша», который эмпирически отражал уровень технологии того времени. В соответствии с этим законом производительность компьютера была пропорциональна квадрату его стоимости, отсюда следовало, что за одну и ту же сумму было выгод-

нее купить одну мощную машину, чем две менее мощных - их суммарная мощность оказывалась намного ниже мощности дорожной машины.

### **Появление глобальных сетей**

Тем не менее, потребность в соединении компьютеров, находящихся на большом расстоянии друг от друга, к этому времени вполне назрела. Началось все с решения более простой задачи - доступа к компьютеру с терминалов, удаленных от него на многие сотни, а то и тысячи километров. Терминалы соединялись с компьютерами через телефонные сети с помощью модемов. Такие сети позволяли многочисленным пользователям получать удаленный доступ к разделяемым ресурсам нескольких мощных компьютеров класса суперЭВМ. Затем появились системы, в которых наряду с удаленными соединениями типа терминал-компьютер были реализованы и удаленные связи типа компьютер-компьютер. Компьютеры получили возможность обмениваться данными в автоматическом режиме, что, собственно, и является базовым механизмом любой компьютерной сети. Используя этот механизм, в первых сетях были реализованы службы обмена файлами, синхронизации баз данных, электронной почты и другие, ставшие теперь традиционными сетевые службы.

Таким образом, хронологически первыми появились глобальные компьютерные сети. Именно при построении глобальных сетей были впервые предложены и отработаны многие основные идеи и концепции современных компьютерных сетей. Такие, например, как многоуровневое построение коммуникационных протоколов, технология коммутации пакетов, маршрутизация пакетов в составных сетях.

### **Первые локальные сети**

В начале 70-х годов произошел технологический прорыв в области производства компьютерных компонентов - появились большие интегральные схемы. Их сравнительно невысокая стоимость и высокие функциональные возможности привели к созданию мини-компьютеров, которые стали реальными конкурентами мэйнфреймов. Закон Гроша перестал соответствовать действительности, так как десяток мини-компьютеров выполнял

некоторые задачи (как правило, хорошо распараллеливаемые) быстрее одного мэйнфрейма, а стоимость такой мини-компьютерной системы была меньше.

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

Но шло время, потребности пользователей вычислительной техники росли, им стало недостаточно собственных компьютеров, им уже хотелось получить возможность обмена данными с другими близко расположенными компьютерами. В ответ на эту потребность предприятия и организации стали соединять свои мини-компьютеры вместе и разрабатывать программное обеспечение, необходимое для их взаимодействия. В результате появились первые локальные компьютерные сети. Они еще во многом отличались от современных локальных сетей, в первую очередь - своими устройствами сопряжения. На первых порах для соединения компьютеров друг с другом использовались самые разнообразные нестандартные устройства со своим способом представления данных на линиях связи, своими типами кабелей и т. п.

### **Создание стандартных технологий локальных сетей**

В середине 80-х годов положение дел в локальных сетях стало кардинально меняться. Утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в сеть - Ethernet, Arcnet, Token Ring. Мощным стимулом для их развития послужили персональные компьютеры. Эти массовые продукты явились идеальными элементами для построения сетей - с одной стороны, они были достаточно мощными для работы 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 мини-компьютеры и мэйнфреймы.

Стандартные сетевые технологии превратили процесс построения локальной сети из искусства в рутинную работу. Для создания сети достаточно было приобрести сетевые адаптеры соответствующего стандарта, например Ethernet, стандартный кабель, присоединить адаптеры к кабелю стандартными разъемами и установить на компьютер одну из популярных сетевых операционных систем, например, NetWare. После этого сеть начинала работать и присоединение каждого нового компьютера не вызывало никаких проблем - естественно, если на нем был установлен сетевой адаптер той же технологии.

Локальные сети в сравнении с глобальными сетями внесли много нового в способы организации работы пользователей. Доступ к разделяемым ресурсам стал гораздо удобнее - пользователь мог просто просматривать списки имеющихся ресурсов, а не запоминать их идентификаторы или имена. После соединения с удаленным ресурсом можно было работать с ним с помощью уже знакомых пользователю по работе с локальными ресурсами команд. Последствием и одновременно движущей силой такого прогресса стало появление огромного числа непрофессиональных пользователей, которым совершенно не нужно было изучать специальные (и достаточно сложные) команды для сетевой работы. А возможность реализовать все эти удобства разработчики локальных сетей получили в результате появления качественных кабельных линий связи, на которых даже сетевые адаптеры первого поколения обеспечивали скорость передачи данных до 10 Мбит/с.

Конечно, о таких скоростях разработчики глобальных сетей не могли даже мечтать - им приходилось пользоваться теми каналами связи, которые были в наличии, так как прокладка новых кабельных систем для компьютерных сетей протяженностью в тысячи километров потребовала бы колоссальных капитальных вложений. А «под рукой» были только телефонные каналы связи,

плохо приспособленные для высокоскоростной передачи дискретных данных - скорость в 1200 бит/с была для них хорошим достижением. Поэтому экономное расходование пропускной способности каналов связи часто являлось основным критерием эффективности методов передачи данных в глобальных сетях. В этих условиях различные процедуры прозрачного доступа к удаленным ресурсам, стандартные для локальных сетей, для глобальных сетей долго оставались непозволительной роскошью.

## **2. Общие принципы построения компьютерных сетей**

В *компьютерных сетях* программные и аппаратные связи являются еще более слабыми, а автономность обрабатывающих блоков проявляется в наибольшей степени - основными элементами сети являются стандартные компьютеры, не имеющие ни общих блоков памяти, ни общих периферийных устройств. Связь между компьютерами осуществляется с помощью специальных периферийных устройств - сетевых адаптеров, соединенных относительно протяженными каналами связи. Каждый компьютер работает под управлением собственной операционной системы, а какая-либо «общая» операционная система, распределяющая работу между компьютерами сети, отсутствует. Взаимодействие между компьютерами сети происходит за счет передачи сообщений через сетевые адаптеры и каналы связи. С помощью этих сообщений один компьютер обычно запрашивает доступ к локальным ресурсам другого компьютера. Такими ресурсами могут быть как данные, хранящиеся на диске, так и разнообразные периферийные устройства - принтеры, модемы, факс-аппараты и т. д. Разделение локальных ресурсов каждого компьютера между всеми пользователями сети - основная цель создания компьютерной сети.

Каким же образом сказывается на пользователе тот факт, что его компьютер подключен к сети? Прежде всего, он может пользоваться не только файлами, дисками, принтерами и другими ресурсами своего компьютера, но аналогичными ресурсами других компьютеров, подключенных к той же сети. Правда, для этого недостаточно снабдить компьютеры сетевыми адаптерами и соединить их кабельной системой. Необходимы еще не-

которые добавления к операционным системам этих компьютеров. На тех компьютерах, ресурсы которых должны быть доступны всем пользователям сети, необходимо добавить модули, которые постоянно будут находиться в режиме ожидания запросов, поступающих по сети от других компьютеров. Обычно такие модули называются программными *серверами (server)*, так как их главная задача - обслуживать (serve) запросы на доступ к ресурсам своего компьютера. На компьютерах, пользователи которых хотят получать доступ к ресурсам других компьютеров, также нужно добавить к операционной системе некоторые специальные программные модули, которые должны вырабатывать запросы на доступ к удаленным ресурсам и передавать их по сети на нужный компьютер. Такие модули обычно называют программными *клиентами (client)*. Собственно же сетевые адаптеры и каналы связи решают в сети достаточно простую задачу - они передают сообщения с запросами и ответами от одного компьютера к другому, а основную работу по организации совместного использования ресурсов выполняют клиентские и серверные части операционных систем.

Пара модулей «клиент - сервер» обеспечивает совместный доступ пользователей к определенному типу ресурсов, например к файлам. В этом случае говорят, что пользователь имеет дело с файловой *службой (service)*. Обычно сетевая операционная система поддерживает несколько видов сетевых служб для своих пользователей - файловую службу, службу печати, службу электронной почты, службу удаленного доступа и т. п.

Термины «клиент» и «сервер» используются не только для обозначения программных модулей, но и компьютеров, подключенных к сети. Если компьютер предоставляет свои ресурсы другим компьютерам сети, то он называется сервером, а если он их потребляет - клиентом. Иногда один и тот же компьютер может одновременно играть роли и сервера, и клиента.

### **Распределенные программы**

Сетевые службы всегда представляют собой распределенные программы. *Распределенная программа* - это программа,



которая состоит из нескольких взаимодействующих частей (в приведенном на рис. 5.2 примере - из двух), причем каждая часть, как правило, выполняется на отдельном компьютере сети.

