



Построение локальных сетей по стандартам физического и канального уровней

В данной главе рассматриваются вопросы, связанные с реализацией рассмотренных выше протоколов физического и канального уровней в сетевом коммуникационном оборудовании. Хотя на основе оборудования только этого уровня трудно построить достаточно крупную корпоративную сеть, именно кабельные системы, сетевые адаптеры, концентраторы, мосты и коммутаторы представляют наиболее массовый тип сетевых устройств.

За исключением кабельной системы, которая является протоколно независимой, устройство и функции коммуникационного оборудования остальных типов существенно зависят от того, какой конкретно протокол в них реализован. Концентратор Ethernet устроен не так, как концентратор Token Ring, а сетевой адаптер FDDI не сможет работать в сети Fast Ethernet. С другой стороны, даже в рамках одной технологии оборудование разных производителей может заметно отличаться друг от друга. В этой главе будут рассмотрены наиболее типичные варианты реализации основных и дополнительных устройств физического и канального уровней.

4.1. Структурированная кабельная система

Кабельная система является фундаментом любой сети. Как при строительстве нельзя создать хороший дом на плохо построенном фундаменте, так и сеть, отлично работающая на плохой кабельной системе, - это явление из области ненаучной фантастики. Если в кабелях ежедневно происходят короткие замыкания, контакты разъемов то отходят, то снова входят в плотное соединение, добавление новой станции приводит к необходимости тестирования десятка контактов разъемов из-за того, что документация на физические соединения не ведется, то ясно, что на основе такой кабельной системы любое, самое современное и производительное оборудование будет работать из рук вон плохо. Пользователи будут недовольны большими периодами простоев и низкой производительностью сети, а обслуживающий персонал будет в постоянной «запарке», разыскивая места коротких замыканий, обрывов и плохих контактов. Причем проблем с кабельной системой становится намного больше при увеличении размеров сети.

Ответом на высокие требования к качеству кабельной системы стали структурированные кабельные системы.

4.1.1. Иерархия в кабельной системе

Структурированная кабельная система (Structured Cabling System, SCS) - это набор коммутационных элементов (кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов), а также методика их совместного использования, которая позволяет создавать регулярные, легко расширяемые структуры связей в вычислительных сетях.

Структурированная кабельная система представляет своего рода «конструктор», с помощью которого проектировщик сети строит нужную ему конфигурацию из стандартных кабелей, соединенных стандартными разъемами и коммутируемых на стандартных кроссовых панелях. При необходимости конфигурацию связей можно легко изменить - добавить компьютер, сегмент, коммутатор, изъять ненужное оборудование, а также поменять соединения между компьютерами и концентраторами.

При построении структурированной кабельной системы подразумевается, что каждое рабочее место на предприятии должно быть оснащено розетками для подключения телефона и компьютера, даже если в данный момент этого не требуется. То есть хорошая структурированная кабельная система строится избыточной. В будущем это может сэкономить средства, так как изменения в подключении новых устройств можно производить за счет перекоммутации уже проложенных кабелей.

Структурированная кабельная система планируется и строится иерархически, с главной магистралью и многочисленными ответвлениями от нее (рис. 4.1).

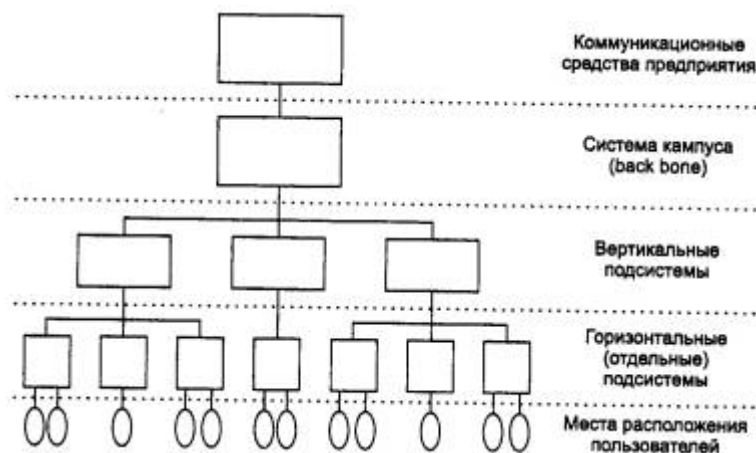


Рис. 4.1. Иерархия структурированной кабельной системы

Эта система может быть построена на базе уже существующих современных телефонных кабельных систем, в которых кабели, представляющие собой набор витых пар, прокладываются в каждом здании, разводятся между этажами, на каждом этаже используется специальный .кроссовый шкаф, от которого провода в трубах и коробах подводятся к каждой комнате и разводятся по розеткам. К сожалению, в нашей стране далеко не во всех зданиях телефонные линии прокладываются витыми парами, поэтому они непригодны для создания компьютерных сетей, и кабельную систему в таком случае нужно строить заново.

Типичная иерархическая структура структурированной кабельной системы (рис. 4.2) включает:

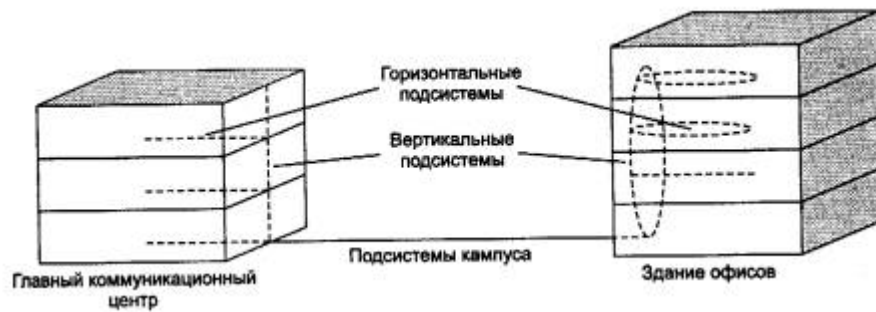


Рис. 4.2. Структура кабельных подсистем

- горизонтальные подсистемы (в пределах этажа);
- вертикальные подсистемы (внутри здания);
- подсистему кампуса (в пределах одной территории с несколькими зданиями).

Горизонтальная подсистема соединяет кроссовый шкаф этажа с розетками пользователей. Подсистемы этого типа соответствуют этажам здания. *Вертикальная подсистема* соединяет кроссовые шкафы каждого этажа с центральной аппаратной здания. Следующим шагом иерархии является *подсистема кампуса*, которая соединяет несколько зданий с главной аппаратной всего кампуса. Эта часть кабельной системы обычно называется магистралью (backbone).

Использование структурированной кабельной системы вместо хаотически проложенных кабелей дает предприятию много преимуществ.

- *Универсальность.* Структурированная кабельная система при продуманной организации может стать единой средой для передачи компьютерных данных в локальной вычислительной сети, организации локальной телефонной сети, передачи видеoinформации и даже передачи сигналов от датчиков пожарной безопасности или охранных систем. Это позволяет автоматизировать многие процессы контроля, мониторинга и управления хозяйственными службами и системами жизнеобеспечения предприятия.
- *Увеличение срока службы.* Срок морального старения хорошо структурированной кабельной системы может составлять 10-15 лет.
- *Уменьшение стоимости добавления новых пользователей и изменения их мест размещения.* Известно, что стоимость кабельной системы значительна и определяется в основном не стоимостью кабеля, а стоимостью работ по его прокладке. Поэтому более выгодно провести однократную работу по прокладке кабеля, возможно, с большим запасом по длине, чем несколько раз выполнять прокладку, наращивая длину кабеля. При таком подходе все работы по добавлению или перемещению пользователя сводятся к подключению компьютера к уже имеющейся розетке.
- *Возможность легкого расширения сети.* Структурированная кабельная система является модульной, поэтому ее легко расширять. Например, к магистрали можно добавить новую подсеть, не оказывая никакого влияния на существующие подсети. Можно заменить в отдельной подсети тип кабеля независимо от остальной части сети. Структурированная кабельная система является основой для деления сети на легко управляемые логические сегменты, так как она сама уже разделена на физические сегменты.

- *Обеспечение более эффективного обслуживания.* Структурированная кабельная система облегчает обслуживание и поиск неисправностей по сравнению с шинной кабельной системой. При шинной организации кабельной системы отказ одного из устройств или соединительных элементов приводит к трудно локализуемому отказу всей сети. В структурированных кабельных системах отказ одного сегмента не действует на другие, так как объединение сегментов осуществляется с помощью концентраторов. Концентраторы диагностируют и локализуют неисправный участок.
- *Надежность.* Структурированная кабельная система имеет повышенную надежность, поскольку производитель такой системы гарантирует не только качество ее отдельных компонентов, но и их совместимость.

Первой структурированной кабельной системой, имеющей все современные черты такого типа систем, была система SYSTIMAX SCS компании Lucent Technologies (ранее - подразделение AT&T). И сегодня компании Lucent Technologies принадлежит основная доля мирового рынка. Многие другие компании также выпускают качественные структурированные кабельные системы, например AMP, BICC Brand-Rex, Siemens, Alcatel, MOD-TAP. На российском рынке успешно завоевывает себе место под солнцем отечественная структурированная кабельная система АйТи-СКС московской компании «АйТи».

4.1.2. Выбор типа кабеля для горизонтальных подсистем

Большинство проектировщиков начинает разработку структурированной кабельной системы с горизонтальных подсистем, так как именно к ним подключаются конечные пользователи. При этом они могут выбирать между экранированной витой парой, неэкранированной витой парой, коаксиальным кабелем и волоконно-оптическим кабелем. Возможно использование и беспроводных линий связи.

Горизонтальная подсистема характеризуется очень большим количеством ответвлений кабеля (рис. 4.3), так как его нужно провести к каждой пользовательской розетке, причем и в тех комнатах, где пока компьютеры в сеть не объединяются. Поэтому к кабелю, используемому в горизонтальной проводке, предъявляются повышенные требования к удобству выполнения ответвлений, а также удобству его прокладки в помещениях. На этаже обычно устанавливается кроссовая панель, которая позволяет с помощью коротких отрезков кабеля, оснащенного разъемами, провести перекоммутацию соединений между пользовательским оборудованием и концентраторами/коммутаторами.

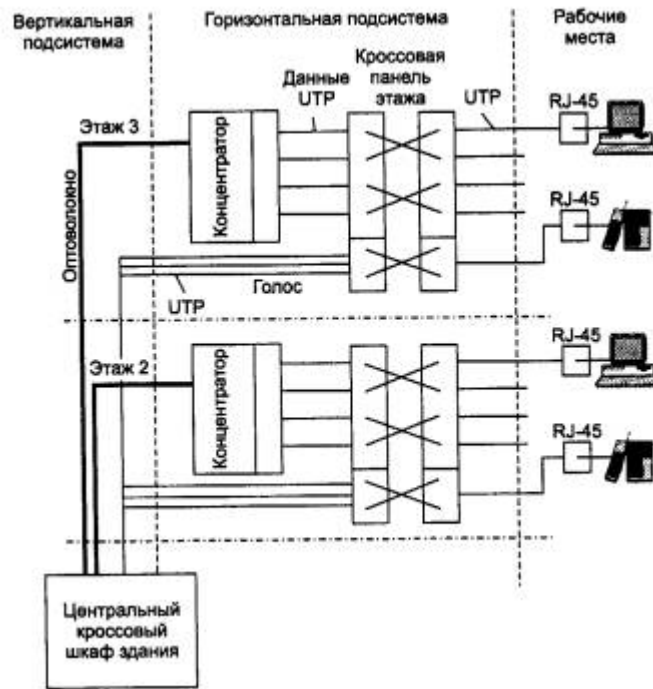


Рис. 4.3. Структура кабельной системы этажа и здания

Медный провод, в частности неэкранированная витая пара, является предпочтительной средой для горизонтальной кабельной подсистемы, хотя, если пользователям нужна очень высокая пропускная способность или кабельная система прокладывается в агрессивной среде, для нее подойдет и волоконно-оптический кабель. Коаксиальный кабель - это устаревшая технология, которой следует избегать, если только она уже широко не используется на предприятии. Беспроводная связь является новой и многообещающей технологией, однако из-за сравнительной новизны и низкой помехоустойчивости лучше ограничить масштабы ее использования неответственными областями.

При выборе кабеля принимаются во внимание следующие характеристики: полоса пропускания, расстояние, физическая защищенность, электромагнитная помехозащищенность, стоимость. Кроме того, при выборе кабеля нужно учитывать, какая кабельная система уже установлена на предприятии, а также какие тенденции и перспективы существуют на рынке в данный момент.

Экранированная витая пара, STP, позволяет передавать данные на большее расстояние и поддерживать больше узлов, чем неэкранированная. Наличие экрана делает ее более дорогой и не дает возможности передавать голос. Экранированная витая пара используется в основном в сетях, базирующихся на продуктах IBM и Token Ring, и редко подходит к остальному оборудованию локальных сетей.

Неэкранированная витая пара UTP по характеристикам полосы пропускания и поддерживаемым расстояниям также подходит для создания горизонтальных подсистем. Но так как она может передавать данные и голос, она используется чаще.

Однако и коаксиальный кабель все еще остается одним из возможных вариантов кабеля для горизонтальных подсистем. Особенно в случаях, когда высокий уровень электромагнитных помех не позволяет использовать витую пару или же небольшие размеры сети не создают больших проблем с эксплуатацией кабельной системы.

Толстый Ethernet обладает по сравнению с тонким большей полосой пропускания, он более стоек к повреждениям и передает данные на большие расстояния, однако к нему сложнее подсоединиться и он менее гибок. С толстым Ethernet сложнее работать, и он мало подходит для горизонтальных подсистем. Однако его можно использовать в вертикальной подсистеме в качестве магистрали, если оптоволоконный кабель по каким-то причинам не подходит.

Тонкий Ethernet - это кабель, который должен был решить проблемы, связанные с применением толстого Ethernet. До появления стандарта 10Base-T тонкий Ethernet был основным кабелем для горизонтальных подсистем. Тонкий Ethernet проще монтировать, чем толстый. Сети на тонком Ethernet можно быстро собрать, так как компьютеры соединяются друг с другом непосредственно.

Главный недостаток тонкого Ethernet - сложность его обслуживания. Каждый конец кабеля должен завершаться терминатором 50 Ом. При отсутствии терминатора или утере им своих рабочих свойств (например, из-за отсутствия контакта) перестает работать весь сегмент сети, подключенный к этому кабелю. Аналогичные последствия имеет плохое соединение любой рабочей станции (осуществляемое через T-коннектор). Неисправности в сетях на тонком Ethernet сложно локализовать. Часто приходится отсоединять T-коннектор от сетевого адаптера, тестировать кабельный сегмент и затем последовательно повторять эту процедуру для всех присоединенных узлов. Поэтому стоимость эксплуатации сети на тонком Ethernet обычно значительно превосходит стоимость эксплуатации аналогичной сети на витой паре, хотя капитальные затраты на кабельную систему для тонкого Ethernet обычно ниже.

Основные области применения оптоволоконного кабеля - вертикальная подсистема и подсистемы кампусов. Однако, если нужна высокая степень защищенности данных, высокая пропускная способность или устойчивость к электромагнитным помехам, волоконно-оптический кабель может использоваться и в горизонтальных подсистемах. С волоконно-оптическим кабелем работают протоколы AppleTalk, ArcNet, Ethernet, FDDI и Token Ring, а также новые протоколы 100AnyLAN, Fast Ethernet, ATM.

Стоимость установки сетей на оптоволоконном кабеле для горизонтальной подсистемы оказывается весьма высокой. Эта стоимость складывается из стоимости сетевых адаптеров (около тысячи долларов каждый) и стоимости монтажных работ, которая в случае оптоволокна гораздо выше, чем при работе с другими видами кабеля.

Преобладающим кабелем для горизонтальной подсистемы является неэкранированная витая пара категории 5. Ее позиции еще более укрепятся с принятием спецификации 802.3ab для применения на этом виде кабеля технологии Gigabit Ethernet.

На рис. 4.4 показаны типовые коммутационные элементы структурированной кабельной системы, применяемые на этаже при прокладке неэкранированной витой пары. Для сокращения количества кабелей здесь установлен 25-парный кабель и разъем для такого типа кабеля Telco, имеющий 50 контактов.

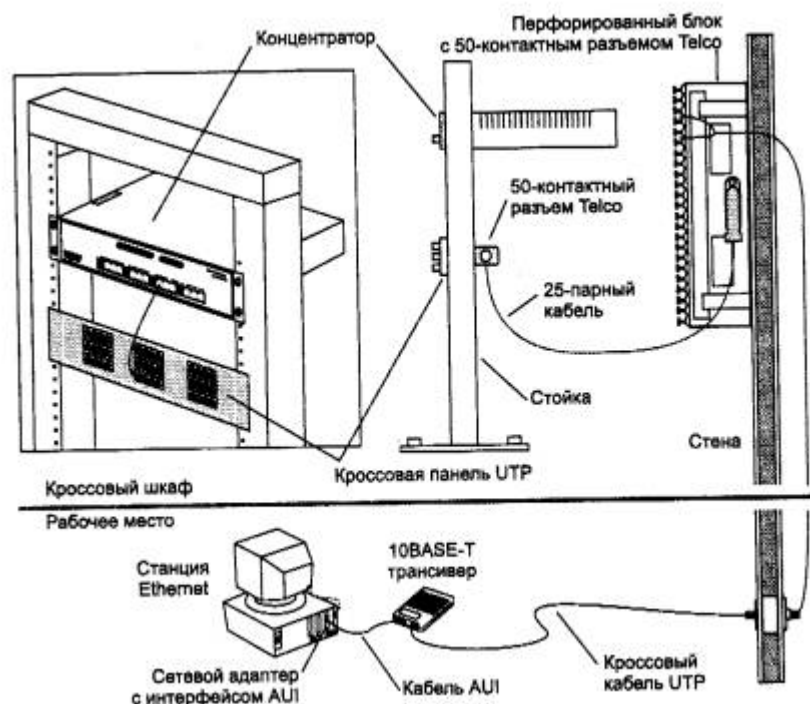


Рис. 4.4. Коммутационные элементы горизонтальной кабельной подсистемы для UTP

4.1.3. Выбор типа кабеля для вертикальных подсистем

Кабель вертикальной (или магистральной) подсистемы, которая соединяет этажи здания, должен передавать данные на большие расстояния и с большей скоростью по сравнению с кабелем горизонтальной подсистемы. В прошлом основным видом кабеля для вертикальных подсистем был коаксиал. Теперь для этой цели все чаще используется оптоволоконный кабель.

Для вертикальной подсистемы выбор кабеля в настоящее время ограничивается тремя вариантами.

- Оптоволокно - отличные характеристики пропускной способности, расстояния и защиты данных; устойчивость к электромагнитным помехам; может передавать голос, видеоизображение и данные. Но сравнительно дорого, сложно выполнять ответвления.
- Толстый коаксиал - хорошие характеристики пропускной способности, расстояния и защиты данных; может передавать данные. Но с ним сложно работать, хотя специалистов, имеющих подобный опыт работы, достаточно много.
- Широкополосный кабель, используемый в кабельном телевидении, - хорошие показатели пропускной способности и расстояния; может передавать голос, видео и данные. Но очень сложно работать и требуются большие затраты во время эксплуатации.

Применение волоконно-оптического кабеля в вертикальной подсистеме имеет ряд преимуществ. Он передает данные на значительно большие расстояния без необходимости регенерации сигнала. Он имеет сердечник меньшего диаметра, поэтому может быть проложен в более узких местах. Так как передаваемые по нему сигналы являются световыми, а не электрическими, оптоволоконный кабель не чувствителен к

электромагнитным и радиочастотным помехам, в отличие от медного коаксиального кабеля. Это делает оптоволоконный кабель идеальной средой передачи данных для промышленных сетей. Оптоволоконному кабелю не страшна молния, поэтому он хорош для внешней прокладки. Он обеспечивает более высокую степень защиты от несанкционированного доступа, так как ответвление гораздо легче обнаружить, чем в случае медного кабеля (при ответвлении резко уменьшается интенсивность света).

Оптоволоконный кабель имеет и недостатки. Он дороже чем медный кабель, дороже обходится и его прокладка. Оптоволоконный кабель менее прочный, чем коаксиальный. Инструменты, применяемые при прокладке и тестировании оптоволоконного кабеля, имеют высокую стоимость и сложны в работе. Присоединение коннекторов к оптоволоконному кабелю требует большого искусства и времени, а следовательно, и денег.

Для уменьшения стоимости построения межэтажной магистрали на оптоволокне некоторые компании, например AMP, предлагают кабельную систему с одним коммутационным центром. Обычно, коммутационный центр есть на каждом этаже, а в здании имеется общий коммутационный центр (см. рис. 4.3.), соединяющий между собой коммутационные центры этажей. При такой традиционной схеме и использовании волоконно-оптического кабеля между этажами требуется выполнять достаточное большое число оптоволоконных соединений в коммутационных центрах этажей. Если же коммутационный центр в здании один, то все оптические кабели расходятся из единого кроссового шкафа прямо к разъемам конечного оборудования - коммутаторов, концентраторов или сетевых адаптеров с оптоволоконными трансиверами.

Толстый коаксиальный кабель также допустим в качестве магистрали сети, однако для новых кабельных систем более рационально использовать оптоволоконный кабель, так как он имеет больший срок службы и сможет в будущем поддерживать высокоскоростные и мультимедийные приложения. Но для уже существующих систем толстый коаксиальный кабель служил магистралью системы многие годы, и с этим нужно считаться. Причинами его повсеместного применения были широкая полоса пропускания, хорошая защищенность от электромагнитных помех и низкое радиоизлучение.

Хотя толстый коаксиальный кабель и дешевле, чем оптоволокно, но с ним гораздо сложнее работать. Он особенно чувствителен к различным уровням напряжения заземления, что часто бывает при переходе от одного этажа к другому. Эту проблему сложно разрешить. Поэтому кабелем номер 1 для горизонтальной подсистемы сегодня является волоконно-оптический кабель.

4.1.4. Выбор типа кабеля для подсистемы кампуса

Как и для вертикальных подсистем, оптоволоконный кабель является наилучшим выбором для подсистем нескольких зданий, расположенных в радиусе нескольких километров. Для этих подсистем также подходит толстый коаксиальный кабель. При выборе кабеля для кампуса нужно учитывать воздействие среды на кабель вне помещения. Для предотвращения поражения молнией лучше выбрать для внешней проводки неметаллический оптоволоконный кабель. По многим причинам внешний кабель производится в полиэтиленовой защитной оболочке высокой плотности. При подземной прокладке кабель должен иметь специальную влагозащитную оболочку (от дождя и подземной влаги), а также металлический защитный слой от грызунов и

вандалов. Влагозащитный кабель имеет прослойку из инертного газа между диэлектриком, экраном и внешней оболочкой.

Кабель для внешней прокладки не подходит для прокладки внутри зданий, так как он выделяет при сгорании большое количество дыма.

Выводы

- Кабельная система составляет фундамент любой компьютерной сети. От ее качества зависят все основные свойства сети.
- Структурированная кабельная система представляет собой набор коммуникационных элементов - кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов, которые удовлетворяют стандартам и позволяют создавать регулярные, легко расширяемые структуры связей.
- Структурированная кабельная система состоит из трех подсистем: горизонтальной (в пределах этажа), вертикальной (между этажами) и подсистемы кампуса (в пределах одной территории с несколькими зданиями).
- Для горизонтальной подсистемы характерно наличие большого количества ответвлений и перекрестных связей. Наиболее подходящий тип кабеля - неэкранированная витая пара категории 5.
- Вертикальная подсистема состоит из более протяженных отрезков кабеля, количество ответвлений намного меньше, чем в горизонтальной подсистеме. Предпочтительный тип кабеля - волоконно-оптический.
- Для подсистемы кампуса характерна нерегулярная структура связей с центральным зданием. Предпочтительный тип кабеля - волоконно-оптический в специальной изоляции.
- Кабельная система здания строится избыточной, так как стоимость последующего расширения кабельной системы превосходит стоимость установки избыточных элементов.

4.2. Концентраторы и сетевые адаптеры

Концентраторы вместе с сетевыми адаптерами, а также кабельной системой представляют тот минимум оборудования, с помощью которого можно создать локальную сеть. Такая сеть будет представлять собой общую разделяемую среду. Понятно, что сеть не может быть слишком большой, так как при большом количестве узлов общая среда передачи данных быстро становится узким местом, снижающим производительность сети. Поэтому концентраторы и сетевые адаптеры позволяют строить небольшие базовые фрагменты сетей, которые затем должны объединяться друг с другом с помощью мостов, коммутаторов и маршрутизаторов.

4.2.1. Сетевые адаптеры

Функции и характеристики сетевых адаптеров

Сетевой адаптер (Network Interface Card, NIC) вместе со своим драйвером реализует второй, канальный уровень модели открытых систем в конечном узле сети - компьютере. Более точно, в сетевой операционной системе пара адаптер и драйвер выполняет только функции физического и MAC - уровней, в то время как LLC-уровень обычно реализуется модулем операционной системы, единым для всех драйверов и сетевых адаптеров.

Собственно так оно и должно быть в соответствии с моделью стека протоколов IEEE 802. Например, в ОС Windows NT уровень LLC реализуется в модуле NDIS, общем для всех драйверов сетевых адаптеров, независимо от того, какую технологию поддерживает драйвер.

Сетевой адаптер совместно с драйвером выполняют две операции: передачу и прием кадра.

Передача кадра из компьютера в кабель состоит из перечисленных ниже этапов (некоторые могут отсутствовать, в зависимости от принятых методов кодирования),

- Прием кадра данных LLC через межуровневый интерфейс вместе с адресной информацией MAC - уровня. Обычно взаимодействие между протоколами внутри компьютера происходит через буферы, расположенные в оперативной памяти. Данные для передачи в сеть помещаются в эти буферы протоколами верхних уровней, которые извлекают их из дисковой памяти либо из файлового кэша с помощью подсистемы ввода/вывода операционной системы.
- Оформление кадра данных MAC - уровня, в который инкапсулируется кадр LLC (с отброшенными флагами 01111110). Заполнение адресов назначения и источника, вычисление контрольной суммы.
- Формирование символов кодов при использовании избыточных кодов типа 4B/5B. Скрэмблирование кодов для получения более равномерного спектра сигналов. Этот этап используется не во всех протоколах - например, технология Ethernet 10 Мбит/с обходится без него.
- Выдача сигналов в кабель в соответствии с принятым линейным кодом - манчестерским, NRZI, MLT-3 и т. п. Прием кадра из кабеля в компьютер включает следующие действия.
- Прием из кабеля сигналов, кодирующих битовый поток.
- Выделение сигналов на фоне шума. Эту операцию могут выполнять различные специализированные микросхемы или сигнальные процессоры DSP. В результате в приемнике адаптера образуется некоторая битовая последовательность, с большой степенью вероятности совпадающая с той, которая была послана передатчиком.
- Если данные перед отправкой в кабель подвергались скрэмблированию, то они пропускаются через дескрэмблер, после чего в адаптере восстанавливаются символы кода, посланные передатчиком.
- Проверка контрольной суммы кадра. Если она неверна, то кадр отбрасывается, а через межуровневый интерфейс наверх, протоколу LLC передается соответствующий код ошибки. Если контрольная сумма верна, то из MAC - кадра извлекается кадр LLC и передается через межуровневый интерфейс наверх, протоколу LLC. Кадр LLC помещается в буфер оперативной памяти.

Распределение обязанностей между сетевым адаптером и его драйвером стандартами не определяется, поэтому каждый производитель решает этот вопрос самостоятельно. Обычно сетевые адаптеры делятся на адаптеры для клиентских компьютеров и адаптеры для серверов.

В адаптерах для клиентских компьютеров значительная часть работы перекладывается на драйвер, тем самым адаптер оказывается проще и дешевле. Недостатком такого подхода является высокая степень загрузки центрального процессора компьютера рутинными работами по передаче кадров из оперативной памяти компьютера в сеть. Центральный

процессор вынужден заниматься этой работой вместо выполнения прикладных задач пользователя.

Поэтому адаптеры, предназначенные для серверов, обычно снабжаются собственными процессорами, которые самостоятельно выполняют большую часть работы по передаче кадров из оперативной памяти в сеть и в обратном направлении. Примером такого адаптера может служить сетевой адаптер SMS EtherPower со встроенным процессором Intel i960.

В зависимости от того, какой протокол реализует адаптер, адаптеры делятся на Ethernet-адаптеры, Token Ring-адаптеры, FDDI-адаптеры и т. д. Так как протокол Fast Ethernet позволяет за счет процедуры автопереговоров автоматически выбрать скорость работы сетевого адаптера в зависимости от возможностей концентратора, то многие адаптеры Ethernet сегодня поддерживают две скорости работы и имеют в своем названии приставку 10/100. Это свойство некоторые производители *называют авточувствительностью*.

Сетевой адаптер перед установкой в компьютер необходимо конфигурировать. При конфигурировании адаптера обычно задаются номер прерывания IRQ, используемого адаптером, номер канала прямого доступа к памяти DMA (если адаптер поддерживает режим DMA) и базовый адрес портов ввода/вывода.

Если сетевой адаптер, аппаратура компьютера и операционная система поддерживают стандарт Plug-and-Play, то конфигурирование адаптера и его драйвера осуществляется автоматически. В противном случае нужно сначала сконфигурировать сетевой адаптер, а затем повторить параметры его конфигурации для драйвера. В общем случае, детали процедуры конфигурирования сетевого адаптера и его драйвера во многом зависят от производителя адаптера, а также от возможностей шины, для которой разработан адаптер.

Классификация сетевых адаптеров

В качестве примера классификации адаптеров используем подход фирмы 3Com, имеющей репутацию лидера в области адаптеров Ethernet. Фирма 3Com считает, что сетевые адаптеры Ethernet прошли в своем развитии три поколения.

Адаптеры первого поколения были выполнены на дискретных логических микросхемах, в результате чего обладали низкой надежностью. Они имели буферную память только на один кадр, что приводило к низкой производительности адаптера, так как все кадры передавались из компьютера в сеть или из сети в компьютер последовательно. Кроме этого, задание конфигурации адаптера первого поколения происходило вручную, с помощью перемычек. Для каждого типа адаптеров использовался свой драйвер, причем интерфейс между драйвером и сетевой операционной системой не был стандартизирован.

В сетевых адаптерах второго поколения для повышения производительности стали применять метод многокадровой буферизации. При этом следующий кадр загружается из памяти компьютера в буфер адаптера одновременно с передачей предыдущего кадра в сеть. В режиме приема, после того как адаптер полностью принял один кадр, он может начать передавать этот кадр из буфера в память компьютера одновременно с приемом другого кадра из сети.

В сетевых адаптерах второго поколения широко используются микросхемы с высокой степенью интеграции, что повышает надежность адаптеров. Кроме того, драйверы этих

адаптеров основаны на стандартных спецификациях. Адаптеры второго поколения обычно поставляются с драйверами, работающими как в стандарте NDIS (спецификация интерфейса сетевого драйвера), разработанном фирмами 3Com и Microsoft и одобренном IBM, так и в стандарте ODI (интерфейс открытого драйвера), разработанном фирмой Novell.

В сетевых адаптерах третьего поколения (к ним фирма 3Com относит свои адаптеры семейства EtherLink III) осуществляется конвейерная схема обработки кадров. Она заключается в том, что процессы приема кадра из оперативной памяти компьютера и передачи его в сеть совмещаются во времени. Таким образом, после приема нескольких первых байт кадра начинается их передача. Это существенно (на 25-55 %) повышает производительность цепочки *оперативная память - адаптер - физический канал - адаптер - оперативная память*. Такая схема очень чувствительна к порогу начала передачи, то есть к количеству байт кадра, которое загружается в буфер адаптера перед началом передачи в сеть. Сетевой адаптер третьего поколения осуществляет самонастройку этого параметра путем анализа рабочей среды, а также методом расчета, без участия администратора сети. Самонастройка обеспечивает максимально возможную производительность для конкретного сочетания производительности внутренней шины компьютера, его системы прерываний и системы прямого доступа к памяти.

Адаптеры третьего поколения базируются на специализированных интегральных схемах (ASIC), что повышает производительность и надежность адаптера при одновременном снижении его стоимости. Компания 3Com назвала свою технологию конвейерной обработки кадров Parallel Tasking, другие компании также реализовали похожие схемы в своих адаптерах. Повышение производительности канала «адаптер-память» очень важно для повышения производительности сети в целом, так как производительность сложного маршрута обработки кадров, включающего, например, концентраторы, коммутаторы, маршрутизаторы, глобальные каналы связи и т. п., всегда определяется производительностью самого медленного элемента этого маршрута. Следовательно, если сетевой адаптер сервера или клиентского компьютера работает медленно, никакие быстрые коммутаторы не смогут повысить скорость работы сети.

Выпускаемые сегодня сетевые адаптеры можно отнести к четвертому поколению. В эти адаптеры обязательно входит ASIC, выполняющая функции MAC - уровня, а также большое количество высокоуровневых функций. В набор таких функций может входить поддержка агента удаленного мониторинга RMON, схема приоритизации кадров, функции дистанционного управления компьютером и т. п. В серверных вариантах адаптеров почти обязательно наличие мощного процессора, разгружающего центральный процессор. Примером сетевого адаптера четвертого поколения может служить адаптер компании 3Com Fast EtherLink XL 10/100.

4.2.2. Концентраторы

Основные и дополнительные функции концентраторов

Практически во всех современных технологиях локальных сетей определено устройство, которое имеет несколько равноправных названий - концентратор (concentrator), хаб (hub), повторитель (repeater). В зависимости от области применения этого устройства в значительной степени изменяется состав его функций и конструктивное исполнение. Неизменной остается только основная функция - это *повторение кадра* либо на всех

портах (как определено в стандарте Ethernet), либо только на некоторых портах, в соответствии с алгоритмом, определенным соответствующим стандартом.

Концентратор обычно имеет несколько портов, к которым с помощью отдельных физических сегментов кабеля подключаются конечные узлы сети - компьютеры. Концентратор объединяет отдельные физические сегменты сети в единую разделяемую среду, доступ к которой осуществляется в соответствии с одним из рассмотренных протоколов локальных сетей - Ethernet, Token Ring и т. п. Так как логика доступа к разделяемой среде существенно зависит от технологии, то для каждого типа технологии выпускаются свои концентраторы - Ethernet; Token Ring;

FDDI и 100VG-AnyLAN. Для конкретного протокола иногда используется свое, узкоспециализированное название этого устройства, более точно отражающее его функции или же использующееся в силу традиций, например, для концентраторов Token Ring характерно название MSAU.

Каждый концентратор выполняет некоторую основную функцию, определенную в соответствующем протоколе той технологии, которую он поддерживает. Хотя эта функция достаточно детально определена в стандарте технологии, при ее реализации концентраторы разных производителей могут отличаться такими деталями, как количество портов, поддержка нескольких типов кабелей и т. п.

Кроме основной функции концентратор может выполнять некоторое количество дополнительных функций, которые либо в стандарте вообще не определены, либо являются факультативными. Например, концентратор Token Ring может выполнять функцию отключения некорректно работающих портов и перехода на резервное кольцо, хотя в стандарте такие его возможности не описаны. Концентратор оказался удобным устройством для выполнения дополнительных функций, облегчающих контроль и эксплуатацию сети.

Рассмотрим особенности реализации основной функции концентратора на примере концентраторов Ethernet.

В технологии Ethernet устройства, объединяющие несколько физических сегментов коаксиального кабеля в единую разделяемую среду, использовались давно и получили название «повторителей» по своей основной функции - повторению на всех своих портах сигналов, полученных на входе одного из портов. В сетях на основе коаксиального кабеля обычными являлись двухпортовые повторители, соединяющие только два сегмента кабеля, поэтому термин концентратор к ним обычно не применялся.

С появлением спецификации 10Base-T для витой пары повторитель стал неотъемлемой частью сети Ethernet, так как без него связь можно было организовать только между двумя узлами сети. Многопортовые повторители Ethernet на витой паре стали называть концентраторами или хабами, так как в одном устройстве действительно концентрировались связи между большим количеством узлов сети. Концентратор Ethernet обычно имеет от 8 до 72 портов, причем основная часть портов предназначена для подключения кабелей на витой паре. На рис. 4.5 показан типичный концентратор Ethernet, рассчитанный на образование небольших сегментов разделяемой среды. Он имеет 16 портов стандарта 10Base-T с разъемами RJ-45, а также один порт AUI для подключения внешнего трансивера. Обычно к этому порту подключается трансивер, работающий на коаксиал или оптоволокно. С помощью этого трансивера концентратор подключается к

магистральному кабелю, соединяющему несколько концентраторов между собой, либо таким образом обеспечивается подключение станции, удаленной от концентратора более чем на 100 м.