До сих пор речь шла о системных распределенных программах. Однако в сети могут выполняться и распределенные пользовательские программы - приложения. Распределенное приложение также состоит из нескольких частей, каждая из которых выполняет какую-то определенную законченную работу по решению прикладной задачи. Распределенные приложения в полной мере используют потенциальные возможности распределенной обработки, предоставляемые компьютерной сетью, и поэтому часто называются *сетевыми приложениями*.

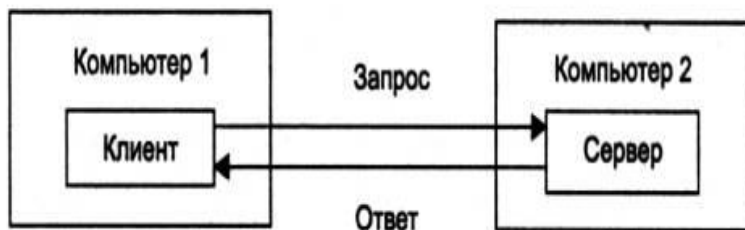


Рис. 5.2. Взаимодействие частей распределенного приложения

Следует подчеркнуть, что не всякое приложение, выполняемое в сети, является сетевым. Существует большое количество популярных приложений, которые не являются распределенными и целиком выполняются на одном компьютере сети. Тем не менее и такие приложения могут использовать преимущества сети за счет встроенных в операционную систему сетевых служб. Значительная часть истории локальных сетей связана как раз с использованием таких нераспределенных приложений. Рассмотрим, например, как происходила работа пользователя с известной в свое время СУБД dBase. Обычно файлы базы данных, с которыми работали все пользователи сети, располагались на файловом сервере. Сама же СУБД хранилась на каждом клиентском компьютере в виде единого программного модуля.

Большинство приложений, используемых в локальных сетях в середине 80-х годов, являлись обычными, нераспределенными приложениями. И это понятно - они были написаны для автономных компьютеров, а потом просто были перенесены в сетевую среду. Создание же распределенных приложений, хотя и сулило много преимуществ (уменьшение сетевого трафика, специализация компьютеров), оказалось делом совсем не простым. Нужно было решать множество дополнительных проблем - на сколько частей разбить приложение, какие функции возложить на каждую часть, как организовать взаимодействие этих частей, чтобы в случае сбоев и отказов оставшиеся части корректно завершали работу, и т. д., и т. п. Поэтому до сих пор только небольшая часть приложений является распределенными, хотя очевидно, что именно за этим классом приложений будущее, так как они в полной мере могут использовать потенциальные возможности сетей по распараллеливанию вычислений.

### **Основные программные и аппаратные компоненты сети**

Даже в результате достаточно поверхностного рассмотрения работы в сети становится ясно, что компьютерная сеть - это сложный комплекс взаимосвязанных и согласованно функционирующих программных и аппаратных компонентов. Изучение сети в целом предполагает знание принципов работы ее отдельных элементов:

- компьютеров;
- коммуникационного оборудования;
- операционных систем;
- сетевых приложений.

Весь комплекс программно-аппаратных средств сети может быть описан многослойной моделью. В основе любой сети лежит аппаратный слой стандартизованных компьютерных платформ. В настоящее время в сетях широко и успешно применяются компьютеры различных классов - от персональных компьютеров до мэйнфреймов и суперЭВМ. Набор компьютеров в сети должен соответствовать набору разнообразных задач, решаемых сетью.

Второй слой - это коммуникационное оборудование. Хотя компьютеры и являются центральными элементами обработки данных в сетях, в последнее время не менее важную роль стали играть коммуникационные устройства. Кабельные системы, повторители, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и модульные концентраторы из вспомогательных компонентов сети превратились в основные наряду с компьютерами и системным программным обеспечением как по влиянию на характеристики сети, так и по стоимости. Сегодня коммуникационное устройство может представлять собой сложный специализированный мультипроцессор, который нужно конфигурировать, оптимизировать и администрировать. Изучение принципов работы коммуникационного оборудования требует знакомства с большим количеством протоколов, используемых как в локальных, так и глобальных сетях.

Третьим слоем, образующим программную платформу сети, являются операционные системы (ОС). От того, какие концепции управления локальными и распределенными ресурсами положены в основу сетевой ОС, зависит эффективность работы всей сети. При проектировании сети важно учитывать, насколько просто данная операционная система может взаимодействовать с другими ОС сети, насколько она обеспечивает безопасность и защищенность данных, до какой степени она позволяет наращивать число пользователей, можно ли перенести ее на компьютер другого типа и многие другие соображения.

Самым верхним слоем сетевых средств являются различные сетевые приложения, такие как сетевые базы данных, почтовые системы, средства архивирования данных, системы автоматизации коллективной работы и др. Очень важно представлять диапазон возможностей, предоставляемых приложениями для различных областей применения, а также знать, насколько они совместимы с другими сетевыми приложениями и операционными системами.

### **3. Основные проблемы построения сетей**

При создании компьютерных сетей их разработчикам пришлось решить много проблем. В этом разделе мы рассмотрим только наиболее важные из них, причем в той последовательности, в которой они естественно возникали в процессе развития и совершенствования сетевых технологий.

### **Проблемы физической передачи данных по линиям связи**

Даже при рассмотрении простейшей сети, состоящей всего из двух машин, можно увидеть многие проблемы, присущие любой компьютерной сети, в том числе проблемы, связанные с физической передачей сигналов по линиям связи, без решения которой невозможен любой вид связи.

В вычислительной технике для представления данных используется двоичный код. Внутри компьютера единицам и нулям данных соответствуют дискретные электрические сигналы. Представление данных в виде электрических или оптических сигналов называется *кодированием*. Существуют различные способы кодирования двоичных цифр 1 и 0, например, потенциальный способ, при котором единице соответствует один уровень напряжения, а нулю - другой, или импульсный способ, когда для представления цифр используются импульсы различной или одной полярности.

Аналогичные подходы могут быть использованы для кодирования данных и при передаче их между двумя компьютерами по линиям связи. Однако эти линии связи отличаются по своим электрическим характеристикам от тех, которые существуют внутри компьютера. Главное отличие внешних линий связи от внутренних состоит в их гораздо большей протяженности, а также в том, что они проходят вне экранированного корпуса по пространствам, зачастую подверженным воздействию сильных электромагнитных помех. Все это приводит к значительно большим искажениям прямоугольных импульсов (например, «заваливанию» фронтов), чем внутри компьютера. Поэтому для надежного распознавания импульсов на приемном конце линии связи при передаче данных внутри и вне компьютера не всегда можно использовать одни и те же скорости и способы кодирования. На-

пример, медленное нарастание фронта импульса из-за высокой емкостной нагрузки линии требует передачи импульсов с меньшей скоростью (чтобы передний и задний фронты соседних импульсов не перекрывались и импульс успел дорасти до требуемого уровня).

В компьютерных сетях применяют как потенциальное, так и импульсное кодирование дискретных данных, а также специфический способ представления данных, который никогда не используется внутри компьютера - *модуляцию* (рис. 5.3). При модуляции дискретная информация представляется синусоидальным сигналом той частоты, которую хорошо передает имеющаяся линия связи.

Потенциальное или импульсное кодирование применяется на каналах высокого качества, а модуляция на основе синусоидальных сигналов предпочтительнее в том случае, когда канал вносит сильные искажения в передаваемые сигналы. Обычно модуляция используется в глобальных сетях при передаче данных через аналоговые телефонные каналы связи, которые были разработаны для передачи голоса в аналоговой форме и поэтому плохо подходят для непосредственной передачи импульсов.

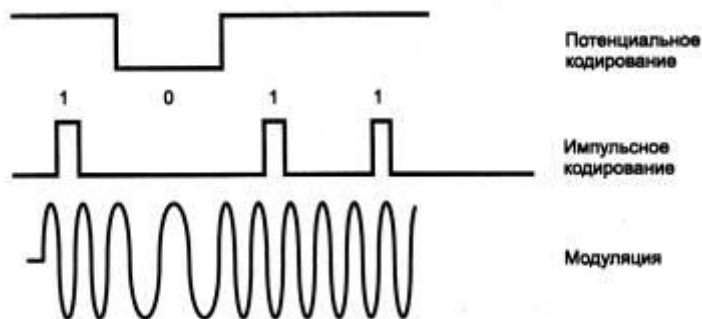


Рис. 5.3. Примеры представления дискретной информации

На способ передачи сигналов влияет и количество проводов в линиях связи между компьютерами. Для сокращения стоимости линий связи в сетях обычно стремятся к сокращению количества проводов и из-за этого используют не параллельную

передачу всех бит одного байта или даже нескольких байт, как это делается внутри компьютера, а последовательную, побитную передачу, требующую всего одной пары проводов.