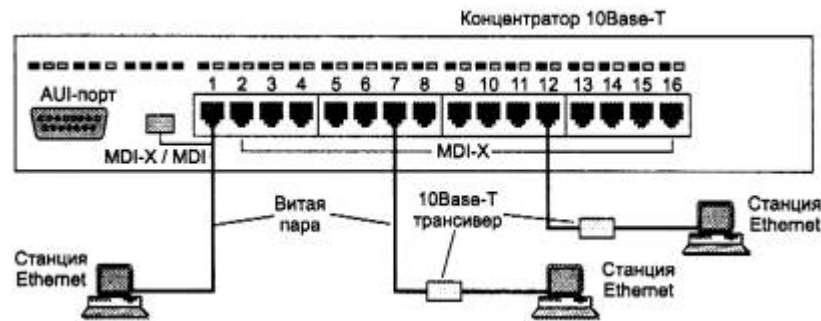


Рис. 4.5. Концентратор Ethernet

Для соединения концентраторов технологии 10Base-T между собой в иерархическую систему коаксиальный или оптоволоконный кабель не обязателен, можно применять те же порты, что и для подключения конечных станций, с учетом одного обстоятельства. Дело в том, что обычный порт RJ-45, предназначенный для подключения сетевого адаптера и называемый MDI-X (кроссированный MDI), имеет инвертированную разводку контактов разъема, чтобы сетевой адаптер можно было подключить к концентратору с помощью стандартного соединительного кабеля, не кроссирующего контакты (рис. 4.6). В случае соединения концентраторов через стандартный порт MDI-X приходится использовать нестандартный кабель с перекрестным соединением пар. Поэтому некоторые изготовители снабжают концентратор выделенным портом MDI, в котором нет кроссирования пар. Таким образом, два концентратора можно соединить обычным некроссированным кабелем, если это делать через порт MDI-X одного концентратора и порт MDI второго. Чаще один порт концентратора может работать и как порт MDI-X, и как порт MDI, в зависимости от положения кнопочного переключателя, как это показано в нижней части рис. 4.6.

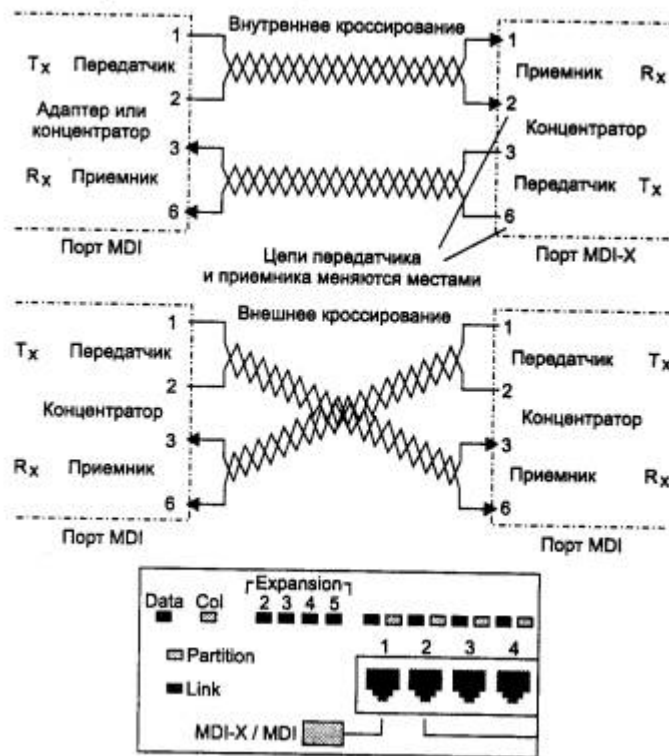


Рис. 4.6. Соединения типа «станция-концентратор» и «концентратор-концентратор» на витой паре

Многопортовый повторитель-концентратор Ethernet может по-разному рассматриваться при использовании правила 4-х хабов. В большинстве моделей все порты связаны с единственным блоком повторения, и при прохождении сигнала между двумя портами повторителя блок повторения вносит задержку всего один раз. Поэтому такой концентратор нужно считать одним повторителем с ограничениями, накладываемыми правилом 4-х хабов. Но существуют и другие модели повторителей, в которых на несколько портов имеется свой блок повторения. В таком случае каждый блок повторения нужно считать отдельным повторителем и учитывать его отдельно в правиле 4-х хабов.

Некоторые отличия могут демонстрировать модели концентраторов, работающие на одномодовый волоконно-оптический кабель. Дальность сегмента кабеля, поддерживаемого концентратором FDDI, на таком кабеле может значительно отличаться в зависимости от мощности лазерного излучателя - от 10 до 40 км.

Однако если существующие различия при выполнении основной функции концентраторов не столь велики, то их намного превосходит разброс в возможностях реализации концентраторами дополнительных функций.

Отключение портов

Очень полезной при эксплуатации сети является способность концентратора отключать некорректно работающие порты, изолируя тем самым остальную часть сети от возникших в узле проблем. Эту функцию называют *автосегментацией* (*autopartitioning*). Для концентратора FDDI эта функция для многих ошибочных ситуаций является основной, так как определена в протоколе. В то же время для концентратора Ethernet или Token Ring функция автосегментации для многих ситуаций является дополнительной, так как

стандарт не описывает реакцию концентратора на эту ситуацию. Основной причиной отключения порта в стандартах Ethernet и Fast Ethernet является отсутствие ответа на последовательность импульсов link test, посылаемых во все порты каждые 16 мс. В этом случае неисправный порт переводится в состояние «отключен», но импульсы link test будут продолжать посылаться в порт с тем, чтобы при восстановлении устройства работа с ним была продолжена автоматически.

Рассмотрим ситуации, в которых концентраторы Ethernet и Fast Ethernet выполняют отключение порта.

- *Ошибки на уровне кадра.* Если интенсивность прохождения через порт кадров, имеющих ошибки, превышает заданный порог, то порт отключается, а затем, при отсутствии ошибок в течение заданного времени, включается снова. Такими ошибками могут быть: неверная контрольная сумма, неверная длина кадра (больше 1518 байт или меньше 64 байт), неоформленный заголовок кадра.
- *Множественные коллизии.* Если концентратор фиксирует, что источником коллизии был один и тот же порт 60 раз подряд, то порт отключается. Через некоторое время порт снова будет включен.
- *Затянувшаяся передача (jabber).* Как и сетевой адаптер, концентратор контролирует время прохождения одного кадра через порт. Если это время превышает время передачи кадра максимальной длины в 3 раза, то порт отключается.

Поддержка резервных связей

Так как использование резервных связей в концентраторах определено только в стандарте FDDI, то для остальных стандартов разработчики концентраторов поддерживают такую функцию с помощью своих частных решений. Например, концентраторы Ethernet/Fast Ethernet могут образовывать только иерархические связи без петель. Поэтому резервные связи всегда должны соединять отключенные порты, чтобы не нарушать логику работы сети. Обычно при конфигурировании концентратора администратор должен определить, какие порты являются основными, а какие по отношению к ним - резервными (рис. 4.7). Если по какой-либо причине порт отключается (срабатывает механизм автосегментации), концентратор делает активным его резервный порт.

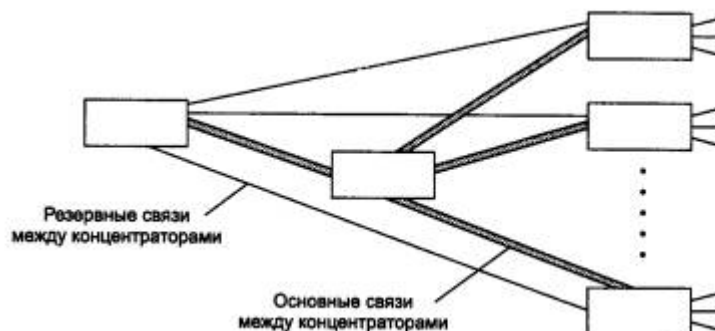


Рис. 4.7. Резервные связи между концентраторами Ethernet

В некоторых моделях концентраторов разрешается использовать механизм назначения резервных портов только для оптоволоконных портов, считая, что нужно резервировать только наиболее важные связи, которые обычно выполняются на оптическом кабеле. В других же моделях резервным можно сделать любой порт.

Защита от несанкционированного доступа

Разделяемая среда предоставляет очень удобную возможность для несанкционированного прослушивания сети и получения доступа к передаваемым данным. Для этого достаточно подключить компьютер с программным анализатором протоколов к свободному разъему концентратора, записать на диск весь проходящий по сети трафик, а затем выделить из него нужную информацию.

Разработчики концентраторов предоставляют некоторый способ защиты данных в разделяемых средах.

Наиболее простой способ - назначение разрешенных MAC - адресов портам концентратора. В стандартном концентраторе Ethernet порты MAC - адресов не имеют. Защита заключается в том, что администратор вручную связывает с каждым портом концентратора некоторый MAC - адрес. Этот MAC - адрес является адресом станции, которой разрешается подключаться к данному порту. Например, на рис. 4.8 первому порту концентратора назначен MAC - адрес 123 (условная запись). Компьютер с MAC - адресом 123 нормально работает с сетью через данный порт. Если злоумышленник отсоединяет этот компьютер и присоединяет вместо него свой, концентратор заметит, что при старте нового компьютера в сеть начали поступать кадры с адресом источника 789. Так как этот адрес является недопустимым для первого порта, то эти кадры фильтруются, порт отключается, а факт нарушения прав доступа может быть зафиксирован.

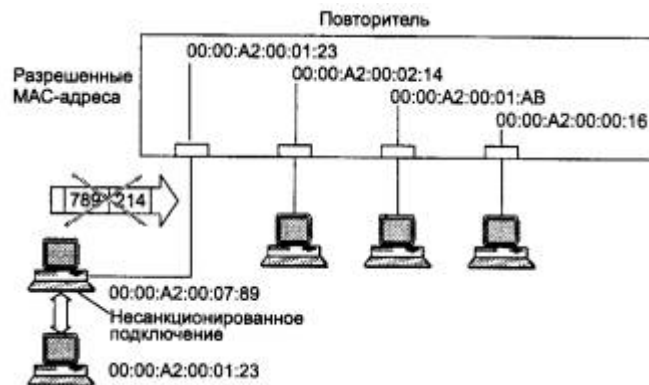


Рис. 4.8. Изоляция портов: передача кадров только от станций с фиксированными адресами

Заметим, что для реализации описанного метода защиты данных концентратор нужно предварительно сконфигурировать. Для этого концентратор должен иметь блок управления. Такие концентраторы обычно называют интеллектуальными. Блок управления представляет собой компактный вычислительный блок со встроенным программным обеспечением. Для взаимодействия администратора с блоком управления концентратор имеет консольный порт (чаще всего RS-232), к которому подключается терминал или персональный компьютер с программой эмуляции терминала. При присоединении терминала блок управления организует на его экране диалог, с помощью которого администратор вводит значения MAC - адресов. Блок управления может поддерживать и другие операции конфигурирования, например ручное отключение или включение портов и т. д. Для этого при подключении терминала блок управления выдает на экран некоторое меню, с помощью которого администратор выбирает нужное действие.

Другим способом защиты данных от несанкционированного доступа является их шифрация. Однако процесс истинной шифрации требует большой вычислительной мощности, и для повторителя, не буферизирующего кадр, выполнить шифрацию «на лету» весьма сложно. Вместо этого в концентраторах применяется метод случайного искажения поля данных в пакетах, передаваемых портам с адресом, отличным от адреса назначения пакета. Этот метод сохраняет логику случайного доступа к среде, так как все станции видят занятость среды кадром информации, но только станция, которой послан этот кадр, может понять содержание поля данных кадра (рис. 4.9). Для реализации этого метода концентратор также нужно снабдить информацией о том, какие МАС - адреса имеют станции, подключенные к его портам. Обычно поле данных в кадрах, направляемых станциям, отличным от адресата, заполняется нулями.

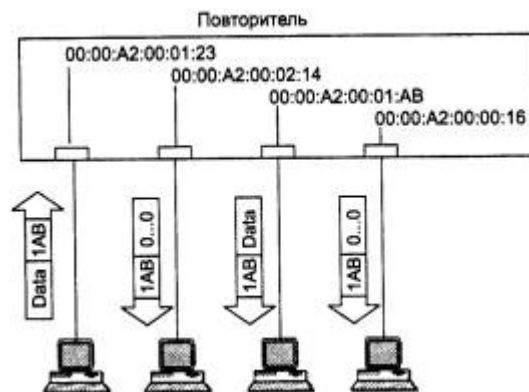


Рис. 4.9. Искажение поля данных в кадрах, не предназначенных для приема станциями

Многосегментные концентраторы

При рассмотрении некоторых моделей концентраторов возникает вопрос - зачем в этой модели имеется такое большое количество портов, например 192 или 240? Имеет ли смысл разделять среду в 10 или 16 Мбит/с между таким большим количеством станций? Возможно, десять - пятнадцать лет назад ответ в некоторых случаях мог бы быть и положительным, например, для тех сетей, в которых компьютеры пользовались сетью только для отправки небольших почтовых сообщений или для переписывания небольшого текстового файла. Сегодня таких сетей осталось крайне мало, и даже 5 компьютеров могут полностью загрузить сегмент Ethernet или Token Ring, а в некоторых случаях - и сегмент Fast Ethernet. Для чего же тогда нужен концентратор с большим количеством портов, если ими практически нельзя воспользоваться из-за ограничений по пропускной способности, приходящейся на одну станцию? Ответ состоит в том, что в таких концентраторах имеется несколько несвязанных внутренних шин, которые предназначены для создания нескольких разделяемых сред. Например, концентратор, изображенный на рис. 4.10, имеет три внутренние шины Ethernet. Если, например, в таком концентраторе 72 порта, то каждый из этих портов может быть связан с любой из трех внутренних шин. На рисунке первые два компьютера связаны с шиной Ethernet 3, а третий и четвертый компьютеры - с шиной Ethernet 1. Первые два компьютера образуют один разделяемый сегмент, а третий и четвертый - другой разделяемый сегмент.

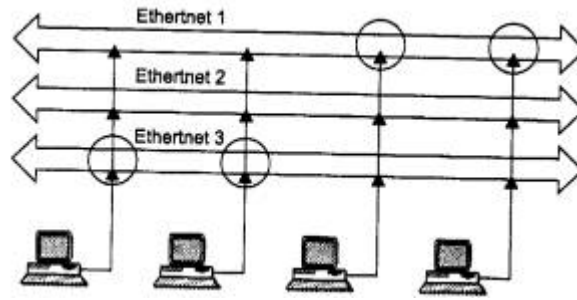


Рис. 4.10. Многосегментный концентратор

Между собой компьютеры, подключенные к разным сегментам, общаться через концентратор не могут, так как шины внутри концентратора никак не связаны.

Многосегментные концентраторы нужны для создания разделяемых сегментов, состав которых может легко изменяться. Большинство многосегментных концентраторов, например System 5000 компании Nortel Networks или PortSwitch Hub компании 3Com, позволяют выполнять операцию соединения порта с одной из внутренних шин чисто программным способом, например с помощью локального конфигурирования через консольный порт. В результате администратор сети может присоединять компьютеры пользователей к любым портам концентратора, а затем с помощью программы конфигурирования концентратора управлять составом каждого сегмента. Если завтра сегмент 1 станет перегруженным, то его компьютеры можно распределить между оставшимися сегментами концентратора.

Возможность многосегментного концентратора программно изменять связи портов с внутренними шинами называется *конфигурационной коммутацией (configuration switching)*.

ВНИМАНИЕ Конфигурационная коммутация не имеет ничего общего с коммутацией кадров, которую выполняют мосты и коммутаторы.

Многосегментные концентраторы - это программируемая основа больших сетей. Для соединения сегментов между собой нужны устройства другого типа - мосты/коммутаторы или маршрутизаторы. Такое межсетевое устройство должно подключаться к нескольким портам многосегментного концентратора, подсоединенным к разным внутренним шинам, и выполнять передачу кадров или пакетов между сегментами точно так же, как если бы они были образованы отдельными устройствами-концентраторами.

Для крупных сетей многосегментный концентратор играет роль интеллектуального кроссового шкафа, который выполняет новое соединение не за счет механического перемещения вилки кабеля в новый порт, а за счет программного изменения внутренней конфигурации устройства.

Управление концентратором по протоколу SNMP

Как видно из описания дополнительных функций, многие из них требуют конфигурирования концентратора. Это конфигурирование может производиться локально, через интерфейс RS-232C, который имеется у любого концентратора, имеющего блок управления. Кроме конфигурирования в большой сети очень полезна функция наблюдения за состоянием концентратора: работоспособен ли он, в каком состоянии находятся его порты.

При большом количестве концентраторов и других коммуникационных устройств в сети постоянное наблюдение за состоянием многочисленных портов и изменением их параметров становится очень обременительным занятием, если оно должно выполняться с помощью локального подключения терминала. Поэтому большинство концентраторов, поддерживающих интеллектуальные дополнительные функции, могут управляться централизованно по сети с помощью популярного протокола управления SNMP (Simple Network Management Protocol) из стека TCP/IP.

Упрощенная структура системы управления изображена на рис.4.11.



Рис. 4.11. Структура системы управления на основе протокола SNMP

В блок управления концентратором встраивается так называемый SNMP-агент. Этот агент собирает информацию о состоянии контролируемого устройства и хранит ее в так называемой базе данных управляющей информации - *Management Information Base, MIB*. Эта база данных имеет стандартную структуру, что позволяет одному из компьютеров сети, выполняющему роль центральной станции управления, запрашивать у агента значения стандартных переменных базы MIB. В базе MIB хранятся не только данные о состоянии устройства, но и управляющая информация, воздействующая на это устройство. Например, в MIB есть переменная, управляющая состоянием порта, имеющая значения «включить» и «выключить». Если станция управления меняет значение управляющей переменной, то агент должен выполнить это указание и воздействовать на устройство соответствующим образом, например выключить порт или изменить связь порта с внутренними шинами концентратора.

Взаимодействие между станцией управления (по-другому - менеджером системы управления) и встроенными в коммуникационные устройства агентами происходит по протоколу SNMP. Концентратор, который управляется по протоколу SNMP, должен поддерживать основные протоколы стека TCP/IP и иметь IP- и MAC - адреса. Точнее, эти адреса относятся к агенту концентратора. Поэтому администратор, который хочет воспользоваться преимуществами централизованного управления концентраторами по сети, должен знать стек протоколов TCP/IP и сконфигурировать IP-адреса их агентов.

Конструктивное исполнение концентраторов

На конструктивное устройство концентраторов большое влияние оказывает их область применения. Концентраторы рабочих групп чаще всего выпускаются как устройства с фиксированным количеством портов, корпоративные концентраторы - как модульные устройства на основе шасси, а концентраторы отделов могут иметь стековую конструкцию. Такое деление не является жестким, и в качестве корпоративного концентратора может использоваться, например, модульный концентратор.

Концентратор с фиксированным количеством портов - это наиболее простое конструктивное исполнение, когда устройство представляет собой отдельный корпус со всеми необходимыми элементами (портами, органами индикации и управления, блоком питания), и эти элементы заменять нельзя. Обычно все порты такого концентратора поддерживают одну среду передачи, общее количество портов изменяется от 4-8 до 24. Один порт может быть специально выделен для подключения концентратора к магистрали сети или же для объединения концентраторов (в качестве такого порта часто используется порт с интерфейсом AUI, в этом случае применение соответствующего трансивера позволяет подключить концентратор к практически любой физической среде передачи данных).

Модульный концентратор выполняется в виде отдельных модулей с фиксированным количеством портов, устанавливаемых на общее шасси. Шасси имеет внутреннюю шину для объединения отдельных модулей в единый повторитель. Часто такие концентраторы являются многосегментными, тогда в пределах одного модульного концентратора работает несколько несвязанных между собой повторителей. Для модульного концентратора могут существовать различные типы модулей, отличающиеся количеством портов и типом поддерживаемой физической среды. Часто агент протокола SNMP выполняется в виде отдельного модуля, при установке которого концентратор превращается в интеллектуальное устройство. Модульные концентраторы позволяют более точно подобрать необходимую для конкретного применения конфигурацию концентратора, а также гибко и с минимальными затратами реагировать на изменения конфигурации сети.

Ввиду ответственной работы, которую выполняют корпоративные модульные концентраторы, они снабжаются модулем управления, системой терморегулирования, избыточными источниками питания и возможностью замены модулей «на ходу».

Недостатком концентратора на основе шасси является высокая начальная стоимость такого устройства для случая, когда предприятию на первом этапе создания сети нужно установить всего 1-2 модуля. Высокая стоимость шасси вызвана тем, что оно поставляется вместе со всеми общими устройствами, такими как избыточные источники питания и т. п. Поэтому для сетей средних размеров большую популярность завоевали стековые концентраторы.

Стековый концентратор, как и концентратор с фиксированным числом портов, выполнен в виде отдельного корпуса без возможности замены отдельных его модулей. Типичный вид нескольких стековых концентраторов Ethernet показан на рис. 4.12. Однако стековыми эти концентраторы называются не потому, что они устанавливаются один на другой. Такая чисто конструктивная деталь вряд ли удостоилась бы особого внимания, так как установка нескольких устройств одинаковых габаритных размеров в общую стойку практикуется очень давно. Стековые концентраторы имеют специальные порты и кабели для объединения нескольких таких корпусов в единый повторитель (рис. 4.13), который

имеет общий блок повторения, обеспечивает общую ресинхронизацию сигналов для всех своих портов и поэтому с точки зрения правила 4-х хабов считается одним повторителем.

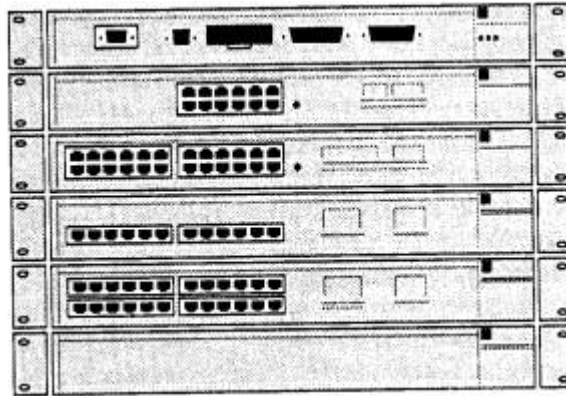


Рис. 4.12. Стековые концентраторы Ethernet

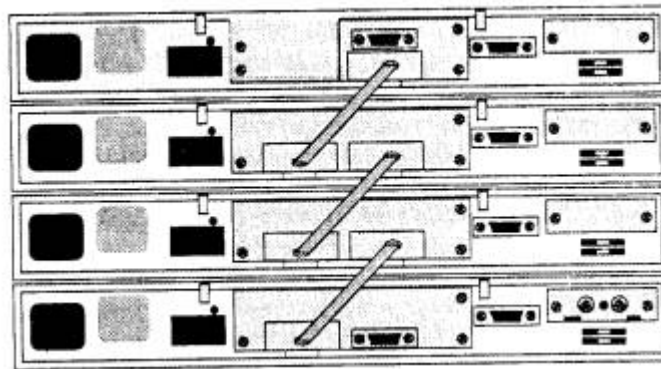


Рис. 4.13. Объединение стековых концентраторов в единое устройство с помощью специальных разъемов на задней панели

Если стековые концентраторы имеют несколько внутренних шин, то при соединении в стек эти шины объединяются и становятся общими для всех устройств стека. Число объединяемых в стек корпусов может быть достаточно большим (обычно до 8, но бывает и больше). Стековые концентраторы могут поддерживать различные физические среды передачи, что делает их почти такими же гибкими, как и модульные концентраторы, но при этом стоимость этих устройств в расчете на один порт получается обычно ниже, так как сначала предприятие может купить одно устройство без избыточного шасси, а потом нарастить стек еще несколькими аналогичными устройствами.

Стековые концентраторы, выпускаемые одним производителем, выполняются в едином конструктивном стандарте, что позволяет легко устанавливать их друг на друга, образуя единое настольное устройство, или помещать их в общую стойку. Экономия при организации стека происходит еще и за счет единого для всех устройств стека модуля SNMP-управления (который вставляется в один из корпусов стека как дополнительный модуль), а также общего избыточного источника питания.

Модульно-стековые концентраторы представляют собой модульные концентраторы, объединенные специальными связями в стек. Как правило, корпуса таких концентраторов

рассчитаны на небольшое количество модулей (1-3). Эти концентраторы сочетают достоинства концентраторов обоих типов.

Выводы

- От производительности сетевых адаптеров зависит производительность любой сложной сети, так как данные всегда проходят не только через коммутаторы и маршрутизаторы сети, но и через адаптеры компьютеров, а результирующая производительность последовательно соединенных устройств определяется производительностью самого медленного устройства.
- Сетевые адаптеры характеризуются типом поддерживаемого протокола, производительностью, шиной компьютера, к которой они могут присоединяться, типом приемопередатчика, а также наличием собственного процессора, разгружающего центральный процессор компьютера от рутинной работы.
- Сетевые адаптеры для серверов обычно имеют собственный процессор, а клиентские сетевые адаптеры - нет.
- Современные адаптеры умеют адаптироваться к временным параметрам шины и оперативной памяти компьютера для повышения производительности обмена «сеть-компьютер».
- Концентраторы, кроме основной функции протокола (побитного повторения кадра на всех или последующем порту), всегда выполняют ряд полезных дополнительных функций, определяемых производителем концентратора.
- Автосегментация - одна из важнейших дополнительных функций, с помощью которой концентратор отключает порт при обнаружении разнообразных проблем с кабелем и конечным узлом, подключенным к данному порту.
- В число дополнительных функций входят функции защиты сети от несанкционированного доступа, запрещающие подключение к концентратору компьютеров с неизвестными MAC - адресами, а также заполняющие нулями поля данных кадров, поступающих не к станции назначения.
- Стековые концентраторы сочетают преимущества модульных концентраторов и концентраторов с фиксированным количеством портов.
- Многосегментные концентраторы позволяют делить сеть на сегменты программным способом, без физической перекоммутации устройств.
- Сложные концентраторы, выполняющие дополнительные функции, обычно могут управляться централизованно по сети по протоколу SNMP.

4.3. Логическая структуризация сети с помощью мостов и коммутаторов

Под логической структуризацией сети понимается разбиение общей разделяемой среды на логические сегменты, которые представляют самостоятельные разделяемые среды с меньшим количеством узлов. Сеть, разделенная на логические сегменты, обладает более высокой производительностью и надежностью. Взаимодействие между логическими сегментами организуется с помощью мостов и коммутаторов.

4.3.1. Причины логической структуризации локальных сетей

Ограничения сети, построенной на общей разделяемой среде

При построении небольших сетей, состоящих из 10-30 узлов, использование стандартных технологий на разделяемых средах передачи данных приводит к экономичным и эффективным решениям. Во всяком случае, это утверждение справедливо для очень большого числа сегодняшних сетей, даже тех, в которых передаются большие объемы мультимедийной информации, - появление высокоскоростных технологий со скоростями обмена 100 и 1000 Мбит/с решает проблему качества транспортного обслуживания таких сетей.

Эффективность разделяемой среды для небольшой сети проявляется в первую очередь в следующих свойствах:

- простой топологии сети, допускающей легкое наращивание числа узлов (в небольших пределах);
- отсутствии потерь кадров из-за переполнения буферов коммуникационных устройств, так как новый кадр не передается в сеть, пока не принят предыдущий - сама логика разделения среды регулирует поток кадров и приостанавливает станции, слишком часто генерирующие кадры, заставляя их ждать доступа;
- простоте протоколов, обеспечившей низкую стоимость сетевых адаптеров, повторителей и концентраторов.

Однако справедливым является и другое утверждение - крупные сети, насчитывающие сотни и тысячи узлов, не могут быть построены на основе одной разделяемой среды даже такой скоростной технологии, как Gigabit Ethernet. И не только потому, что практически все технологии ограничивают количество узлов в разделяемой среде: все виды семейства Ethernet - 1024 узлами, Token Ring - 260 узлами, а FDDI - 500 узлами. Даже сеть средних размеров, состоящая из 50-100 компьютеров и укладывающаяся в разрешенный максимум количества узлов, чаще всего будет плохо работать на одной разделяемой среде.

Основные недостатки сети на одной разделяемой среде начинают проявляться при превышении некоторого порога количества узлов, подключенных к разделяемой среде, и состоят в следующем. Даже та доля пропускной способности разделяемого сегмента, которая должна в среднем доставаться одному узлу (то есть, например, 10/N Мбит/с для сегмента Ethernet с N компьютерами), очень часто узлу не достается. Причина заключается в случайном характере метода доступа к среде, используемом во всех технологиях локальных сетей. Наиболее тяжелые условия для узлов сети создает метод доступа CSMA/CD технологии Ethernet, но и в других технологиях, таких как Token Ring или FDDI, где метод доступа носит менее случайный характер и даже часто называется детерминированным, случайный фактор доступа к среде все равно присутствует и оказывает свое негативное влияние на пропускную способность, достаемую отдельному узлу.

На рис. 4.14 показана зависимость задержек доступа к среде передачи данных в сетях Ethernet, Token Ring и FDDI от коэффициента использования сети p , который также часто называют коэффициентом нагрузки сети. Напомним, что коэффициент использования сети равен отношению трафика, который должна передать сеть, к ее максимальной пропускной способности. Для сети Ethernet максимальная пропускная способность равна 10 Мбит/с, а трафик, который она должна передать, равен сумме интенсивностей трафика, генерируемого каждым узлом сети. Коэффициент использования обычно измеряют в относительных единицах или процентах.

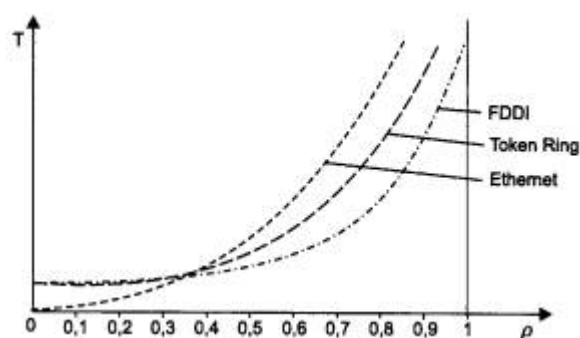


Рис. 4.14. Задержки доступа к среде передачи данных для технологий Ethernet, Token Ring и FDDI

Как видно из рисунка, всем технологиям присущ экспоненциальный рост величины задержек доступа при увеличении коэффициента использования сети, отличается только порог, при котором наступает резкий перелом в поведении сети, когда почти прямолинейная зависимость переходит в крутую экспоненту. Для всего семейства технологий Ethernet это 40-50 %, для технологии Token Ring - 60 %, а технологии FDDI - 70%.

Количество узлов, при которых коэффициент использования сети начинает приближаться к опасной границе, зависит от типа функционирующих в узлах приложений. Если раньше для сетей Ethernet считалось, что 30 узлов - это вполне приемлемое число для одного разделяемого сегмента, то сегодня для мультимедийных приложений, перекачивающих большие файлы данных, эту цифру нужно уточнять с помощью натурных или имитационных экспериментов.

Влияние задержек и коллизий на полезную пропускную способность сети Ethernet хорошо отражает график, представленный на рис. 4.15.

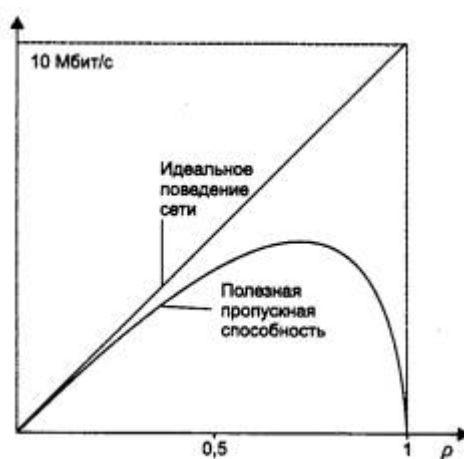


Рис. 4.15. Зависимость полезной пропускной способности сети Ethernet от коэффициента использования

При загрузке сети до 50 % технология Ethernet на разделяемом сегменте хорошо справляется с передачей трафика, генерируемого конечными узлами. Однако при повышении интенсивности генерируемого узлами трафика сеть все больше времени начинает проводить неэффективно, повторно передавая кадры, которые вызвали

коллизию. При возрастании интенсивности генерируемого трафика до такой величины, когда коэффициент использования сети приближается к 1, вероятность столкновения кадров настолько увеличивается, что практически любой кадр, который какая-либо станция пытается передать, сталкивается с другими кадрами, вызывая коллизию. Сеть перестает передавать полезную пользовательскую информацию и работает «на себя», обрабатывая коллизии.

Этот эффект хорошо известен на практике и исследован путем имитационного моделирования, поэтому сегменты Ethernet не рекомендуется загружать так, чтобы среднее значение коэффициента использования превосходило 30 %. Именно поэтому во многих системах управления сетями пороговая граница для индикатора коэффициента загрузки сети Ethernet по умолчанию устанавливается на величину 30 %.

Технология Ethernet наиболее чувствительна к перегрузкам разделяемого сегмента, но и другие технологии также весьма страдают от этого эффекта, поэтому ограничения, связанные с возникающими коллизиями и большим временем ожидания доступа при значительной загрузке разделяемого сегмента, чаще всего оказываются более серьезными, чем ограничение на максимальное количество узлов, определенное в стандарте из соображений устойчивой передачи электрических сигналов в кабелях.

В результате даже сеть средних размеров трудно построить на одном разделяемом сегменте так, чтобы она работала эффективно при изменении интенсивности генерируемого станциями трафика. Кроме того, при использовании разделяемой среды проектировщик сети сталкивается с жесткими ограничениями максимальной длины сети, которые для всех технологий лежат в пределах нескольких километров, и только технология FDDI позволяет строить локальные сети, длина которых измеряется десятками километров.

Преимущества логической структуризации сети

Ограничения, возникающие из-за использования общей разделяемой среды, можно преодолеть, разделив сеть на несколько разделяемых сред и соединив отдельные сегменты сети такими устройствами, как мосты, коммутаторы или маршрутизаторы (рис. 4.16).

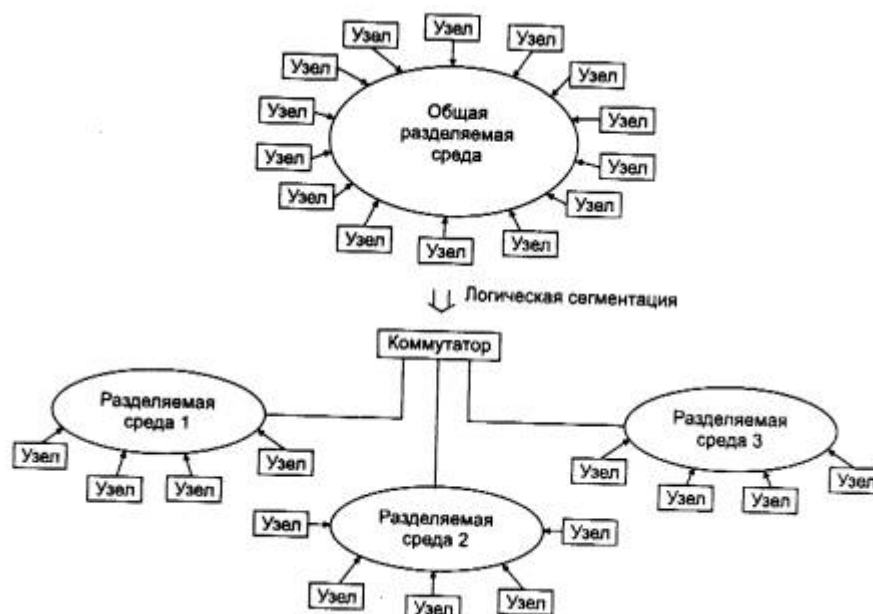


Рис. 4.16. Логическая структуризация сети

Перечисленные устройства передают кадры с одного своего порта на другой, анализируя адрес назначения, помещенный в этих кадрах. (В отличие от концентраторов, которые повторяют кадры на всех своих портах, передавая их во все подсоединенные к ним сегменты, независимо от того, в каком из них находится станция назначения.) Мосты и коммутаторы выполняют операцию передачи кадров на основе плоских адресов канального уровня, то есть МАС - адресов, а маршрутизаторы - на основе номера сети. При этом единая разделяемая среда, созданная концентраторами (или в предельном случае - одним сегментом кабеля), делится на несколько частей, каждая из которых присоединена к порту моста, коммутатора или маршрутизатора.

Говорят, что при этом сеть делится на логические сегменты или сеть подвергается *логической структуризации*. Логический сегмент представляет собой единую разделяемую среду. Деление сети на логические сегменты приводит к тому, что нагрузка, приходящаяся на каждый из вновь образованных сегментов, почти всегда оказывается меньше, чем нагрузка, которую испытывала исходная сеть. Следовательно, уменьшаются вредные эффекты от разделения среды: снижается время ожидания доступа, а в сетях Ethernet - и интенсивность коллизий.

Для иллюстрации этого эффекта рассмотрим рис. 4.17. На нем изображены два сегмента, соединенные мостом. Внутри сегментов имеются повторители. До деления сети на сегменты весь трафик, генерируемый узлами сети, был общим (представим, что место межсетевого устройства также занимал повторитель) и учитывался при определении коэффициента использования сети. Если обозначить среднюю интенсивность трафика, идущего от узла i к узлу j через C_{ij} , то суммарный трафик, который должна была передавать сеть до деления на сегменты, равен $C_{\Sigma} = C_{ij}$ (считаем, что суммирование проводится по всем узлам).