Еще одной проблемой, которую нужно решать при передаче сигналов, является проблема взаимной *синхронизации* передатчика одного компьютера с приемником другого. При организации взаимодействия модулей внутри компьютера эта проблема решается очень просто, так как в этом случае все модули синхронизируются от общего тактового генератора. Проблема синхронизации при связи компьютеров может решаться разными способами, как с помощью обмена специальными тактовыми синхроимпульсами по отдельной линии, так и с помощью периодической синхронизации заранее обусловленными кодами или импульсами характерной формы, отличающейся от формы импульсов данных.

Несмотря на предпринимаемые меры - выбор соответствующей скорости обмена данными, линий связи с определенными характеристиками, способа синхронизации приемника и передатчика, - существует вероятность искажения некоторых бит передаваемых данных. Для повышения надежности передачи данных между компьютерами часто используется стандартный прием - подсчет *контрольной суммы* и передача ее по линиям связи после каждого байта или после некоторого блока байтов. Часто в протокол обмена данными включается как обязательный элемент сигнал-квитанция, который подтверждает правильность приема данных и посылается от получателя отправителю.

Задачи надежного обмена двоичными сигналами, представленными соответствующими электромагнитными сигналами, в компьютерных сетях решает определенный класс оборудования. В локальных сетях это *сетевые адаптеры*, а в глобальных сетях - аппаратура передачи данных, к которой относятся, например, устройства, выполняющие модуляцию и демодуляцию дискретных сигналов, - *модемы*. Это оборудование кодирует и декодирует каждый информационный бит, синхронизирует передачу электромагнитных сигналов по линиям связи, проверяет правильность передачи по контрольной сумме и может выполнять некоторые другие операции. Сетевые адаптеры рассчитаны,

как правило, на работу с определенной *передающей средой* - коаксиальным кабелем, витой парой, оптоволоконном и т. п. Каждый тип передающей среды обладает определенными электрическими характеристиками, влияющими на способ использования данной среды, и определяет скорость передачи сигналов, способ их кодирования и некоторые другие параметры.

### **Проблемы объединения нескольких компьютеров**

До сих пор мы рассматривали вырожденную сеть, состоящую всего из двух машин. При объединении в сеть большего числа компьютеров возникает целый комплекс новых проблем.

#### **Топология физических связей**

В первую очередь необходимо выбрать способ организации физических связей, то есть *топологию*. Под топологией компьютерной сети понимается конфигурация графа, вершинам которого соответствуют компьютеры сети (иногда и другое оборудование, например концентраторы), а ребрам - физические связи между ними. Компьютеры, подключенные к сети, часто называют *станциями* или *узлами сети*.

Заметим, что конфигурация *физических связей* определяется электрическими соединениями компьютеров между собой и может отличаться от конфигурации *логических связей* между узлами сети. Логические связи представляют собой маршруты передачи данных между узлами сети и образуются путем соответствующей настройки коммуникационного оборудования.

Выбор топологии электрических связей существенно влияет на многие характеристики сети. Например, наличие резервных связей повышает надежность сети и делает возможным балансирование загрузки отдельных каналов. Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть легко расширяемой. Экономические соображения часто приводят к выбору топологий, для которых характерна минимальная суммарная длина линий связи. Рассмотрим некоторые, наиболее часто встречающиеся топологии.

*Полносвязная* топология (рис. 5.4, а) соответствует сети, в которой каждый компьютер сети связан со всеми остальными.

Несмотря на логическую простоту, этот вариант оказывается громоздким и неэффективным. Действительно, каждый компьютер в сети должен иметь большое количество коммуникационных портов, достаточное для связи с каждым из остальных компьютеров сети. Для каждой пары компьютеров должна быть выделена отдельная электрическая линия связи. Полносвязные топологии применяются редко, так как не удовлетворяют ни одному из приведенных выше требований. Чаще этот вид топологии используется в многомашинных комплексах или глобальных сетях при небольшом количестве компьютеров.

Все другие варианты основаны на неполносвязных топологиях, когда для обмена данными между двумя компьютерами может потребоваться промежуточная передача данных через другие узлы сети.

*Ячеистая* топология (*mesh*) получается из полносвязной путем удаления некоторых возможных связей (рис. 5.4, б). В сети с ячеистой топологией непосредственно связываются только те компьютеры, между которыми происходит интенсивный обмен данными, а для обмена данными между компьютерами, не соединенными прямыми связями, используются транзитные передачи через промежуточные узлы. Ячеистая топология допускает соединение большого количества компьютеров и характерна, как правило, для глобальных сетей.

*Общая шина* (рис. 5.4, в) является очень распространенной (а до недавнего времени самой распространенной) топологией для локальных сетей. В этом случае компьютеры подключаются к одному коаксиальному кабелю по схеме «монтажного ИЛИ». Передаваемая информация может распространяться в обе стороны. Применение общей шины снижает стоимость проводки, унифицирует подключение различных модулей, обеспечивает возможность почти мгновенного широковещательного обращения ко всем станциям сети. Таким образом, основными преимуществами такой схемы являются дешевизна и простота разводки кабеля по помещениям. Самый серьезный недостаток общей шины заключается в ее низкой надежности: любой дефект кабеля или какого-нибудь из многочисленных разъемов полностью па-



рализует всю сеть. К сожалению, дефект коаксиального разъема редкостью не является. Другим недостатком общей шины является ее невысокая производительность, так как при таком способе подключения в каждый момент времени только один компьютер может передавать данные в сеть. Поэтому пропускная способность канала связи всегда делится здесь между всеми узлами сети.

Топология *звезда* (рис. 5.4, г). В этом случае каждый компьютер подключается отдельным кабелем к общему устройству, называемому *концентратором*, который находится в центре сети. В функции концентратора входит направление передаваемой компьютером информации одному или всем остальным компьютерам сети. Главное преимущество этой топологии перед общей шиной - существенно большая надежность. Любые неприятности с кабелем касаются лишь того компьютера, к которому этот кабель присоединен, и только неисправность концентратора может вывести из строя всю сеть. Кроме того, концентратор может играть роль интеллектуального фильтра информации, поступающей от узлов в сеть, и при необходимости блокировать запрещенные администратором передачи.

К недостаткам топологии типа звезда относится более высокая стоимость сетевого оборудования из-за необходимости приобретения концентратора. Кроме того, возможности по наращиванию количества узлов в сети ограничиваются количеством портов концентратора. Иногда имеет смысл строить сеть с использованием нескольких концентраторов, иерархически соединенных между собой связями типа звезда (рис. 5.4, д). В настоящее время иерархическая звезда является самым распространенным типом топологии связей как в локальных, так и глобальных сетях.

В сетях с *кольцевой* конфигурацией (рис. 5.4, е) данные передаются по кольцу от одного компьютера к другому, как правило, в одном направлении. Если компьютер распознает данные как «свой», то он копирует их себе во внутренний буфер. В сети с кольцевой топологией необходимо принимать специальные меры, чтобы в случае выхода из строя или отключения какой-либо

станции не прервался канал связи между остальными станциями. Кольцо представляет собой очень удобную конфигурацию для организации обратной связи - данные, сделав полный оборот, возвращаются к узлу-источнику. Поэтому этот узел может контролировать процесс доставки данных адресату. Часто это свойство кольца используется для тестирования связности сети и поиска узла, работающего некорректно. Для этого в сеть посылаются специальные тестовые сообщения.