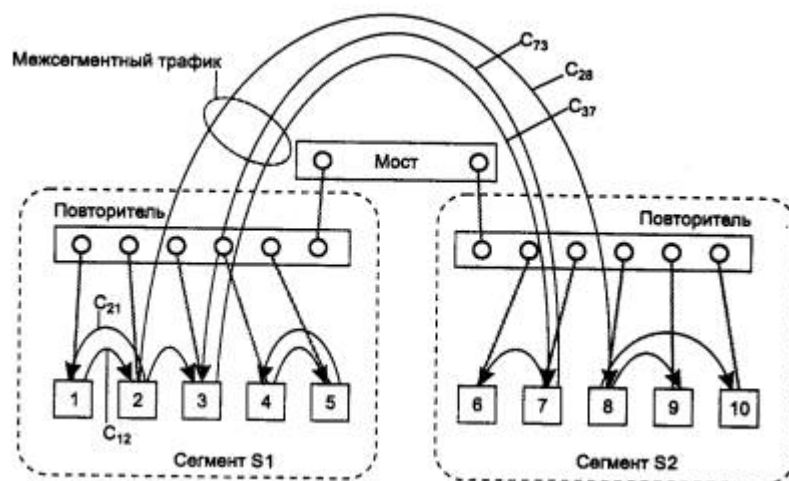


Рис. 4.17. Изменение нагрузки при делении сети на сегменты

После разделения сети на сегменты нагрузка каждого сегмента изменилась. При ее вычислении теперь нужно учитывать только внутрисегментный трафик, то есть трафик кадров, которые циркулируют между узлами одного сегмента, а также межсегментный трафик, который либо направляется от узла данного сегмента узлу другого сегмента, либо приходит от узла другого сегмента в узел данного сегмента. Внутренний трафик другого сегмента теперь нагрузку на данный сегмент не создает.

Поэтому нагрузка, например, сегмента S1 стала равна $C_{S1} + C_{S1-S2}$, где C_{S1} - внутренний трафик сегмента S1, а C_{S1-S2} - межсегментный трафик. Чтобы показать, что нагрузка сегмента S1 уменьшилась, заметим, что общую нагрузку сети до разделения на сегменты можно записать в такой форме: $C_{\Sigma} = C_{S1} + C_{S1-S2} + C_{S2}$, а значит, нагрузка сегмента S1 после разделения стала равной $C_{\Sigma} - C_{S2}$, то есть уменьшилась на величину внутреннего трафика сегмента S2. А раз нагрузка на сегмент уменьшилась, то в соответствии с графиками, приведенными на рис. 4.14 и 4.15, задержки в сегментах также уменьшились, а полезная пропускная способность сегмента в целом и полезная пропускная способность, приходящаяся на один узел, увеличились.

Выше было сказано, что деление сети на логические сегменты *почти* всегда уменьшает нагрузку в новых сегментах. Слово «почти» учитывает очень редкий случай, когда сеть разбита на сегменты так, что внутренний трафик каждого сегмента равен нулю, то есть весь трафик является межсегментным. Для примера из рис. 4.17 это означало бы, что все компьютеры сегмента S1 обмениваются данными только с компьютерами сегмента S2, и наоборот.

Такой случай является, естественно, экзотическим. На практике на предприятии всегда можно выделить группу компьютеров, которые принадлежат сотрудникам, выполняющим общую задачу. Это могут быть сотрудники одной рабочей группы, отдела, другого структурного подразделения предприятия. В большинстве случаев им нужен доступ к ресурсам сети их отдела и только изредка - доступ к удаленным ресурсам. И хотя уже упомянутое эмпирическое правило, говорящее о том, что можно разделить сеть на сегменты так, что 80 % трафика составляет обращение к локальным ресурсам и только 20 % - к удаленным, сегодня трансформируется в правило 50 на 50 % и даже 20 на 80 %, все равно внутрисегментный трафик существует. Если его нет, значит, сеть разбита на логические подсети неверно.

Большинство крупных сетей разрабатывается на основе структуры с общей магистралью, к которой через мосты и маршрутизаторы присоединяются подсети. Эти подсети обслуживают различные отделы. Подсети могут делиться и далее на сегменты, предназначенные для обслуживания рабочих групп.

В общем случае деление сети на логические сегменты повышает производительность сети (за счет разгрузки сегментов), а также гибкость построения сети, увеличивая степень защиты данных, и облегчает управление сетью.

Сегментация увеличивает гибкость сети. При построении сети как совокупности подсетей каждая подсеть может быть адаптирована к специфическим потребностям рабочей группы или отдела. Например, в одной подсети может использоваться технология Ethernet и OS NetWare, а в другой Token Ring и OS-400, в соответствии с традициями того или иного отдела или потребностями имеющихся приложений. Вместе с тем, у пользователей обеих подсетей есть возможность обмениваться данными через межсетевые устройства, такие как мосты, коммутаторы, маршрутизаторы. Процесс разбиения сети на логические сегменты можно рассматривать и в обратном направлении, как процесс создания большой сети из модулей - уже имеющихся подсетей.

Подсети повышают безопасность данных. При подключении пользователей к различным физическим сегментам сети можно запретить доступ определенных пользователей к ресурсам других сегментов. Устанавливая различные логические фильтры на мостах,

коммутаторах и маршрутизаторах, можно контролировать доступ к ресурсам, чего не позволяют сделать повторители.

Подсети упрощают управление сетью. Побочным эффектом уменьшения трафика и повышения безопасности данных является упрощение управления сетью. Проблемы очень часто локализуются внутри сегмента. Как и в случае структурированной кабельной системы, проблемы одной подсети не оказывают влияния на другие подсети. Подсети образуют логические домены управления сетью.

Сети должны проектироваться на двух уровнях: физическом и логическом. Логическое проектирование определяет места расположения ресурсов, приложений и способы группировки этих ресурсов в логические сегменты.

Структуризация с помощью мостов и коммутаторов

В данной главе рассматриваются устройства логической структуризации сетей, работающие на канальном уровне стека протоколов, а именно - мосты и коммутаторы. Структуризация сети возможна также на основе маршрутизаторов, которые для выполнения этой задачи привлекают протоколы сетевого уровня. Каждый способ структуризации - с помощью канального протокола и с помощью сетевого протокола - имеет свои преимущества и недостатки. В современных сетях часто используют комбинированный способ логической структуризации - небольшие сегменты объединяются устройствами канального уровня в более крупные подсети, которые, в свою очередь, соединяются маршрутизаторами.

Итак, сеть можно разделить на логические сегменты с помощью устройств двух типов - мостов (bridge) и/или коммутаторов (switch, switching hub). Сразу после появления коммутаторов в начале 90-х годов сложилось мнение, что мост и коммутатор - это принципиально различные устройства. И хотя постепенно представление о коммутаторах изменилось, это мнение можно услышать и сегодня.

Тем не менее мост и коммутатор - это функциональные близнецы. Оба эти устройства продвигают кадры на основании одних и тех же алгоритмов. Мосты и коммутаторы используют два типа алгоритмов: алгоритм *прозрачного моста* (*transparent bridge*), описанного в стандарте IEEE 802.1D, либо алгоритм *моста с маршрутизацией от источника* (*source routing bridge*) компании IBM для сетей Token Ring. Эти стандарты были разработаны задолго до появления первого коммутатора, поэтому в них используется термин «мост». Когда же на свет появилась первая промышленная модель коммутатора для технологии Ethernet, то она выполняла тот же алгоритм продвижения кадров IEEE 802.1D, который был с десятков лет отработан мостами локальных и глобальных сетей. Точно так же поступают и все современные коммутаторы. Коммутаторы, которые продвигают кадры протокола Token Ring, работают по алгоритму Source Routing, характерному для мостов IBM.

Основное отличие коммутатора от моста заключается в том, что мост обрабатывает кадры последовательно, а коммутатор - параллельно. Это обстоятельство связано с тем, что мосты появились в те времена, когда сеть делили на небольшое количество сегментов, а межсегментный трафик был небольшим (он подчинялся правилу 80 на 20 %). Сеть чаще всего делили на два сегмента, поэтому и термин был выбран соответствующий - мост. Для обработки потока данных со средней интенсивностью 1 Мбит/с мосту вполне хватало производительности одного процессорного блока.

При изменении ситуации в конце 80-х - начале 90-х годов - появлении быстрых протоколов, производительных персональных компьютеров, мультимедийной информации, разделении сети на большое количество сегментов - классические мосты перестали справляться с работой. Обслуживание потоков кадров между теперь уже несколькими портами с помощью одного процессорного блока требовало значительного повышения быстродействия процессора, а это довольно дорогостоящее решение.

Более эффективным оказалось решение, которое и «породило» коммутаторы: для обслуживания потока, поступающего на каждый порт, в устройство ставился отдельный специализированный процессор, который реализовывал алгоритм моста. По сути, коммутатор - это мультипроцессорный мост, способный параллельно продвигать кадры сразу между всеми парами своих портов. Но если при добавлении процессорных блоков компьютер не перестали называть компьютером, а добавили только прилагательное «мультипроцессорный», то с мультипроцессорными мостами произошла метаморфоза - они превратились в коммутаторы. Этому способствовал способ связи между отдельными процессорами коммутатора - они связывались коммутационной матрицей, похожей на матрицы мультипроцессорных компьютеров, связывающие процессоры с блоками памяти.

Постепенно коммутаторы вытеснили из локальных сетей классические однопроцессорные мосты. Основная причина этого - очень высокая производительность, с которой коммутаторы передают кадры между сегментами сети. Если мосты могли даже замедлять работу сети, когда их производительность оказывалась меньше интенсивности межсегментного потока кадров, то коммутаторы всегда выпускаются с процессорами портов, которые могут передавать кадры с той максимальной скоростью, на которую рассчитан протокол. Добавление к этому параллельной передачи кадров между портами сделало производительность коммутаторов на несколько порядков выше, чем мостов - коммутаторы могут передавать до нескольких миллионов кадров в секунду, в то время как мосты обычно обрабатывали 3-5 тысяч кадров в секунду. Это и предопределило судьбу мостов и коммутаторов.

Процесс вытеснения мостов начал протекать достаточно быстро с 1994 года, и сегодня локальные мосты практически не производятся сетевой индустрией. За время своего существования уже без конкурентов-мостов коммутаторы вобрали в себя многие дополнительные функции, которые появлялись в результате естественного развития сетевых технологий. К этим функциям относятся, например, поддержка виртуальных сетей (VLAN), приоритезация трафика, использование магистрального порта по умолчанию и т. п.

Сегодня мосты по-прежнему работают в сетях, но только на достаточно медленных глобальных связях между двумя удаленными локальными сетями. Такие мосты называются удаленными мостами (remote bridge), и алгоритм их работы ничем не отличается от стандарта 802.1D или Source Routing.

Прозрачные мосты умеют, кроме передачи кадров в рамках одной технологии, транслировать протоколы локальных сетей, например Ethernet в Token Ring, FDDI в Ethernet и т. п. Это свойство прозрачных мостов описано в стандарте IEEE 802.1H.

В дальнейшем будем называть устройство, которое продвигает кадры по алгоритму моста и работает в локальной сети, современным термином «коммутатор». При описании же самих алгоритмов 802.1D и Source Routing в следующем разделе будем по традиции называть устройство мостом, как собственно оно в этих стандартах и называется.

4.3.2. Принципы работы мостов

Алгоритм работы прозрачного моста

Прозрачные мосты незаметны для сетевых адаптеров конечных узлов, так как они самостоятельно строят специальную адресную таблицу, на основании которой можно решить, нужно передавать пришедший кадр в какой-либо другой сегмент или нет. Сетевые адаптеры при использовании прозрачных мостов работают точно так же, как и в случае их отсутствия, то есть не предпринимают никаких дополнительных действий, чтобы кадр прошел через мост. Алгоритм прозрачного моста не зависит от технологии локальной сети, в которой устанавливается мост, поэтому прозрачные мосты Ethernet работают точно так же, как прозрачные мосты FDDI.

Прозрачный мост строит свою адресную таблицу на основании пассивного наблюдения за трафиком, циркулирующим в подключенных к его портам сегментах. При этом мост учитывает адреса источников кадров данных, поступающих на порты моста. По адресу источника кадра мост делает вывод о принадлежности этого узла тому или иному сегменту сети.

Рассмотрим процесс автоматического создания адресной таблицы моста и ее использования на примере простой сети, представленной на рис. 4.18.

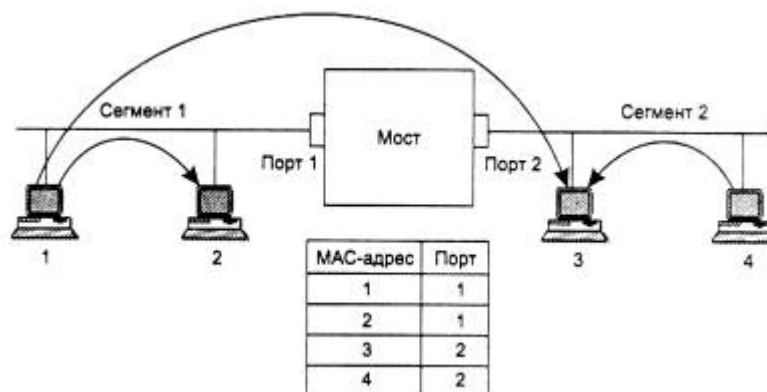


Рис. 4.18. Принцип работы прозрачного моста

Мост соединяет два логических сегмента. Сегмент 1 составляют компьютеры, подключенные с помощью одного отрезка коаксиального кабеля к порту 1 моста, а сегмент 2 - компьютеры, подключенные с помощью другого отрезка коаксиального кабеля к порту 2 моста.

Каждый порт моста работает как конечный узел своего сегмента за одним исключением - порт моста не имеет собственного MAC - адреса. Порт моста работает в так называемом *неразборчивом* (*promiscuous*) режиме захвата пакетов, когда все поступающие на порт пакеты запоминаются в буферной памяти. С помощью такого режима мост следит за всем трафиком, передаваемым в присоединенных к нему сегментах, и использует проходящие через него пакеты для изучения состава сети. Так как в буфер записываются все пакеты, то адрес порта мосту не нужен.

В исходном состоянии мост ничего не знает о том, компьютеры с какими MAC - адресами подключены к каждому из его портов. Поэтому в этом случае мост просто передает любой

захваченный и буферизованный кадр на все свои порты за исключением того, от которого этот кадр получен. В нашем примере у моста только два порта, поэтому он передает кадры с порта 1 на порт 2, и наоборот. Отличие работы моста в этом режиме от повторителя в том, что он передает кадр не побитно, а с буферизацией. Буферизация разрывает логику работы всех сегментов как единой разделяемой среды. Когда мост собирается передать кадр с сегмента на сегмент, например с сегмента 1 на сегмент 2, он заново пытается получить доступ к сегменту 2 как конечный узел по правилам алгоритма доступа, в данном примере - по правилам алгоритма CSMA/CD.

Одновременно с передачей кадра на все порты мост изучает адрес источника кадра и делает новую запись о его принадлежности в своей адресной таблице, которую также называют таблицей фильтрации или маршрутизации. Например, получив на свой порт 1 кадр от компьютера 1, мост делает первую запись в своей адресной таблице: МАС - адрес 1 - порт 1. Если все четыре компьютера данной сети проявляют активность и посылают друг другу кадры, то скоро мост построит полную адресную таблицу сети, состоящую из 4 записей - по одной записи на узел.

После того как мост прошел этап обучения, он может работать более рационально. При получении кадра, направленного, например, от компьютера 1 компьютеру 3, он просматривает адресную таблицу на предмет совпадения ее адресов с адресом назначения 3. Поскольку такая запись есть, то мост выполняет второй этап анализа таблицы - проверяет, находятся ли компьютеры с адресами источника (в нашем случае - это адрес 1) и адресом назначения (адрес 3) в одном сегменте. Так как в нашем примере они находятся в разных сегментах, то мост выполняет операцию *продвижения (forwarding)* кадра - передает кадр на другой порт, предварительно получив доступ к другому сегменту.

Если бы оказалось, что компьютеры принадлежат одному сегменту, то кадр просто был бы удален из буфера и работа с ним на этом бы закончилась. Такая операция называется *фильтрацией (filtering)*.

Если же адрес назначения неизвестен, то мост передает кадр на все свои порты, кроме порта - источника кадра, как и на начальной стадии процесса обучения.

На самом деле мы несколько упростили алгоритм работы моста. Его процесс обучения никогда не заканчивается. Мост постоянно следит за адресами источника буферизуемых кадров, чтобы быть в состоянии автоматически приспосабливаться к изменениям, происходящим в сети, - перемещениям компьютеров из одного сегмента сети в другой, появлению новых компьютеров. С другой стороны, мост не ждет, когда адресная таблица заполнится полностью (да это и невозможно, поскольку заранее не известно, сколько компьютеров и адресов будут находиться в сегментах моста). Как только в таблице появляется первый адрес, мост пытается его использовать, проверяя совпадение с ним адресов назначения всех поступающих пакетов.

Входы адресной таблицы могут быть динамическими, создаваемыми в процессе самообучения моста, и статическими, создаваемыми вручную администратором сети. Динамические входы имеют срок жизни - при создании или обновлении записи в адресной таблице с ней связывается отметка времени. По истечении определенного тайм-аута запись помечается как недействительная, если за это время мост не принял ни одного кадра с данным адресом в поле адреса источника. Это дает возможность автоматически реагировать на перемещения компьютера из сегмента в сегмент - при его отключении от старого сегмента запись о его принадлежности к нему со временем вычеркивается из

адресной таблицы. После включения этого компьютера в работу в другом сегменте его кадры начнут попадать в буфер моста через другой порт, и в адресной таблице появится новая запись, соответствующая текущему состоянию сети.

Статические записи не имеют срока жизни, что дает администратору возможность подправлять работу моста, если это необходимо.

Кадры с широковещательными MAC - адресами передаются мостом на все его порты, как и кадры с неизвестным адресом назначения. Такой режим распространения кадров называется *затоплением сети (flood)*. Наличие мостов в сети не препятствует распространению широковещательных кадров по всем сегментам сети, сохраняя ее прозрачность. Однако это является достоинством только в том случае, когда широковещательный адрес выработан корректно работающим узлом. Однако часто случается так, что в результате каких-либо программных или аппаратных сбоев протокол верхнего уровня или сам сетевой адаптер начинают работать некорректно и постоянно с высокой интенсивностью генерировать кадры с широковещательным адресом в течение длительного промежутка времени. Мост в этом случае передает эти кадры во все сегменты, затапливая сеть ошибочным трафиком. Такая ситуация называется *широковещательным штормом (broadcast storm)*.

К сожалению, мосты не защищают сети от широковещательного шторма, во всяком случае, по умолчанию, как это делают маршрутизаторы. Максимум, что может сделать администратор с помощью моста для борьбы с широковещательным штормом - установить для каждого узла предельно допустимую интенсивность генерации кадров с широковещательным адресом. Но при этом нужно точно знать, какая интенсивность является нормальной, а какая - ошибочной. При смене протоколов ситуация в сети может измениться, и то, что вчера считалось ошибочным, сегодня может оказаться нормой. Таким образом, мосты располагают весьма грубыми средствами борьбы с широковещательным штормом.

На рис. 4.19 показана типичная структура моста. Функции доступа к среде при приеме и передаче кадров выполняют микросхемы MAC, которые идентичны микросхемам сетевого адаптера.

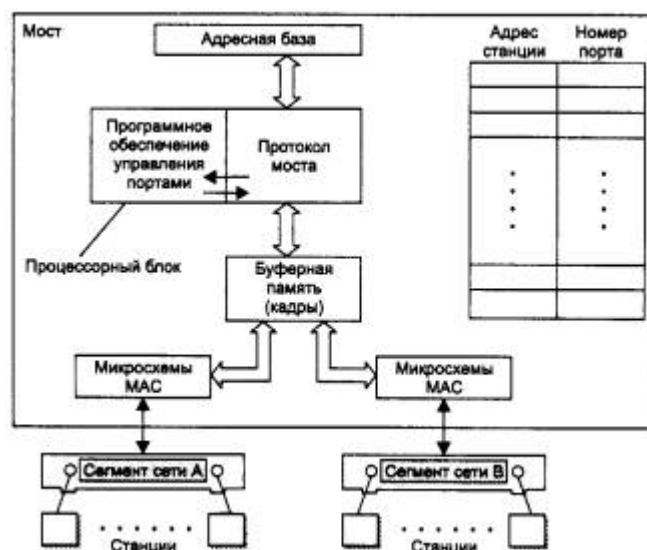


Рис. 4.19. Структура моста

На рис. 4.20 показана копия экрана терминала с адресной таблицей модуля локального моста концентратора System 3000 компании SynOptics (сам концентратор уже не выпускается, но в свое время он сыграл роль пионера в становлении многосегментных концентраторов Ethernet на витой паре, причем концентратор имел модуль моста, который мог соединять внутренние сегменты без привлечения внешнего моста). Терминал подключен к консольному порту, и информация на его экране высвечена модулем управления моста.

Address	Disp	Address	Disp	Address	Disp
00608CB17E58	LAN B	0000810298D6	LAN A	02070188ACA	LAN A
00008101C4DF	LAN B	+ 000081016A52	LAN A	* 010081000100	Flood
* 010081000101	Discard	* 0180C2000000	Discard	* 000081FFD186	Flood

Статус адреса:
срок жизни записи истек

Exit Next Page Prev Page Edit Table Search Item Go Page

+ Unlearned * Static Total Entries = 9 Static Entries = 4
Use cursor keys to choose option. Press <RETURN> to select.
Press <CTRL> <P> to return to Main Menu

Рис. 4.20. Адресная таблица моста System 3000 local Bridge

Из помещенной на экране адресной таблицы (Forwarding Table) видно, что сеть состоит из двух сегментов - LAN A и LAN B. В сегменте LAN A имеются, по крайней мере, 3 станции, а в сегменте LAN B - 2 станции. Четыре адреса, помеченные звездочками, являются статическими, то есть назначенными администратором вручную. Адрес, помеченный знаком «+», является динамическим адресом с истекшим сроком жизни.

Таблица имеет столбец «Disp» - «Распоряжение», которое говорит мосту, какую операцию нужно проделать с кадром, имеющим данный адрес назначения. Обычно при автоматическом составлении таблицы в этом поле ставится условное обозначение порта назначения, но при ручном задании адреса в это поле можно внести нестандартную операцию обработки кадра. Например, операция «Flood» - «Затопление» заставляет мост распространять кадр в широкоэвещательном режиме, несмотря на то что его адрес назначения не является широкоэвещательным. Операция «Discard» - «Отбросить» говорит мосту, что кадр с таким адресом не нужно передавать на порт назначения.

Собственно операции, задаваемые в поле «Disp», являются особыми условиями фильтрации кадров, дополняющими стандартные условия распространения кадров. Такие условия обычно называют *пользовательскими фильтрами*.

Мосты с маршрутизацией от источника

Мосты с маршрутизацией от источника применяются для соединения колец Token Ring и FDDI, хотя для этих же целей могут использоваться и прозрачные мосты. Маршрутизация от источника (Source Routing, SR) основана на том, что станция-отправитель помещает в посылаемый в другое кольцо кадр всю адресную информацию о промежуточных мостах и кольцах, которые должен пройти кадр перед тем, как попасть в кольцо, к которому подключена станция-получатель. Хотя в название этого способа входит термин «маршрутизация», настоящей маршрутизации в строгом понимании этого термина здесь нет, так как мосты и станции по-прежнему используют для передачи кадров данных только информацию MAC - уровня, а заголовки сетевого уровня для мостов данного типа по-прежнему остаются неразличимой частью поля данных кадра.

Рассмотрим принципы работы мостов Source Routing (в дальнейшем, SR-мосты) на примере сети, изображенной на рис. 4.21. Сеть состоит из трех колец, соединенных тремя мостами. Для задания маршрута кольца и мосты имеют идентификаторы. SR-мосты не строят адресную таблицу, а при продвижении кадров пользуются информацией, имеющейся в соответствующих полях кадра данных.



Рис. 4.21. Мосты типа Source Routing

При получении каждого пакета SR-мосту нужно только просмотреть поле маршрутной информации (поле Routing Information Field, RIF, в кадре Token Ring или FDDI) на предмет наличия в нем своего идентификатора. И если он там присутствует и сопровождается идентификатором кольца, которое подключено к данному мосту, то в этом случае мост копирует поступивший кадр в указанное кольцо. В противном случае кадр в другое кольцо не копируется. В любом случае исходная копия кадра возвращается по исходному кольцу станции-отправителю, и если он был передан в другое кольцо, то бит А (адрес распознан) и бит С (кадр скопирован) поля статуса кадра устанавливаются в 1, чтобы сообщить станции-отправителю, что кадр был получен станцией назначения (в данном случае передан мостом в другое кольцо).

Так как маршрутная информация в кадре нужна не всегда, а только для передачи кадра между станциями, подключенными к разным кольцам, то наличие в кадре поля RIF обозначается установкой в 1 бит индивидуального/группового адреса (I/G) (при этом данный бит используется не по назначению, так как адрес источника всегда индивидуальный).

Поле RIF имеет управляющее подполе, состоящее из трех частей.

- *Тип кадра* определяет тип поля RIF. Существуют различные типы полей RIF, использующиеся для нахождения маршрута и для отправки кадра по известному маршруту.
- *Поле максимальной длины кадра* используется мостом для связи колец, в которых установлено различное значение MTU. С помощью этого поля мост уведомляет станцию о максимально возможной длине кадра (то есть минимальном значении MTU на протяжении всего составного маршрута).
- *Длина поля RIF* необходима, так как заранее неизвестно количество описателей маршрута, задающих идентификаторы пересекаемых колец и мостов.

Для работы алгоритма маршрутизации от источника используются два дополнительных типа кадра - одномаршрутный широковещательный кадр-исследователь SRBF (single-route broadcast frame) и многомаршрутный широковещательный кадр-исследователь ARBF (all-route broadcast frame).

Все SR-мосты должны быть сконфигурированы администратором вручную, чтобы передавать кадры ARBF на все порты, кроме порта-источника кадра, а для кадров SRBF некоторые порты мостов нужно заблокировать, чтобы в сети не было петель. В примере сети на рис. 4.21 для исключения петли администратор заблокировал оба порта моста 3 для передачи кадров SRBF.

Кадр первого типа отправляется станцией, когда она, во-первых, определяет, что станция назначения находится в другом кольце, а во-вторых, ей неизвестно, через какие мосты и кольца пролегает путь к этой станции назначения, то есть неизвестен маршрут до этой станции. Первое обстоятельство выясняется, если кадр, отправленный по кольцу, возвращается в станцию-источник с неустановленными признаками распознавания адреса и копирования. Значит, ни одна из станций исходного кольца не является станцией назначения, и кадр надо передавать по некоторому составному маршруту. Отсутствие маршрута к станции назначения в таблице моста является вторым обстоятельством, которое и вызывает отправку одномаршрутного кадра-исследователя SRBF.

В кадре SRBF станция задает длину поля RIF, равную нулю. Как и прозрачные мосты, SR-мосты работают в режиме «неразборчивого» захвата, буферизуя и анализируя все кадры. При получении кадра SRBF sr-mост передает его в исходном виде на все незаблокированные для этого типа кадров порты. Необходимость в конфигурировании топологии без петель для кадров-исследователей SRBF вызвана тем, что таким способом предотвращается возможность бесконечного заикливания этих кадров.

В конце концов кадр-исследователь SRBF, распространяясь по всем кольцам сети, доходит до станции назначения. В ответ станция назначения отправляет многомаршрутный широковещательный кадр-исследователь ARBF станции-отправителю. В отличие от кадра SRBF этот кадр передается мостами через все порты. При приеме такого кадра каждый промежуточный мост добавляет в поле маршрутной информации RIF новый описатель маршрута (свой идентификатор и идентификатор сегмента, с которого получен кадр), наращивает длину поля маршрутной информации и широковещательно его распространяет.

Для предотвращения заикливания кадров ARBF мосты обрабатывают их следующим образом. Перед передачей кадра на какой-либо сегмент мост проверяет, нет ли идентификатора этого сегмента в списке маршрутов кадра. Если такой сегмент уже был пройден кадром, то кадр в данный сегмент не направляется.

Станция-источник получает в общем случае несколько кадров-ответов, прошедших по всем возможным маршрутам составной сети, и выбирает наилучший маршрут (обычно по количеству пересечений промежуточных мостов). Именно для получения информации о всех возможных маршрутах кадр ARBF передается по всем возможным направлениям.

Затем маршрутная информация помещается в таблицу маршрутизации станции и используется для отправки кадров данных станции назначения по наилучшему маршруту за счет помещения последовательности номеров сетей и мостов в заголовке каждого такого кадра.

Мосты с маршрутизацией от источника имеют по сравнению с прозрачными мостами как преимущества, так и недостатки, отраженные в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Преимущества и недостатки мостов с маршрутизацией от источника

Преимущества	Недостатки
Более рациональные маршруты	Более дорогие сетевые адаптеры, принимающие участие в маршрутизации
Проще и дешевле — не нужно строить таблицы фильтрации	Сеть непрозрачна — кольца имеют номера
Более высокая скорость — не нужно просматривать таблицы фильтрации	Увеличивается трафик за счет широковещательных пакетов

Наличие двух возможных алгоритмов работы мостов - от источника и в прозрачном режиме - создает трудности для построения сложных сетей Token Ring. Мосты, работающие от источника, не могут поддерживать сегменты, рассчитанные на работу в прозрачном режиме, и наоборот.

До некоторого времени эта проблема решалась двумя способами. Один способ заключался в использовании во всех сегментах либо только маршрутизации от источника, либо только прозрачных мостов. Другим способом была установка маршрутизаторов. Сегодня имеется третье решение. Оно основано на стандарте, который позволяет объединить обе технологии работы моста в одном устройстве. Этот стандарт, называемый SRT (Source Route Transparent), позволяет мосту работать в любом режиме. Мост просматривает специальные флаги в заголовке кадров Token Ring и автоматически определяет, какой из алгоритмов нужно применить.

Ограничения топологии сети, построенной на мостах

Слабая защита от широковещательного шторма - одно из главных ограничений моста, но не единственное. Другим серьезным ограничением их функциональных возможностей является невозможность поддержки петлеобразных конфигураций сети. Рассмотрим это ограничение на примере сети, изображенной на рис. 4.22.

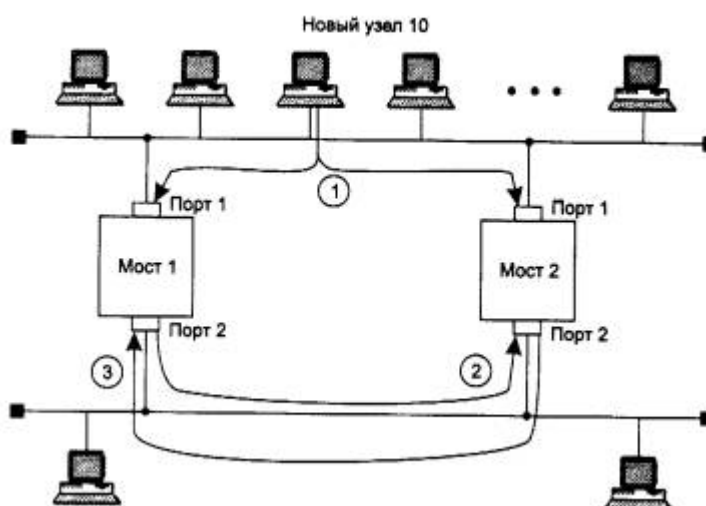


Рис. 4.22. Влияние замкнутых маршрутов на работу мостов

Два сегмента параллельно соединены двумя мостами, так что образовалась активная петля. Пусть новая станция с адресом 10 впервые начинает работу в данной сети. Обычно начало работы любой операционной системы сопровождается рассылкой

широковещательных кадров, в которых станция заявляет о своем существовании и одновременно ищет серверы сети.

На этапе 1 станция посылает первый кадр с широковещательным адресом назначения и адресом источника 10 в свой сегмент. Кадр попадает как в мост 1, так и в мост 2. В обоих мостах новый адрес источника 10 заносится в адресную таблицу с пометкой о его принадлежности сегменту 1, то есть создается новая запись вида:

MAC – адрес	Порт
10	1

Так как адрес назначения широковещательный, то каждый мост должен передать кадр на сегмент 2. Эта передача происходит поочередно, в соответствии с методом случайного доступа технологии Ethernet. Пусть первым доступ к сегменту 2 получил мост 1 (этап 2 на рис. 4.22). При появлении пакета на сегменте 2 мост 2 принимает его в свой буфер и обрабатывает. Он видит, что адрес 10 уже есть в его адресной таблице, но пришедший кадр является более свежим, и он утверждает, что адрес 10 принадлежит сегменту 2, а не 1. Поэтому мост 2 корректирует содержимое базы и делает запись о том, что адрес 10 принадлежит сегменту 2.

Теперь адресная таблица моста 2 будет иметь уже другую запись о станции с адресом 10:

MAC – адрес	Порт
10	1
10	2

Аналогично поступает мост 1, когда мост 2 передает свою копию кадра на сегмент 2.

Результаты наличия петли перечислены ниже.

- «Размножение» кадра, то есть появление нескольких его копий (в данном случае - двух, но если бы сегменты были соединены тремя мостами - то трех и т. д.).
- Бесконечная циркуляция обеих копий кадра по петле в противоположных направлениях, а значит, засорение сети ненужным трафиком.
- Постоянная перестройка мостами своих адресных таблиц, так как кадр с адресом источника 10 будет появляться то на одном порту, то на другом.

Чтобы исключить все эти нежелательные эффекты, мосты нужно применять так, чтобы между логическими сегментами не было петель, то есть строить с помощью мостов только древовидные структуры, гарантирующие наличие только одного пути между любыми двумя сегментами. Тогда кадры от каждой станции будут поступать в мост всегда с одного и того же порта, и мост сможет правильно решать задачу выбора рационального маршрута в сети.

Ограничение топологии структурированной сети древовидной структурой вытекает из самого принципа построения адресной таблицы мостом, а поэтому точно так же это ограничение действует и на коммутаторы.

В простых сетях сравнительно легко гарантировать существование одного и только одного пути между двумя сегментами. Но когда количество соединений возрастает и сеть становится сложной, то вероятность непреднамеренного образования петли оказывается высокой. Кроме того, желательно для повышения надежности иметь между мостами резервные связи, которые не участвуют при нормальной работе основных связей в передаче информационных пакетов станций, но при отказе какой-либо основной связи образуют новую связную рабочую конфигурацию без петель.

Поэтому в сложных сетях между логическими сегментами прокладывают избыточные связи, которые образуют петли, но для исключения активных петель блокируют некоторые порты мостов. Наиболее просто эта задача решается вручную, но существуют и алгоритмы, которые позволяют решать ее автоматически. Наиболее известным является стандартный алгоритм покрывающего дерева (Spanning Tree Algorithm, STA), который будет детально рассмотрен ниже. Кроме того, имеются фирменные алгоритмы, решающие ту же задачу, но с некоторыми улучшениями для конкретных моделей коммутаторов.

4.3.3. Коммутаторы локальных сетей

Технология коммутации сегментов Ethernet была предложена фирмой Kalpana в 1990 году в ответ на растущие потребности в повышении пропускной способности связей высокопроизводительных серверов с сегментами рабочих станций.

Структурная схема коммутатора EtherSwitch, предложенного фирмой Kalpana, представлена на рис. 4.23.



Рис. 4.23. Структура коммутатора EtherSwitch компании Kalpana

Каждый из 8 портов 10Base-T обслуживается одним процессором пакетов Ethernet - EPP (Ethernet Packet Processor). Кроме того, коммутатор имеет системный модуль, который координирует работу всех процессоров EPP. Системный модуль ведет общую адресную таблицу коммутатора и обеспечивает управление коммутатором по протоколу SNMP. Для передачи кадров между портами используется коммутационная матрица, подобная тем, которые работают в телефонных коммутаторах или мультипроцессорных компьютерах, соединяя несколько процессоров с несколькими модулями памяти.

Коммутационная матрица работает по принципу коммутации каналов. Для 8 портов матрица может обеспечить 8 одновременных внутренних каналов при полудуплексном режиме работы портов и 16 - при полнодуплексном, когда передатчик и приемник каждого порта работают независимо друг от друга.

При поступлении кадра в какой-либо порт процессор ЕРР буферизует несколько первых байт кадра, чтобы прочитать адрес назначения. После получения адреса назначения процессор сразу же принимает решение о передаче пакета, не дожидаясь прихода остальных байт кадра. Для этого он просматривает свой собственный кэш адресной таблицы, а если не находит там нужного адреса, обращается к системному модулю, который работает в многозадачном режиме, параллельно обслуживая запросы всех процессоров ЕРР. Системный модуль производит просмотр общей адресной таблицы и возвращает процессору найденную строку, которую тот буферизует в своем кэше для последующего использования.

После нахождения адреса назначения процессор ЕРР знает, что нужно дальше делать с поступающим кадром (во время просмотра адресной таблицы процессор продолжал буферизацию поступающих в порт байтов кадра). Если кадр нужно отфильтровать, процессор просто прекращает записывать в буфер байты кадра, очищает буфер и ждет поступления нового кадра.

Если же кадр нужно передать на другой порт, то процессор обращается к коммутационной матрице и пытается установить в ней путь, связывающий его порт с портом, через который идет маршрут к адресу назначения. Коммутационная матрица может это сделать только в том случае, когда порт адреса назначения в этот момент свободен, то есть не соединен с другим портом.

Если же порт занят, то, как и в любом устройстве с коммутацией каналов, матрица в соединении отказывает. В этом случае кадр полностью буферизуется процессором входного порта, после чего процессор ожидает освобождения выходного порта и образования коммутационной матрицей нужного пути.