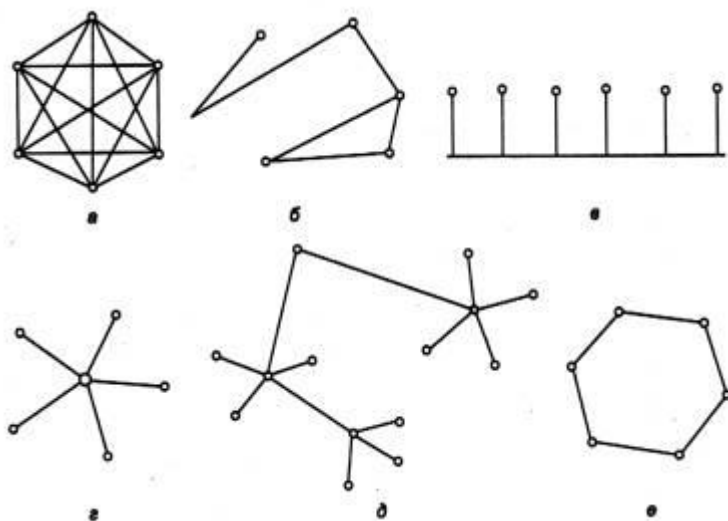


Рис. 5.4. Типовые топологии сетей

В то время как небольшие сети, как правило, имеют типовую топологию - звезда, кольцо или общая шина, для крупных сетей характерно наличие произвольных связей между компьютерами. В таких сетях можно выделить отдельные произвольно связанные фрагменты (подсети), имеющие типовую топологию, поэтому их называют сетями со *смешанной топологией* (рис. 5.5).

## Организация совместного использования линий связи

Только в сети с полносвязной топологией для соединения каждой пары компьютеров имеется отдельная линия связи. Во всех остальных случаях неизбежно возникает вопрос о том, как организовать совместное использование линий связи несколькими компьютерами сети. Как и всегда при разделении ресурсов, главной целью здесь является удешевление сети.

В компьютерных сетях используют как индивидуальные линии связи между компьютерами, так и *разделяемые (shared)*, когда одна линия связи попеременно используется несколькими

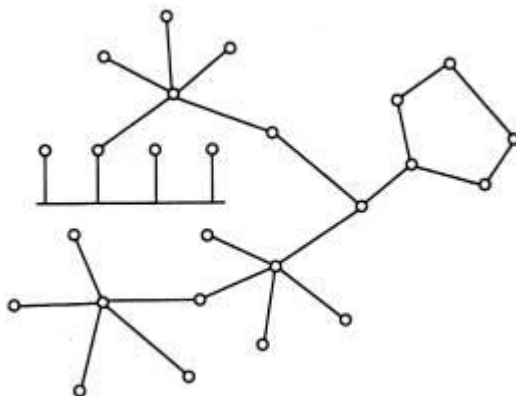


Рис. 5.5. Смешанная топология

компьютерами. В случае применения разделяемых линий связи (часто используется также термин разделяемая среда передачи данных - *shared media*) возникает комплекс проблем, связанных с их совместным использованием, который включает как чисто электрические проблемы обеспечения нужного качества сигналов при подключении к одному и тому же проводу нескольких приемников и передатчиков, так и логические проблемы разделения во времени доступа к этим линиям.

Классическим примером сети с разделяемыми линиями связи являются сети с топологией «общая шина», в которых один кабель совместно используется всеми компьютерами сети. Ни

один из компьютеров сети в принципе не может индивидуально, независимо от всех других компьютеров сети, использовать кабель, так как при одновременной передаче данных сразу несколькими узлами сигналы смешиваются и искажаются. В топологиях «кольцо» или «звезда» индивидуальное использование линий связи, соединяющих компьютеры, принципиально возможно, но эти кабели часто также рассматривают как разделяемые для всех компьютеров сети, так что, например, только один компьютер кольца имеет право в данный момент времени отправлять по кольцу пакеты другим компьютерам.

Существуют различные способы решения задачи организации совместного доступа к разделяемым линиям связи. Внутри компьютера проблемы разделения линий связи между различными модулями также существуют - примером является доступ к системной шине, которым управляет либо процессор, либо специальный арбитр шины. В сетях организация совместного доступа к линиям связи имеет свою специфику из-за существенно большего времени распространения сигналов по длинным проводам, к тому же это время для различных пар компьютеров может быть различным. Из-за этого процедуры согласования доступа к линии связи могут занимать слишком большой промежуток времени и приводить к значительным потерям производительности сети.

Несмотря на все эти сложности, в локальных сетях разделяемые линии связи используются очень часто. Этот подход, в частности, реализован в широко распространенных классических технологиях Ethernet и Token Ring. Однако в последние годы наметилась тенденция отказа от разделяемых сред передачи данных и в локальных сетях. Это связано с тем, что за достигаемое таким образом удешевление сети приходится расплачиваться производительностью.

Сеть с разделяемой средой при большом количестве узлов будет работать всегда медленнее, чем аналогичная сеть с индивидуальными линиями связи, так как пропускная способность индивидуальной линии связи достается одному компьютеру, а

при ее совместном использовании - делится на все компьютеры сети.

Часто с такой потерей производительности мирятся ради увеличения экономической эффективности сети. Не только в классических, но и в совсем новых технологиях, разработанных для локальных сетей, сохраняется режим разделяемых линий связи. Например, разработчики технологии Gigabit Ethernet, принятой в 1998 году в качестве нового стандарта, включили режим разделения передающей среды в свои спецификации наряду с режимом работы по индивидуальным линиям связи.

При использовании индивидуальных линий связи в полносвязных топологиях конечные узлы должны иметь по одному порту на каждую линию связи. В звездообразных топологиях конечные узлы могут подключаться индивидуальными линиями связи к специальному устройству - коммутатору. В глобальных сетях коммутаторы использовались уже на начальном этапе, а в локальных сетях - с начала 90-х годов. Коммутаторы приводят к существенному удорожанию локальной сети, поэтому пока их применение ограничено, но по мере снижения стоимости коммутации этот подход, возможно, вытеснит применение разделяемых линий связи. Необходимо подчеркнуть, что индивидуальными в таких сетях являются только линии связи между конечными узлами и коммутаторами сети, а связи между коммутаторами остаются разделяемыми, так как по ним передаются сообщения разных конечных узлов (рис. 5.6).

В глобальных сетях отказ от разделяемых линий связи объясняется техническими причинами. Здесь большие временные задержки распространения сигналов принципиально ограничивают применимость техники разделения линии связи. Компьютеры могут затратить больше времени на переговоры о том, кому сейчас можно использовать линию связи, чем непосредственно на передачу данных по этой линии связи. Однако это не относится к линиям связи типа «коммутатор - коммутатор». В этом случае только два коммутатора борются за доступ к линии связи, и это существенно упрощает задачу организации совместного использования линии.

## Адресация компьютеров

Еще одной новой проблемой, которую нужно учитывать при объединении трех и более компьютеров, является проблема

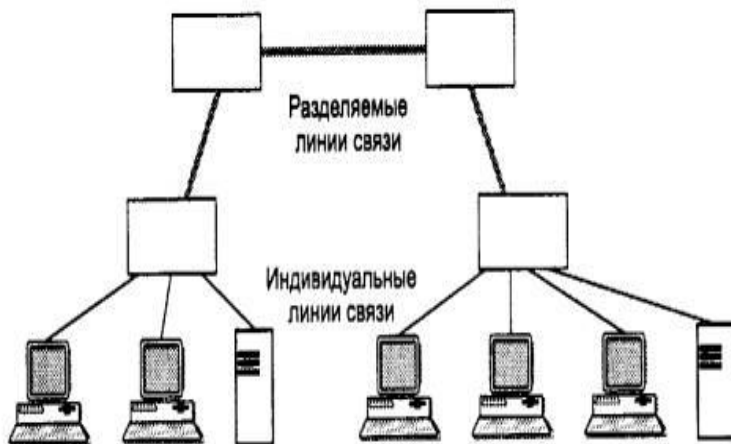


Рис. 5.6. Индивидуальные и разделяемые линии связи в сетях на основе коммутаторов

их адресации.

Наибольшее распространение получили три схемы адресации узлов.

- *Аппаратные (hardware) адреса.* Эти адреса предназначены для сети небольшого или среднего размера, поэтому они не имеют иерархической структуры. Типичным представителем адреса такого типа является адрес сетевого адаптера локальной сети. Такой адрес обычно используется только аппаратурой, поэтому его стараются сделать по возможности компактным и записывают в виде двоичного или шестнадцатеричного значения, например 0081005e24a8.
- *Числовые составные адреса.* Символьные имена удобны для людей, но из-за переменного формата и потенциально большой длины их передача по сети не очень экономична. Поэтому во многих случаях для работы в больших сетях в каче-

стве адресов узлов используют числовые составные адреса фиксированного и компактного форматов. Типичным представителями адресов этого типа являются IP- и IPX-адреса.

- *Символьные адреса* или *имена*. Эти адреса предназначены для запоминания людьми и поэтому обычно несут смысловую нагрузку. Символьные адреса легко использовать как в небольших, так и крупных сетях. Для работы в больших сетях символьное имя может иметь сложную иерархическую структуру.

Множество всех адресов, которые являются допустимыми в рамках некоторой схемы адресации, называется *адресным пространством*.

### Коммутация

Итак, пусть компьютеры физически связаны между собой в соответствии с некоторой топологией и выбрана система адресации. Остается нерешенной самая важная проблема: каким способом передавать данные между конечными узлами? Особую сложность приобретает эта задача, когда топология сети неполносвязная. В таком случае обмен данными между произвольной парой конечных узлов должен идти в общем случае через транзитные узлы.

Соединение конечных узлов через сеть транзитных узлов называется *коммутацией*. Последовательность узлов, лежащих на пути отправителя к получателю, образует *маршрут*.

### 4. Обобщенная задача коммутации

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.
3. Продвижение потоков, то есть распознавание потоков и их локальная коммутация на каждом транзитном узле.
4. Мультиплексирование и демультиплексирование потоков.

### Определение информационных потоков

Понятно, что через один транзитный узел может проходить несколько маршрутов. Транзитный узел должен уметь *распознавать* поступающие на него потоки данных, для того чтобы обеспечивать передачу каждого из них именно на тот свой интерфейс, который ведет к нужному узлу.

*Информационным потоком*, или потоком данных, называют непрерывную последовательность данных, объединенных набором общих признаков, выделяющих их 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 маршруту продвижения данных.

Адрес источника и адрес 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.

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 адресов конечных узлов для идентификации потока — это пример глобального признака.

*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.

Таким образом, распознавание потоков во время коммутации происходит на основании признаков, в качестве которых, помимо обязательного адреса назначения данных, могут выступать и другие признаки, такие, например, как идентификаторы приложений.

### Маршрутизация

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

- определение маршрута;
- оповещение сети о выбранном маршруте.

*Определить маршрут* — это значит 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, номинальная пропускная способность и загруженность каналов связи; задержки, вносимые каналами; количество промежуточных транзитных узлов; надежность каналов и транзитных узлов. Но даже в том случае, когда между конечными узлами существует только *один* путь, при сложной топологии сети его нахождение может представлять собой нетривиальную задачу.

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.

Абстрактный способ измерения степени близости между двумя объектами называется метрикой. Так, для измерения длины маршрута могут быть использованы разные метрики - количество транзитных узлов, как в предыдущем примере, линейная протяженность маршрута и даже его стоимость в денежном выражении. Для построения метрики, учитывающей пропускную способность, часто используют следующий прием: длину каждого канала-участка характеризуют величиной, обратной его пропускной способности. Чтобы оперировать целыми числами, выбирают некоторую константу, заведомо большую, чем пропускные способности каналов в сети.

Описанные подходы к выбору маршрутов не учитывают текущую степень загруженности каналов трафиком.

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  $n$ , их следует передать для дальнейшего продвижения на интерфейс  $F$ ». Каждое подобное сообщение о маршруте обрабатывается устройством, в результате создается новая запись в *таблице коммутации*. 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.

Конечно, детальное описание структуры сообщения о маршруте и содержимого таблицы коммутации зависит от конкретной технологии, однако эти особенности не меняют сущности рассматриваемых процессов.

Передача информации транзитным устройствам о выбранных маршрутах, так же как и определение маршрута, может осуществляться и вручную, и автоматически. Администратор сети может зафиксировать маршрут, выполнив в ручном режиме конфигурирование устройства, например, жестко скоммутировав на длительное время определенные пары входных и выходных интерфейсов (как работали «телефонные барышни» на первых коммутаторах). Он может также по собственной инициативе внести запись о маршруте в таблицу коммутации.

Однако поскольку топология и состав информационных потоков может меняться (отказы узлов или появление новых промежуточных узлов, изменение адресов или определение новых потоков), гибкое решение задач определения и задания маршрутов предполагает постоянный анализ состояния сети и обновление маршрутов и таблиц коммутации. В таких случаях задачи прокладки маршрутов, как правило, не могут быть решены без достаточно сложных программных и аппаратных средств.

### **Продвижение данных**

Итак, пусть 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 *ком-*

мутацию интерфейсов. Устройство, функциональным назначением которого является коммутация, называется *коммутатором* (рис. 5.7).

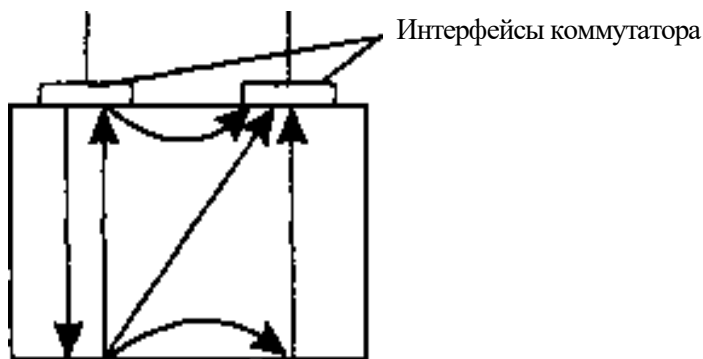


Рис. 5. 7. Коммутатор

Однако прежде чем выполнить коммутацию, коммутатор должен распознать поток. Для этого поступившие данные анализируются на предмет наличия в них признаков какого-либо из потоков, заданных в 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.

## Мультиплексирование и демультиплексирование

Чтобы определить, на какой интерфейс следует передать поступившие данные, коммутатор должен определить, 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*, то есть разделения суммарного агрегированного потока на несколько составляющих его потоков.

Как правило, операцию коммутации сопровождает также обратная операция - *мультиплексирование*. При мультиплексировании из нескольких отдельных потоков образуется общий агрегированный поток, который можно передавать по одному физическому каналу связи.

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 неполносвязной сети.

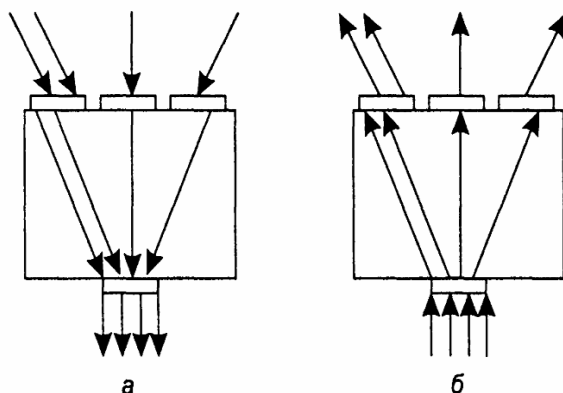


Рис. 5.8. Мультиплексор и демультиплексор

Мультиплексирование является способом разделения имеющегося одного физического канала между несколькими одновременно протекающими сеансами связи между абонентами 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. Вообще говоря, на каждом интерфейсе могут одновременно выполняться обе функции - мультиплексирования и демультиплексирования.

### **Разделяемая среда передачи данных**

Еще одним параметром разделяемого канала связи является *количество подключенных к нему узлов*. На практике используется подключение к каждому каналу связи только двух взаимодействующих узлов, точнее - двух интерфейсов (рис. 5.9, а и б). В телекоммуникационных сетях используется и другой вид подключения, когда к одному каналу подключается несколько интерфейсов (рис. 5.9, в). Такое множественное подключение интерфейсов порождает уже рассматривавшуюся выше топологию «общая шина», иногда называемую также шлейфовым подключением. Во всех этих случаях возникает проблема организации совместного использования канала несколькими интерфейсами.

Возможны различные варианты разделения каналов связи между интерфейсами. На рис. 5.9, а коммутаторы K1 и K2 связаны двумя однонаправленными физическими каналами, то есть такими, по которым информация может передаваться только в одном направлении. В этом случае передающий интерфейс является активным, и физическая среда передачи находится под его управлением.

Пассивный интерфейс только принимает данные. *Проблема разделения канала между интерфейсами здесь отсутствует.* (Заметим, однако, что задача мультиплексирования потоков данных в канале при этом сохраняется.) На практике два однонаправленных канала, реализующие в целом дуплексную связь между двумя устройствами, обычно рассматриваются как один дуплексный канал, а пара интерфейсов одного устройства — как передающая и принимающая части одного и того же интерфейса.

На рис. 5.9, б коммутаторы K1 и K2 связаны каналом, который может передавать данные в обе стороны, но только попеременно. При этом *возникает необходимость в механизме синхронизации доступа* интерфейсов K1 и K2 к такому каналу. Обобщением этого варианта является случай, показанный на рис. 5.9, в, когда к каналу связи подключаются несколько (больше двух) интерфейсов, образуя общую шину.