После того как нужный путь установлен, в него направляются буферизованные байты кадра, которые принимаются процессором выходного порта. Как только процессор выходного порта получает доступ к подключенному к нему сегменту Ethernet по алгоритму CSMA/CD, байты кадра сразу же начинают передаваться в сеть. Процессор входного порта постоянно хранит несколько байт принимаемого кадра в своем буфере, что позволяет ему независимо и асинхронно принимать и передавать байты кадра (рис. 4.24).

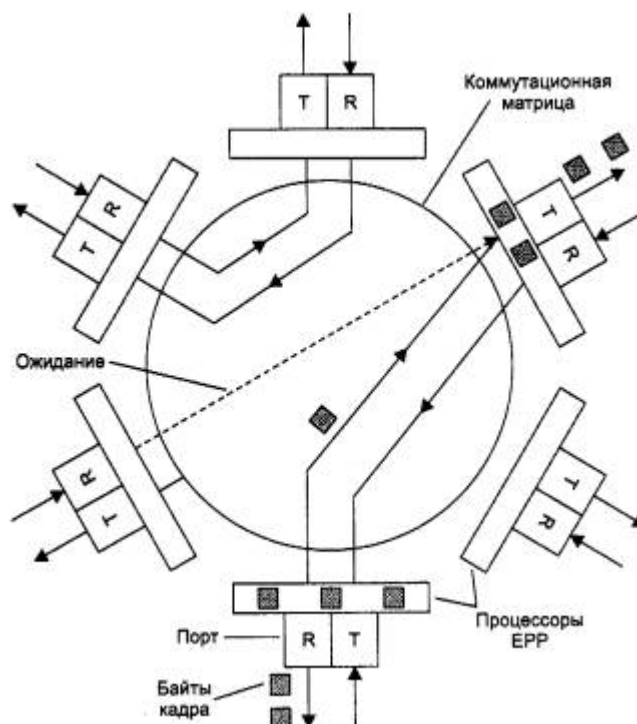


Рис. 4.24. Передача кадра через коммутационную матрицу

При свободном в момент приема кадра состоянии выходного порта задержка между приемом первого байта кадра коммутатором и появлением этого же байта на выходе порта адреса назначения составляла у коммутатора компании Kalraa всего 40 мкс, что было гораздо меньше задержки кадра при его передаче мостом.

Описанный способ передачи кадра без его полной буферизации получил название коммутации «на лету» («on-the-fly») или «напролет» («cut-through»). Этот способ представляет, по сути, конвейерную обработку кадра, когда частично совмещаются во времени несколько этапов его передачи (рис. 4.25).

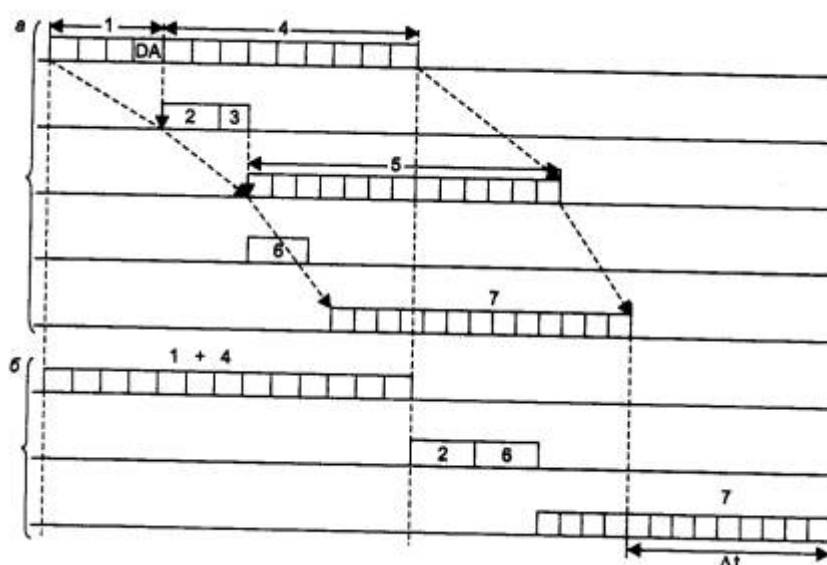


Рис. 4.25. Экономия времени при конвейерной обработке кадра: *а* - конвейерная обработка; *б* - обычная обработка с полной буферизацией

1. Прием первых байт кадра процессором входного порта, включая прием байт адреса назначения.
2. Поиск адреса назначения в адресной таблице коммутатора (в кэше процессора или в общей таблице системного модуля).
3. Коммутация матрицы.
4. Прием остальных байт кадра процессором входного порта.
5. Прием байт кадра (включая первые) процессором выходного порта через коммутационную матрицу.
6. Получение доступа к среде процессором выходного порта.
7. Передача байт кадра процессором выходного порта в сеть.

Этапы 2 и 3 совместить во времени нельзя, так как без знания номера выходного порта операция коммутации матрицы не имеет смысла.

По сравнению с режимом полной буферизации кадра, также приведенном на рис. 4.25, экономия от конвейеризации получается ощутимой.

Однако главной причиной повышения производительности сети при использовании коммутатора является *параллельная* обработка нескольких кадров.

Этот эффект иллюстрирует рис. 4.26. На рисунке изображена идеальная в отношении повышения производительности ситуация, когда четыре порта из восьми передают данные с максимальной для протокола Ethernet скоростью 10 Мб/с, причем они передают эти данные на остальные четыре порта коммутатора не конфликтуя - потоки данных между узлами сети распределились так, что для каждого принимающего кадры порта есть свой выходной порт. Если коммутатор успевает обрабатывать входной трафик даже при максимальной интенсивности поступления кадров на входные порты, то общая производительность коммутатора в приведенном примере составит $4 \cdot 10 = 40$ Мбит/с, а при обобщении примера для N портов - $(N/2) \cdot 10$ Мбит/с. Говорят, что коммутатор предоставляет каждой станции или сегменту, подключенным к его портам, выделенную пропускную способность протокола.

Естественно, что в сети не всегда складывается такая ситуация, которая изображена на рис. 4.26. Если двум станциям, например станциям, подключенным к портам 3 и 4, одновременно нужно записывать данные на один и тот же сервер, подключенный к порту 8, то коммутатор не сможет выделить каждой станции поток данных по 10 Мбит/с, так как порт 8 не может передавать данные со скоростью 20 Мбит/с. Кадры станций будут ожидать во внутренних очередях входных портов 3 и 4, когда освободится порт 8 для передачи очередного кадра. Очевидно, хорошим решением для такого распределения потоков данных было бы подключение сервера к более высокоскоростному порту, например Fast Ethernet.

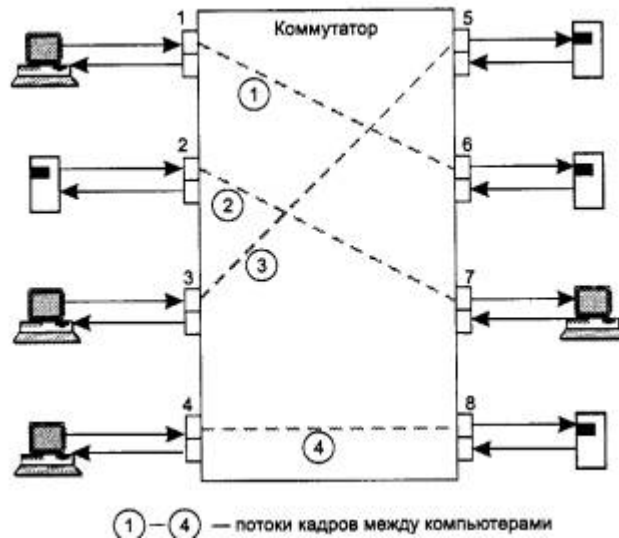


Рис. 4.26. Параллельная передача кадров коммутатором

Так как главное достоинство коммутатора, благодаря которому он завоевал очень хорошие позиции в локальных сетях, это его высокая производительность, то разработчики коммутаторов стараются выпускать так называемые *неблокирующие* (*non-blocking*) модели коммутаторов.

Неблокирующий коммутатор - это такой коммутатор, который может передавать кадры через свои порты с той же скоростью, с которой они на них поступают. Естественно, что даже неблокирующий коммутатор не может разрешить в течение долгого промежутка времени ситуации, подобные описанной выше, когда блокировка кадров происходит из-за ограниченной скорости выходного порта.

Обычно имеют в виду устойчивый неблокирующий режим работы коммутатора, когда коммутатор передает кадры со скоростью их поступления в течение произвольного промежутка времени. Для обеспечения такого режима нужно, естественно, такое распределение потоков кадров по выходным портам, чтобы они справлялись с нагрузкой и коммутатор мог всегда в среднем передать на выходы столько кадров, сколько их поступило на входы. Если же входной поток кадров (просуммированный по всем портам) в среднем будет превышать выходной поток кадров (также просуммированный по всем портам), то кадры будут накапливаться в буферной памяти коммутатора, а при превышении ее объема - просто отбрасываться. Для обеспечения неблокирующего режима коммутатора необходимо выполнение достаточно простого условия:

$$C_k = (\sum C_{pi}) / 2,$$

где C_k - производительность коммутатора, C_{pi} - максимальная производительность протокола, поддерживаемого i -м портом коммутатора. Суммарная производительность портов учитывает каждый проходящий кадр дважды - как входящий кадр и как выходящий, а так как в устойчивом режиме входной трафик равен выходному, то минимально достаточная производительность коммутатора для поддержки неблокирующего режима равна половине суммарной производительности портов. Если порт работает в полудуплексном режиме, например Ethernet 10 Мбит/с, то производительность порта C_{pi} равна 10 Мбит/с, а если в полнодуплексном, то его C_{pi} будет составлять 20 Мбит/с.

Иногда говорят, что коммутатор поддерживает мгновенный неблокирующий режим. Это означает, что он может принимать и обрабатывать кадры от всех своих портов на максимальной скорости протоколов, независимо от того, обеспечиваются ли условия устойчивого равновесия между входным и выходным трафиком. Правда, обработка некоторых кадров при этом может быть неполной - при занятости выходного порта кадр помещается в буфер коммутатора. Для поддержки неблокирующего мгновенного режима коммутатор должен обладать большей собственной производительностью, а именно, она должна быть равна суммарной производительности его портов:

$$C_k = \sum C_{pi}.$$

Первый коммутатор для локальных сетей не случайно появился для технологии Ethernet. Кроме очевидной причины, связанной с наибольшей популярностью сетей Ethernet, существовала и другая, не менее важная причина - эта технология больше других страдает от повышения времени ожидания доступа к среде при повышении загрузки сегмента. Поэтому сегменты Ethernet в крупных сетях в первую очередь нуждались в средстве разгрузки узких мест сети, и этим средством стали коммутаторы фирмы Kalpana, а затем и других компаний.

Некоторые компании стали развивать технологию коммутации для повышения производительности других технологий локальных сетей, таких как Token Ring и FDDI. Эти коммутаторы поддерживали как алгоритм работы прозрачного моста, так и алгоритм моста с маршрутизацией от источника. Внутренняя организация коммутаторов различных производителей иногда очень отличалась от структуры первого коммутатора EtherSwitch, однако принцип параллельной обработки кадров по каждому порту оставался неизменным.

Широкому применению коммутаторов, безусловно, способствовало то обстоятельство, что внедрение технологии коммутации не требовало замены установленного в сетях оборудования - сетевых адаптеров, концентраторов, кабельной системы. Порты коммутаторов работали в обычном полудуплексном режиме, поэтому к ним прозрачно можно было подключить как конечный узел, так и концентратор, организующий целый логический сегмент.

Так как коммутаторы и мосты прозрачны для протоколов сетевого уровня, то их появление в сети не оказало никакого влияния на маршрутизаторы сети, если они там имелись.

Удобство использования коммутатора состоит еще и в том, что это самообучающееся устройство и, если администратор не нагружает его дополнительными функциями, конфигурировать его не обязательно - нужно только правильно подключить разъемы кабелей к портам коммутатора, а дальше он будет работать самостоятельно и эффективно выполнять поставленную перед ним задачу повышения производительности сети.

4.3.4. Полнодуплексные протоколы локальных сетей

Изменения в работе MAC - уровня при полнодуплексной работе

Технология коммутации сама по себе не имеет непосредственного отношения к методу доступа к среде, который используется портами коммутатора. При подключении

сегментов, представляющих собой разделяемую среду, порт коммутатора должен поддерживать полудуплексный режим, так как является одним из узлов этого сегмента.

Однако, когда к каждому порту коммутатора подключен не сегмент, а только один компьютер, причем по двум отдельным каналам, как это происходит почти во всех стандартах физического уровня, кроме коаксиальных версий Ethernet, ситуация становится не такой однозначной. Порт может работать как в обычном полудуплексном режиме, так и в полнодуплексном. Подключение к портам коммутатора не сегментов, а отдельных компьютеров называется *микросегментацией*.

В обычном режиме работы порт коммутатора по-прежнему распознает коллизии, Доменом коллизий в этом случае будет участок сети, включающий передатчик коммутатора, приемник коммутатора, передатчик сетевого адаптера компьютера, приемник сетевого адаптера компьютера и две витые пары, соединяющие передатчики с приемниками (рис. 4.27).

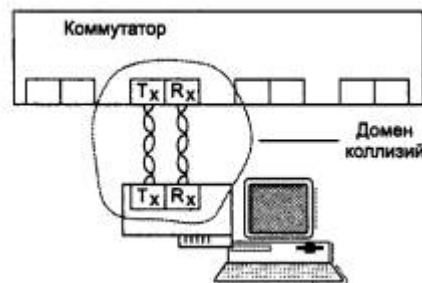


Рис. 4.27. Домен коллизий, образуемый компьютером и портом коммутатора

Коллизия возникает, когда передатчики порта коммутатора и сетевого адаптера одновременно или почти одновременно начинают передачу своих кадров, считая, что изображенный на рисунке сегмент свободен. Правда, вероятность коллизии в таком сегменте гораздо меньше, чем в сегменте, состоящем из 20-30 узлов, но она не нулевая. При этом максимальная производительность сегмента Ethernet в 14 880 кадров в секунду при минимальной длине кадра делится между передатчиком порта коммутатора и передатчиком сетевого адаптера. Если считать, что она делится пополам, то каждому предоставляется возможность передавать примерно по 7440 кадров в секунду.

В полнодуплексном режиме одновременная передача данных передатчиком порта коммутатора и сетевого адаптера коллизией не считается. В принципе, это достаточно естественный режим работы для индивидуальных полнодуплексных каналов связи, и он часто используется в протоколах территориальных сетей. При полнодуплексной связи порты Ethernet могут передавать данные со скоростью 20 Мбит/с - по 10 Мбит/с в каждом направлении.

Естественно, необходимо, чтобы MAC - узлы взаимодействующих устройств поддерживали этот специальный режим. В случае когда только один узел будет поддерживать полнодуплексный режим, второй узел будет постоянно фиксировать коллизии и приостанавливать свою работу, в то время как другой узел будет продолжать передавать данные, которые никто в этот момент не принимает. Изменения, которые нужно сделать в логике MAC - узла, чтобы он мог работать в полнодуплексном режиме, минимальны - нужно просто отменить фиксацию и обработку коллизий в сетях Ethernet, а в сетях Token Ring и FDDI - посылать кадры в коммутатор, не дожидаясь прихода токена

доступа, а тогда, когда это нужно конечному узлу. Фактически, при работе в полнодуплексном режиме MAC - узел не использует метод доступа к среде, разработанный для данной технологии.

Так как переход на полнодуплексный режим работы требует изменения логики работы MAC - узлов и драйверов сетевых адаптеров, то он сначала был опробован при соединении двух коммутаторов. Уже первые модели коммутатора EtherSwitch компании Kalraa поддерживали полнодуплексный режим при взаимном соединении, обеспечивая скорость взаимного обмена 20 Мбит/с.

Позже появились версии полнодуплексного соединения FDDI-коммутаторов, которые при одновременном использовании двух колец FDDI обеспечивали скорость обмена в 200 Мбит/с.

Сейчас для каждой технологии можно найти модели коммутаторов, которые поддерживают полнодуплексный обмен при соединении коммутатор-коммутатор.

После опробования полнодуплексной технологии на соединениях коммутатор-коммутатор разработчики реализовали ее и в сетевых адаптерах, в основном адаптерах Ethernet и Fast Ethernet. При разработке технологий Fast Ethernet и Gigabit Ethernet полнодуплексный режим стал одним из двух полноправных стандартных режимов работы узлов сети. Многие сетевые адаптеры сейчас могут поддерживать оба режима работы, отрабатывая логику алгоритма доступа CSMA/CD при подключении к порту концентратора и работая в полнодуплексном режиме при подключении к порту коммутатора.

При использовании полнодуплексных версий протоколов происходит некоторое сближение различных технологий, так как метод доступа во многом определял лицо каждой технологии. Различие технологий остается в различных форматах кадров, а также в процедурах контроля корректности работы сети на физическом и канальном уровнях.

Полнодуплексные версии протоколов могли бы быть реализованы и в мостах. Принципиальных препятствий для этого не было, просто в период применения локальных мостов потребности в высокоскоростной передаче межсегментного трафика не возникало.

Проблема управления потоком данных при полнодуплексной работе

Простой отказ от поддержки алгоритма доступа к разделяемой среде без какой-либо модификации протокола ведет к повышению вероятности потерь кадров коммутаторами, так как при этом теряется контроль за потоками кадров, направляемых конечными узлами в сеть. Раньше поток кадров регулировался методом доступа к разделяемой среде, так что слишком часто генерирующий кадры узел вынужден был ждать своей очереди к среде и фактическая интенсивность потока данных, который направлял в сеть этот узел, была заметно меньше той интенсивности, которую узел хотел бы отправить в сеть. При переходе на полнодуплексный режим узлу разрешается отправлять кадры в коммутатор всегда, когда это ему нужно, поэтому коммутаторы сети могут в этом режиме сталкиваться с перегрузками, не имея при этом никаких средств регулирования («притормаживания») потока кадров.

Причина перегрузок обычно кроется не в том, что коммутатор является блокирующим, то есть ему не хватает производительности процессоров для обслуживания потоков кадров, а в ограниченной пропускной способности отдельного порта, которая определяется

временными параметрами протокола. Например, порт Ethernet не может передавать больше 14 880 кадров в секунду, если он не нарушает временных соотношений, установленных стандартом.

Поэтому, если входной трафик неравномерно распределяется между выходными портами, легко представить ситуацию, когда в какой-либо выходной порт коммутатора будет направляться трафик с суммарной средней интенсивностью большей, чем протокольный максимум. На рис. 4.28 изображена как раз такая ситуация, когда в порт 3 коммутатора направляется трафик от портов 1, 2, 4 и 6, с суммарной интенсивностью в 22 100 кадров в секунду. Порт 3 оказывается загружен на 150 %, Естественно, что когда кадры поступают в буфер порта со скоростью 20 100 кадров в секунду, а уходят со скоростью 14 880 кадров в секунду, то внутренний буфер выходного порта начинает неуклонно заполняться необработанными кадрами.