Совместно используемый несколькими интерфейсами физический канал называют *разделяемым* (shared). Часто применяют также термин *разделяемая среда передачи данных*. Нужно подчеркнуть, что термин «разделяемая среда» традиционно относят именно к случаю разделения канала между интерфейсами и практически никогда - к случаю разделения канала между потоками.

Разделяемые каналы связи требуются не только для связей типа коммутатор-коммутатор, но и для связей компьютер-коммутатор и компьютер-компьютер.

Существуют различные способы решения задачи организации совместного доступа к разделяемым линиям связи. Одни из них подразумевают централизованный подход, когда доступом управляет специальное устройство — *арбитр*, другие — децентрализованный. Внутри компьютера проблемы разделения линий связи между различными модулями также существуют — примером является доступ к системной шине, которым управляет либо процессор, либо специальный арбитр шины. В сетях организация совместного доступа к линиям связи имеет свою специфику из-за существенно большего времени распространения сигналов по линиям связи, поэтому процедуры согласования доступа к линии связи могут занимать слишком большой промежуток времени и приводить к зна-

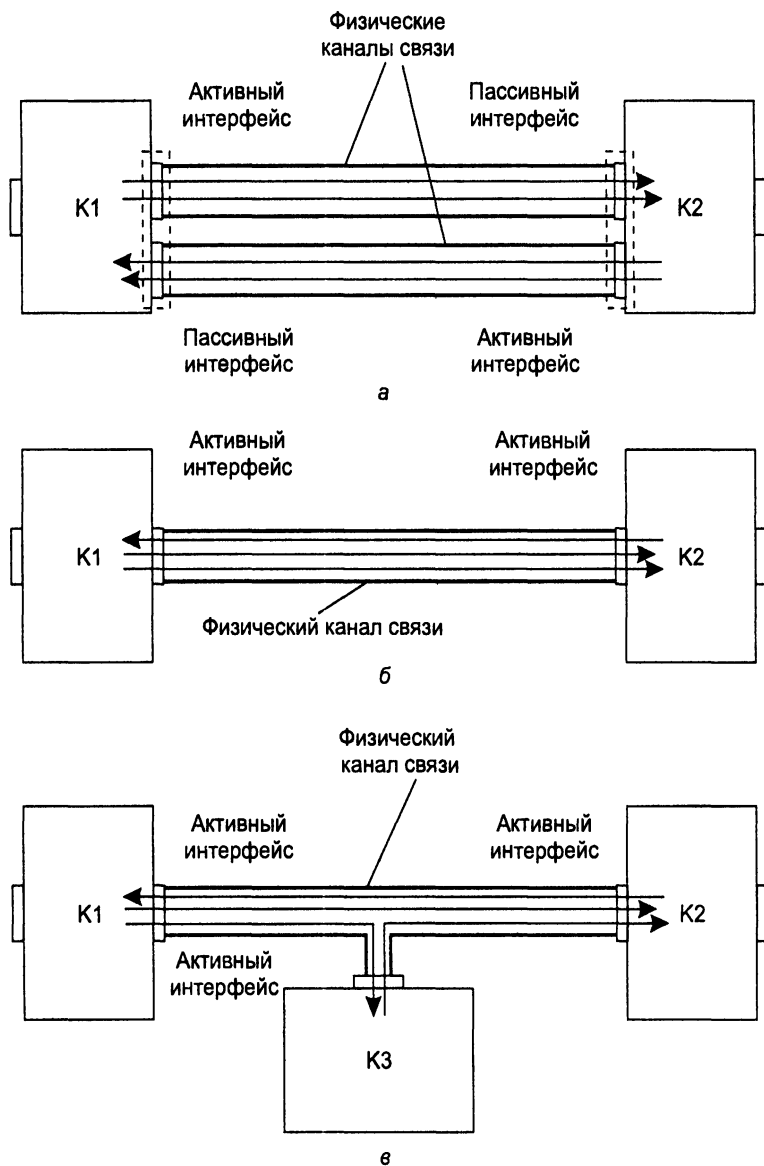


Рис. 5.9. Совместное использование канала связи



чительным потерям производительности сети. Именно по этой причине разделяемые между интерфейсами среды практически не используются в глобальных сетях.

В локальных же сетях разделяемые среды используются достаточно часто благодаря простоте и экономичности их реализации. Этот подход, в частности, применяется в доминирующей сегодня в локальных сетях технологии Ethernet, а также в популярных в прошлом технологиях Token Ring и FDDL

Однако в последние годы стала преобладать другая тенденция — отказ от разделяемых сред передачи данных и в локальных сетях. Это связано с тем, что за достигаемое таким образом удешевление сети приходится расплачиваться производительностью.

Сеть с разделяемой средой при большом количестве узлов будет работать всегда медленнее, чем аналогичная сеть с индивидуальными двухточечными линиями связями, так как пропускная способность линии связи при ее совместном использовании делится между несколькими компьютерами сети.

И тем не менее не только в классических, но и в некоторых совсем новых технологиях, разработанных для локальных сетей, сохраняется режим разделяемых линий связи. Например, разработчики технологии Gigabit Ethernet, принятой в 1998 году в качестве нового стандарта, включили режим разделения среды в свои спецификации наряду с режимом работы по индивидуальным линиям связи.

### **Типы коммутации**

Комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации в своей совокупности составляет основу любой сетевой технологии. Как уже отмечалось, к этим частным задачам относятся:

- определение потоков и соответствующих маршрутов;
- фиксация маршрутов в конфигурационных параметрах и таблицах сетевых устройств;

- распознавание потоков и передача данных между интерфейсами одного устройства;
- мультиплексирование/демультиплексирование потоков;
- разделение среды передачи.

Среди множества возможных подходов к решению задачи коммутации абонентов в сетях выделяют два основополагающих, к которым относят *коммутацию каналов* и *коммутацию пакетов*.

Сети с коммутацией каналов имеют более богатую историю, они происходят 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.

## 5. Локальные и глобальные сети

Для классификации компьютерных сетей используются различные признаки, но чаще всего сети делят на типы по территориальному признаку, то есть по величине территории, которую покрывает сеть. И для этого есть веские причины, так как отличия технологий локальных и глобальных сетей очень значительны, несмотря на их постоянное сближение.

### Особенности локальных, глобальных и городских сетей

К *локальным сетям* - *Local Area Networks (LAN)* - относят сети компьютеров, сосредоточенные на небольшой территории (обычно в радиусе не более 1-2 км). В общем случае локальная сеть представляет собой коммуникационную систему, принадлежащую одной организации. Из-за коротких расстояний в локальных сетях имеется возможность использования относительно дорогих высококачественных линий связи, которые позволяют, применяя простые методы передачи данных, достигать высоких скоростей обмена данными порядка 100 Мбит/с. В связи

с этим услуги, предоставляемые локальными сетями, отличаются широким разнообразием и обычно предусматривают реализацию в режиме on-line.

*Глобальные сети - Wide Area Networks (WAN)* - объединяют территориально рассредоточенные компьютеры, которые могут находиться в различных городах и странах. Так как прокладка высококачественных линий связи на большие расстояния обходится очень дорого, в глобальных сетях часто используются уже существующие линии связи, изначально предназначенные совсем для других целей. Например, многие глобальные сети строятся на основе телефонных и телеграфных каналов общего назначения. Из-за низких скоростей таких линий связи в глобальных сетях (десятки килобит в секунду) набор предоставляемых услуг обычно ограничивается передачей файлов, преимущественно не в оперативном, а в фоновом режиме, с использованием электронной почты. Для устойчивой передачи дискретных данных по некачественным линиям связи применяются методы и оборудование, существенно отличающиеся от методов и оборудования, характерных для локальных сетей. Как правило, здесь применяются сложные процедуры контроля и восстановления данных, так как наиболее типичный режим передачи данных по территориальному каналу связи связан со значительными искажениями сигналов.

*Городские сети (или сети мегаполисов) - Metropolitan Area Networks (MAN)* - являются менее распространенным типом сетей. Эти сети появились сравнительно недавно. Они предназначены для обслуживания территории крупного города - мегаполиса. В то время как локальные сети наилучшим образом подходят для разделения ресурсов на коротких расстояниях и ширококвещательных передач, а глобальные сети обеспечивают работу на больших расстояниях, но с ограниченной скоростью и небогатым набором услуг, сети мегаполисов занимают некоторое промежуточное положение. Они используют цифровые магистральные линии связи, часто оптоволоконные, со скоростями от 45 Мбит/с, и предназначены для связи локальных сетей в масштабах города и соединения локальных сетей с глобальными. Эти сети

первоначально были разработаны для передачи данных, но сейчас они поддерживают и такие услуги, как видеоконференции и интегральную передачу голоса и текста. Развитие технологии сетей мегаполисов осуществлялось местными телефонными компаниями. Исторически сложилось так, что местные телефонные компании всегда обладали слабыми техническими возможностями и из-за этого не могли привлечь крупных клиентов. Чтобы преодолеть свою отсталость и занять достойное место в мире локальных и глобальных сетей, местные предприятия связи занялись разработкой сетей на основе самых современных технологий, например технологии коммутации ячеек SMDS или ATM. Сети мегаполисов являются общественными сетями, и поэтому их услуги обходятся дешевле, чем построение собственной (частной) сети в пределах города.

### **Отличия локальных сетей от глобальных**

Рассмотрим основные отличия локальных сетей от глобальных более детально. Так как в последнее время эти отличия становятся все менее заметными, то будем считать, что в данном разделе мы рассматриваем сети конца 80-х годов, когда эти отличия проявлялись весьма отчетливо, а современные тенденции сближения технологий локальных и глобальных сетей будут рассмотрены в следующем разделе.

- *Протяженность, качество и способ прокладки линий связи.* Класс локальных компьютерных сетей по определению отличается от класса глобальных сетей небольшим расстоянием между узлами сети. Это в принципе делает возможным использование в локальных сетях качественных линий связи: коаксиального кабеля, витой пары, оптоволоконного кабеля, которые не всегда доступны (из-за экономических ограничений) на больших расстояниях, свойственных глобальным сетям. В глобальных сетях часто применяются уже существующие линии связи (телеграфные или телефонные), а в локальных сетях они прокладываются заново.
- *Сложность методов передачи и оборудования.* В условиях низкой надежности физических каналов в глобаль-

ных сетях требуются более сложные, чем в локальных сетях, методы передачи данных и соответствующее оборудование. Так, в глобальных сетях широко применяются модуляция, асинхронные методы, сложные методы контрольного суммирования, квитирование и повторные передачи искаженных кадров. С другой стороны, качественные линии связи в локальных сетях позволили упростить процедуры передачи данных за счет применения немодулированных сигналов и отказа от обязательного подтверждения получения пакета.

- *Скорость обмена данными.* Одним из главных отличий локальных сетей от глобальных является наличие высокоскоростных каналов обмена данными между компьютерами, скорость которых (10,16и100 Мбит/с) сравнима со скоростями работы устройств и узлов компьютера - дисков, внутренних шин обмена данными и т. п. За счет этого у пользователя локальной сети, подключенного к удаленному разделяемому ресурсу (например, диску сервера), складывается впечатление, что он пользуется этим диском, как «своим». Для глобальных сетей типичны гораздо более низкие скорости передачи данных - 2400,9600,28800,33600 бит/с, 56 и 64 Кбит/с и только на магистральных каналах - до 2 Мбит/с.
- *Разнообразие услуг.* Локальные сети предоставляют, как правило, широкий набор услуг - это различные виды услуг файловой службы, услуги печати, услуги службы передачи факсимильных сообщений, услуги баз данных, электронная почта и другие, в то время как глобальные сети в основном предоставляют почтовые услуги и иногда файловые услуги с ограниченными возможностями - передачу файлов из публичных архивов удаленных серверов без предварительного просмотра их содержания.
- *Оперативность выполнения запросов.* Время прохождения пакета через локальную сеть обычно составляет несколько миллисекунд, время же его передачи через глобальную сеть может достигать нескольких секунд. Низкая

скорость передачи данных в глобальных сетях затрудняет реализацию служб для режима on-line, который является обычным для локальных сетей.

- *Разделение каналов.* В локальных сетях каналы связи используются, как правило, совместно сразу несколькими узлами сети, а в глобальных сетях - индивидуально.
- *Использование метода коммутации пакетов.* Важной особенностью локальных сетей является неравномерное распределение нагрузки. Отношение пиковой нагрузки к средней может составлять 100:1 и даже выше. Такой трафик обычно называют *пульсирующим*. Из-за этой особенности трафика в локальных сетях для связи узлов применяется метод коммутации пакетов, который для пульсирующего трафика оказывается гораздо более эффективным, чем традиционный для глобальных сетей метод коммутации каналов. Эффективность метода коммутации пакетов состоит в том, что сеть в целом передает в единицу времени больше данных своих абонентов. В глобальных сетях метод коммутации пакетов также используется, но наряду с ним часто применяется и метод коммутации каналов, а также некоммутируемые каналы - как унаследованные технологии некомпьютерных сетей.
- *Масштабируемость.* «Классические» локальные сети обладают плохой масштабируемостью из-за жесткости базовых топологий, определяющих способ подключения станций и длину линии. При использовании многих базовых топологий характеристики сети резко ухудшаются при достижении определенного предела по количеству узлов или протяженности линий связи. Глобальным же сетям присуща хорошая масштабируемость, так как они изначально разрабатывались в расчете на работу с произвольными топологиями.

## **6. Конвергенция сетей**

### **Сближение локальных и глобальных сетей**

В конце 80-х годов отличия между локальными и глобальными сетями проявлялись весьма отчетливо.

- *Протяженность и качество линий связи.* Локальные компьютерные сети по определению отличаются от глобальных сетей небольшими расстояниями между узлами сети. Это в принципе делает возможным использование в локальных сетях более качественных линий связи.
- *Сложность методов передачи данных.* В условиях низкой надежности физических каналов в глобальных сетях требуются более сложные, чем в локальных сетях, методы передачи данных и соответствующее оборудование.
- *Скорость обмена данными* в локальных сетях (10, 16 и 100 Мбит/с) в то время была существенно выше, чем в глобальных (от 2,4 Кбит/с до 2 Мбит/с).
- *Разнообразие услуг.* Высокие скорости обмена данными позволили предоставлять в локальных сетях широкий спектр услуг - это, прежде всего, разнообразные механизмы использования файлов, хранящихся на дисках других компьютеров сети, совместное использование устройств печати, модемов, факсов, доступ к единой базе данных, электронная почта и др. В то же время глобальные сети в основном ограничивались почтовыми и файловыми услугами в их простейшем (не самом удобном для пользователя) виде.

Постепенно различия между локальными и глобальными типами сетевых технологий стали сглаживаться. Изолированные ранее локальные сети начали объединять друг с другом, при этом в качестве связующей среды использовались глобальные сети. Тесная интеграция локальных и глобальных сетей привела к значительному взаимопроникновению соответствующих технологий.

Сближение в методах передачи данных происходит на платформе цифровой (немодулированной) передачи данных по волоконно-оптическим линиям связи. Эту среду передачи данных используют практически все технологии локальных сетей для скоростного обмена информацией на расстояниях свыше 100 метров, на ней же построены современные магистрали первичных сетей SDH и DWDM, предоставляющих свои цифровые каналы для объединения оборудования глобальных компьютерных сетей.

Высокое качество цифровых каналов изменило требования к протоколам глобальных компьютерных сетей. На первый план вместо процедур обеспечения надежности вышли процедуры обеспечения гарантированной средней скорости доставки информации пользователям, а также механизмы приоритетной обработки пакетов особенно чувствительного к задержкам трафика, например, голосового. Эти изменения нашли отражение в новых технологиях глобальных сетей, таких как Frame Relay и ATM. В этих сетях предполагается, что искажение битов происходит настолько редко, что ошибочный пакет выгоднее просто уничтожить, а все проблемы, связанные с его потерей, перепоручить программному обеспечению более высокого уровня, которое непосредственно не входит в состав сетей Frame Relay и ATM.

Большой вклад в сближение локальных и глобальных сетей внесло доминирование протокола IP. Этот протокол сегодня работает поверх любых технологий локальных и глобальных сетей (Ethernet, Token Ring, ATM, Frame Relay), объединяя различные подсети в единую составную сеть.

Начиная с 90-х годов, компьютерные глобальные сети, работающие на основе скоростных цифровых каналов, существенно расширили спектр предоставляемых услуг и догнали в этом отношении локальные сети. Стало возможным создание служб, работа которых связана с доставкой пользователю больших объемов информации в реальном времени — изображений, видеофильмов, голоса, в общем, всего того, что получило название мультимедийной информации. Наиболее яркий пример — гипертекстовая информационная служба World Wide Web, ставшая основным поставщиком информации в Интернете. Ее интерактивные возможности превзошли возможности многих аналогичных служб локальных сетей, так что разработчикам локальных сетей пришлось просто позаимствовать эту службу у глобальных сетей. Процесс переноса технологий из глобальной сети Интернет в локальные приобрел такой массовый характер, что появился даже специальный термин - *intranet-технологии* (intra - внутренний).

В локальных сетях в последнее время уделяется такое же большое внимание методам обеспечения защиты информации от



несанкционированного доступа, как и в глобальных. Это обусловлено тем, что локальные сети перестали быть изолированными, чаще всего они имеют выход в «большой мир» через глобальные связи.

И, наконец, появляются новые технологии, изначально предназначенные для обоих видов сетей. Ярким представителем нового поколения технологий является технология АТМ, которая может служить основой как глобальных, так и локальных сетей, эффективно объединяя все существующие типы трафика в одной транспортной сети. Другим примером является семейство технологий Ethernet, имеющее явные «локальные» корни. Новый стандарт Ethernet 10G, позволяющий передавать данные со скоростью 10 Гбит/с, предназначен для магистралей как глобальных, так и крупных локальных сетей.

Еще одним признаком сближения локальных и глобальных сетей является появление сетей, занимающих промежуточное положение между локальными и глобальными сетями. *Городские сети*, или *сети мегаполисов* (Metropolitan Area Networks, MAN), предназначены для обслуживания территории крупного города.

Эти сети используют цифровые линии связи, часто оптоволоконные, со скоростями на магистрали от 155 Мбит/с и выше. Они обеспечивают экономичное соединение локальных сетей между собой, а также выход в глобальные сети. Сети

MAN первоначально были разработаны только для передачи данных, но сейчас перечень предоставляемых ими услуг расширился, в частности они поддерживают видеоконференции и интегральную передачу голоса и текста. Современные сети MAN отличаются разнообразием предоставляемых услуг, позволяя своим клиентам объединять коммуникационное оборудование различного типа, в том числе и офисные АТС.

## 7. Сети отделов, кампусов и корпораций

Еще одним популярным способом классификации сетей является их классификация по масштабу производственного подразделения, в пределах которого действует сеть. Различают сети отделов, сети кампусов и корпоративные сети.

### **Сети отделов**

*Сети отделов* - это сети, которые используются сравнительно небольшой группой сотрудников, работающих в одном отделе предприятия. Эти сотрудники решают некоторые общие задачи, например ведут бухгалтерский учет или занимаются маркетингом.

Считается, что отдел может насчитывать до 100-150 сотрудников.

Главной целью сети отдела является разделение локальных ресурсов, таких как приложения, данные, лазерные принтеры и модемы. Обычно сети отделов имеют один или два файловых сервера и не более тридцати пользователей. Сети отделов обычно не разделяются на подсети. В этих сетях локализуется большая часть трафика предприятия. Сети отделов обычно создаются на основе какой-либо одной сетевой технологии - Ethernet, Token Ring. Для такой сети характерен один или, максимум, два типа операционных систем. Чаще всего - это сеть с выделенным сервером, например NetWare, хотя небольшое количество пользователей делает возможным использование одноранговых сетевых ОС, таких, например, как Windows 95.

Задачи управления сетью на уровне отдела относительно просты: добавление новых пользователей, устранение простых отказов, установка новых узлов и установка новых версий программного обеспечения. Такой сетью может управлять сотрудник, посвящающий обязанностям администратора только часть своего времени. Чаще всего администратор сети отдела не имеет специальной подготовки, но является тем человеком в отделе, который лучше всех разбирается в компьютерах, и само собой получается так, что он занимается администрированием сети.

Существует и другой тип сетей, близкий к сетям отделов, - *сети рабочих групп*. К таким сетям относят совсем небольшие сети, включающие до 10-20 компьютеров, Характеристики

сетей рабочих групп практически не отличаются от описанных выше характеристик сетей отделов. Такие свойства, как простота сети и однородность, здесь проявляются в наибольшей степени, в то время как сети отделов могут приближаться в некоторых случаях к следующему по масштабу типу сетей - сетям кампусов.

### **Сети кампусов**

*Сети кампусов* получили свое название от английского слова *campus* - студенческий городок. Именно на территории университетских городков часто возникала необходимость объединения нескольких мелких сетей в одну большую сеть. Сейчас это название не связывают со студенческими городками, а используют для обозначения сетей любых предприятий и организаций.

Главными особенностями сетей кампусов являются следующие. Сети этого типа объединяют множество сетей различных отделов одного предприятия в пределах отдельного здания или в пределах одной территории, покрывающей площадь в несколько квадратных километров. При этом глобальные соединения в сетях кампусов не используются. Службы такой сети включают взаимодействие между сетями отделов, доступ к общим базам данных предприятия, доступ к общим факс-серверам, высокоскоростным модемам и высокоскоростным принтерам. В результате сотрудники каждого отдела предприятия получают доступ к некоторым файлам и ресурсам сетей других отделов. Важной службой, предоставляемой сетями кампусов, стал доступ к корпоративным базам данных независимо от того, на каких типах компьютеров они располагаются.

Именно на уровне сети кампуса возникают проблемы интеграции неоднородного аппаратного и программного обеспечения. Типы компьютеров, сетевых операционных систем, сетевого аппаратного обеспечения могут отличаться в каждом отделе. Отсюда вытекают сложности управления сетями кампусов. Администраторы должны быть в этом случае более квалифицированными, а средства оперативного управления сетью - более совершенными.

### **Корпоративные сети**

*Корпоративные сети* называют также сетями масштаба предприятия, что соответствует дословному переводу термина «enterprise-wide networks», используемого в англоязычной литературе для обозначения этого типа сетей. Сети масштаба предприятия (корпоративные сети) объединяют большое количество компьютеров на всех территориях отдельного предприятия. Они могут быть сложно связаны и покрывать город, регион или даже континент. Число пользователей и компьютеров может измеряться тысячами, а число серверов - сотнями, расстояния между сетями отдельных территорий могут оказаться такими, что становится необходимым использование глобальных связей. Для соединения удаленных локальных сетей и отдельных компьютеров в корпоративной сети применяются разнообразные телекоммуникационные средства, в том числе телефонные каналы, радиоканалы, спутниковая связь. Корпоративную сеть можно представить в виде «островков локальных сетей», плавающих в телекоммуникационной среде.

Непременным атрибутом такой сложной и крупномасштабной сети является высокая степень гетерогенности - нельзя удовлетворить потребности тысяч пользователей с помощью однотипных программных и аппаратных средств. В корпоративной сети обязательно будут использоваться различные типы компьютеров - от мэйнфреймов до персоналок, несколько типов операционных систем и множество различных приложений. Неоднородные части корпоративной сети должны работать как единое целое, предоставляя пользователям по возможности прозрачный доступ ко всем необходимым ресурсам.

### **Требования, предъявляемые к современным компьютерным сетям**

Главным требованием, предъявляемым к сетям, является выполнение сетью ее основной функции - обеспечение пользователям потенциальной возможности доступа к разделяемым ресурсам всех компьютеров, объединенных в сеть. Все остальные требования - производительность, надежность, совместимость, управляемость, защищенность, расширяемость и масштабируемость - связаны с качеством выполнения этой основной задачи.

**Список ключевых слов.** Телекоммуникационные технологии. Компьютерные сети. Системы пакетной обработки. Многотерминальные системы. Глобальные сети. Локальные сети. Конвергенция сетей. Стандартные технологии локальных сетей. Кодирование. Модуляция. Топология физических связей. Адресация. Коммутация. Маршрутизация. Продвижение данных. Мультиплексирование и демультиплексирование. Производительность. Надежность и безопасность. Расширяемость и масштабируемость. Прозрачность. Управляемость. Поддержка различных видов трафика. Совместимость.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие технологии легли в основу компьютерных сетей?
2. Какой путь в эволюционном развитии прошли компьютерные сети?
3. Какие направления конвергенции имеются между глобальными и локальными компьютерными сетями?
4. Какие основные проблемы приходится решать при физической передаче данных в компьютерных сетях?
5. Какие топологии физических связей существуют в компьютерных сетях?
6. Как осуществляется адресация компьютеров в сетях?
7. Какие способы коммутации используются в компьютерных сетях?
8. Какие основные задачи решаются при коммутации ?
9. Какие разновидности компьютерных сетей существуют в настоящее время?
10. Какие основные требования предъявляются к компьютерным сетям?

### **Литература**

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы. Технологии. Протоколы – СПб. 2006.
2. Microsoft Corporation. Компьютерные сети. Учебный курс / Пер. с англ. - М.: Издательский отдел «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.». – 1997.
3. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и теле-

коммуникации – СПб. 2003.