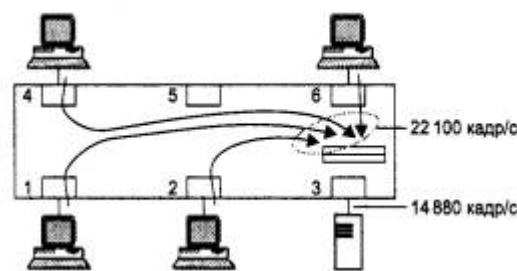


Рис. 4.28. Переполнение буфера порта из-за несбалансированности трафика

Какой бы ни был объем буфера порта, он в какой-то момент времени обязательно переполнится. Нетрудно подсчитать, что при размере буфера в 100 Кбайт в приведенном примере полное заполнение буфера произойдет через 0,22 секунды после начала его работы (буфер такого размера может хранить до 1600 кадров размером в 64 байт). Увеличение буфера до 1 Мбайт даст увеличение времени заполнения буфера до 2,2 секунд, что также неприемлемо. А потери кадров всегда очень нежелательны, так как снижают полезную производительность сети, и коммутатор, теряющий кадры, может значительно ухудшить производительность сети вместо ее улучшения.

Коммутаторы локальных сетей - не первые устройства, которые сталкиваются с такой проблемой. Мосты также могут испытывать перегрузки, однако такие ситуации при использовании мостов встречались редко из-за небольшой интенсивности межсегментного трафика, поэтому разработчики мостов не стали встраивать в протоколы локальных сетей или в сами мосты механизмы регулирования потока. В глобальных сетях коммутаторы технологии X.25 поддерживают протокол канального уровня LAP-B, который имеет специальные кадры управления потоком «Приемник готов» (RR) и «Приемник не готов» (RNR), аналогичные по назначению кадрам протокола LLC2 (это не удивительно, так как оба протокола принадлежат семейству протоколов HDLC). Протокол LAP-B работает между соседними коммутаторами сети X.25 и в том случае, когда очередь коммутатора доходит до опасной границы, запрещает своим ближайшим соседям с помощью кадра «Приемник не готов» передавать ему кадры, пока очередь не уменьшится до нормального уровня. В сетях X.25 такой протокол необходим, так как эти сети никогда не использовали разделяемые среды передачи данных, а работали по индивидуальным каналам связи в полнодуплексном режиме.

При разработке коммутаторов локальных сетей ситуация коренным образом отличалась от ситуации, при которой создавались коммутаторы территориальных сетей. Основной

задачей было сохранение конечных узлов в неизменном виде, что исключало корректировку протоколов локальных сетей. А в этих протоколах процедур управления потоком не было - общая среда передачи данных в режиме разделения времени исключала возникновение ситуаций, когда сеть переполнялась бы необработанными кадрами. Сеть не накапливала данных в каких-либо промежуточных буферах при использовании только повторителей или концентраторов.

ПРИМЕЧАНИЕ Здесь речь идет о протоколах MAC - уровня (Ethernet, Token Ring и т. п.), так как мосты и коммутаторы имеют дело только с ними. Протокол LLC2, который умеет управлять потоком данных, для целей управления потоком кадров в коммутаторах использовать нельзя. Для коммутаторов протокол LLC (все его процедуры: 1,2 и 3) прозрачен, как и все остальные протоколы верхних уровней, - коммутатор не анализирует заголовок LLC, считая его просто полем данных кадра MAC - уровня.

Применение коммутаторов без изменения протокола работы оборудования всегда порождает опасность потери кадров. Если порты коммутатора работают в обычном, то есть в полудуплексном режиме, то у коммутатора имеется возможность оказать некоторое воздействие на конечный узел и заставить его приостановить передачу кадров, пока у коммутатора не разгрузятся внутренние буферы. Нестандартные методы управления потоком в коммутаторах при сохранении протокола доступа в неизменном виде будут рассмотрены ниже.

Если же коммутатор работает в полнодуплексном режиме, то протокол работы конечных узлов, да и его портов все равно меняется. Поэтому имело смысл для поддержки полнодуплексного режима работы коммутаторов несколько модифицировать протокол взаимодействия узлов, встроив в него явный механизм управления потоком кадров.

Работа над выработкой стандарта для управления потоком кадров в полнодуплексных версиях Ethernet и Fast Ethernet продолжалась несколько лет. Такой длительный период объясняется разногласиями членов соответствующих комитетов по стандартизации, отстаивающих подходы фирм, которые реализовали в своих коммутаторах собственные методы управления потоком.

В марте 1997 года принят стандарт IEEE 802.3x на управление потоком в полнодуплексных версиях протокола Ethernet. Он определяет весьма простую процедуру управления потоком, подобную той, которая используется в протоколах LLC2 и LAP-B. Эта процедура подразумевает две команды - «Приостановить передачу» и «Возобновить передачу», которые направляются соседнему узлу. Отличие от протоколов типа LLC2 в том, что эти команды реализуются на уровне символов кодов физического уровня, таких как 4B/5B, а не на уровне команд, оформленных в специальные управляющие кадры. Сетевой адаптер или порт коммутатора, поддерживающий стандарт 802.3x и получивший команду «Приостановить передачу», должен прекратить передавать кадры впредь до получения команды «Возобновить передачу».

Некоторые специалисты высказывают опасение, что такая простая процедура управления потоком окажется непригодной в сетях Gigabit Ethernet. Полная приостановка приема кадров от соседа при такой большой скорости передачи кадров (1 488 090 кадр/с) может

быстро вызвать переполнение внутреннего буфера теперь у этого соседа, который в свою очередь полностью заблокирует прием кадров у своих ближайших соседей. Таким образом, перегрузка просто распространится по сети, вместо того чтобы постепенно исчезнуть. Для работы с такими скоростными протоколами необходим более тонкий механизм регулирования потока, который бы указывал, на какую величину нужно уменьшить интенсивность потока входящих кадров в перегруженный коммутатор, а не приостанавливал этот поток до нуля. Подобный плавный механизм регулирования потока появился у коммутаторов АТМ через несколько лет после их появления. Поэтому существует мнение, что стандарт 802.3х - это временное решение, которое просто закрепило существующие фирменные простые механизмы управления потоком ведущих производителей коммутаторов. Пройдет некоторое время, и этот стандарт сменит другой стандарт - более сложный и более приспособленный для высокоскоростных технологий, таких как Gigabit Ethernet.

4.3.5. Управления потоком кадров при полудуплексной работе

При работе порта в полудуплексном режиме коммутатор не может изменять протокол и пользоваться для управления потоком новыми командами, такими как «Приостановить передачу» и «Возобновить передачу».

Зато у коммутатора появляется возможность воздействовать на конечный узел с помощью механизмов алгоритма доступа к среде, который конечный узел обязан отрабатывать. Эти приемы основаны на том, что конечные узлы строго соблюдают все параметры алгоритма доступа к среде, а порты коммутатора - нет. Обычно применяются два основных способа управления потоком кадров - обратное давление на конечный узел и агрессивный захват среды.

Метод обратного давления (backpressure) состоит в создании искусственных коллизий в сегменте, который чересчур интенсивно посылает кадры в коммутатор. Для этого коммутатор обычно использует jam-последовательность, отправляемую на выход порта, к которому подключен сегмент (или узел), чтобы приостановить его активность. Кроме того, метод обратного давления может применяться в тех случаях, когда процессор порта не рассчитан на поддержку максимально возможного для данного протокола трафика. Один из первых примеров применения метода обратного давления как раз связан с таким случаем - метод был применен компанией LANNET в модулях LSE-1 и LSE-2, рассчитанных на коммутацию трафика Ethernet с максимальной интенсивностью соответственно 1 Мбит/с и 2 Мбит/с.

Второй метод «торможения» конечного узла в условиях перегрузки внутренних буферов коммутатора основан на так называемом *агрессивном поведении порта коммутатора* при захвате среды либо после окончания передачи очередного пакета, либо после коллизии. Эти два случая иллюстрируются рис. 4.29, а и б.

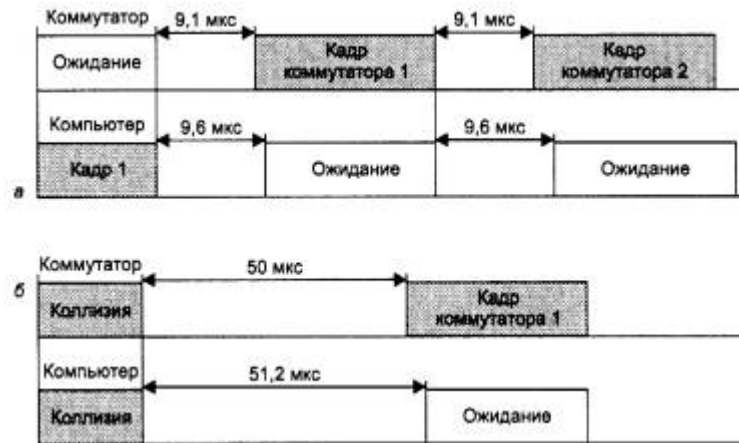


Рис. 4.29. Агрессивное поведение коммутатора при перегрузках буферов

В первом случае коммутатор окончил передачу очередного кадра и вместо технологической паузы в 9,6 мкс сделал паузу в 9,1 мкс и начал передачу нового кадра. Компьютер не смог захватить среду, так как он выдержал стандартную паузу в 9,6 мкс и обнаружил после этого, что среда уже занята.

Во втором случае кадры коммутатора и компьютера столкнулись и была зафиксирована коллизия. Так как компьютер сделал паузу после коллизии в 51,2 мкс, как это положено по стандарту (интервал отсрочки равен 512 битовых интервалов), а коммутатор - 50 мкс, то и в этом случае компьютеру не удалось передать свой кадр.

Коммутатор может пользоваться этим механизмом адаптивно, увеличивая степень своей агрессивности по мере необходимости.

Многие производители реализуют с помощью сочетания описанных двух методов достаточно тонкие механизмы управления потоком кадров при перегрузках. Эти методы используют алгоритмы чередования передаваемых и принимаемых кадров (frame interleave). Алгоритм чередования должен быть гибким и позволять компьютеру в критических ситуациях на каждый принимаемый кадр передавать несколько своих, разгружая внутренний буфер кадров, причем не обязательно снижая при этом интенсивность приема кадров до нуля, а просто уменьшая ее до необходимого уровня.

Практически во всех моделях коммутаторов, кроме самых простых моделей для рабочих групп, реализуют тот или иной алгоритм управления потоком кадров при полудуплексном режиме работы портов. Этот алгоритм, как правило, реализует более тонкое управление потоком, чем стандарт 802.3х, не приостанавливая до нуля прием кадров от соседнего узла и тем самым не способствуя переносу перегрузки в соседний коммутатор, если к порту подключен не конечный узел, а другой коммутатор.

Выводы

- Логическая структуризация сети необходима при построении сетей средних и крупных размеров. Использование общей разделяемой среды приемлемо только для сети, состоящей из 5-10 компьютеров.
- Деление сети на логические сегменты повышает производительность, надежность, гибкость построения и управляемость сети.

- Для логической структуризации сети применяются мосты и их современные преемники - коммутаторы и маршрутизаторы. Первые два типа устройств позволяют разделить сеть на логические сегменты с помощью минимума средств - только на основе протоколов канального уровня. Кроме того, эти устройства не требуют конфигурирования.
- Логические сегменты, построенные на основе коммутаторов, являются строительными элементами более крупных сетей, объединяемых маршрутизаторами.
- Коммутаторы - наиболее быстродействующие современные коммуникационные устройства, они позволяют соединять высокоскоростные сегменты без блокирования (уменьшения пропускной способности) межсегментного трафика.
- Пассивный способ построения адресной таблицы коммутаторами - с помощью слежения за проходящим трафиком - приводит к невозможности работы в сетях с петлевыми связями. Другим недостатком сетей, построенных на коммутаторах, является отсутствие защиты от широковежательного шторма, который эти устройства обязаны передавать в соответствии с алгоритмом работы.
- Применение коммутаторов позволяет сетевым адаптерам использовать полнодуплексный режим работы протоколов локальных сетей (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI). В этом режиме отсутствует этап доступа к разделяемой среде, а общая скорость передачи данных удваивается.
- В полнодуплексном режиме для борьбы с перегрузками коммутаторов используется метод управления потоком, описанный в стандарте 802.3х. Он повторяет алгоритмы полной приостановки трафика по специальной команде, известной из технологий глобальных сетей.
- При полудуплексном режиме работы коммутаторы используют для управления потоком при перегрузках два метода: агрессивный захват среды и обратное давление на конечный узел. Применение этих методов позволяет достаточно гибко управлять потоком, чередуя несколько передаваемых кадров с одним принимаемым.

4.4. Техническая реализация и дополнительные функции коммутаторов

Несмотря на то что в коммутаторах работают известные и хорошо отработанные алгоритмы прозрачных мостов и мостов с маршрутизацией от источника, существует большое разнообразие моделей коммутаторов. Они отличаются как внутренней организацией, так и набором выполняемых дополнительных функций, таких как трансляция протоколов, поддержка алгоритма покрывающего дерева, образование виртуальных логических сетей и ряда других.

4.4.1. Особенности технической реализации коммутаторов

После того как технология коммутации привлекла общее внимание и получила высокие оценки специалистов, многие компании занялись реализацией этой технологии в своих устройствах, применяя для этого различные технические решения. Многие коммутаторы первого поколения были похожи на маршрутизаторы, то есть основывались на центральном процессоре общего назначения, связанном с интерфейсными портами по внутренней скоростной шине (рис. 4.30). Однако это были скорее пробные устройства, предназначенные для освоения самой компанией технологии коммутации, а не для завоевания рынка.

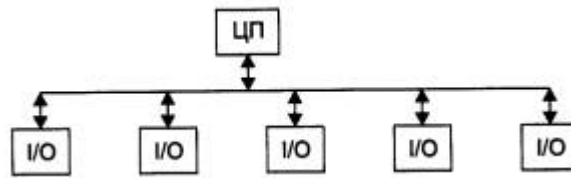


Рис. 4.30. Коммутатор на процессоре общего назначения

Основным недостатком таких коммутаторов была их низкая скорость. Универсальный процессор никак не мог справиться с большим объемом специализированных операций по пересылке кадров между интерфейсными модулями.

Для ускорения операций коммутации нужны были специализированные процессоры со специализированными средствами обмена данными, как в первом коммутаторе Kalpana, и они вскоре появились. Сегодня все коммутаторы используют заказные специализированные БИС - ASIC, которые оптимизированы для выполнения основных операций коммутации. Часто в одном коммутаторе используется несколько специализированных БИС, каждая из которых выполняет функционально законченную часть операций. Сравнительно низкая стоимость современных коммутаторов по сравнению с их предшественниками 3-5-летней давности объясняется массовым характером производства основных БИС, на которых каждая компания строит свои коммутаторы.

Кроме процессорных микросхем для успешной неблокирующей работы коммутатору нужно также иметь быстродействующий узел для передачи кадров между процессорными микросхемами портов.

В настоящее время коммутаторы используют в качестве базовой одну из трех схем, на которой строится такой узел обмена:

- коммутационная матрица;
- разделяемая многовходовая память;
- общая шина.

Часто эти три способа взаимодействия комбинируются в одном коммутаторе.

Коммутаторы на основе коммутационной матрицы

Коммутационная матрица обеспечивает основной и самый быстрый способ взаимодействия процессоров портов, именно он был реализован в первом промышленном коммутаторе локальных сетей. Однако реализация матрицы возможна только для определенного числа портов, причем сложность схемы возрастает пропорционально квадрату количества портов коммутатора (рис. 4.31).

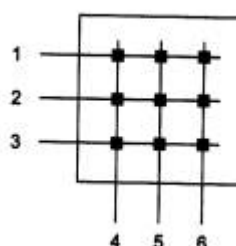


Рис. 4.31. Коммутационная матрица

Более детальное представление одного из возможных вариантов реализации коммутационной матрицы для 8 портов дано на рис. 4.32. Входные блоки процессоров портов на основании просмотра адресной таблицы коммутатора определяют по адресу назначения номер выходного порта. Эту информацию они добавляют к байтам исходного кадра в виде специального ярлыка - тэга (tag). Для данного примера тэг представляет собой просто 3-разрядное двоичное число, соответствующее номеру выходного порта.

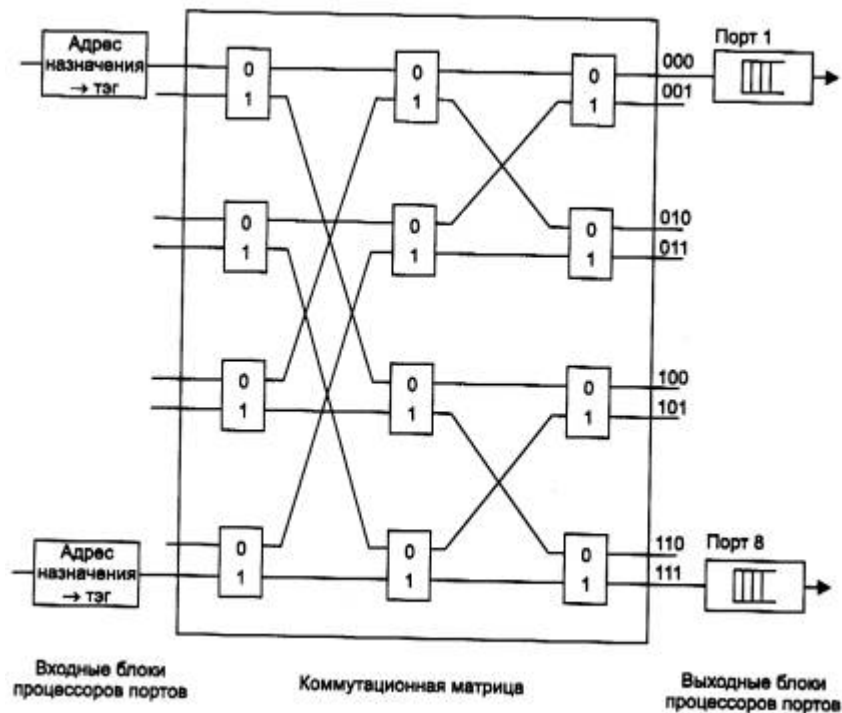


Рис. 4.32. Реализация коммутационной матрицы 8x8 с помощью двоичных переключателей

Матрица состоит из трех уровней двоичных переключателей, которые соединяют свой вход с одним из двух выходов в зависимости от значения бита тэга. Переключатели первого уровня управляются первым битом тэга, второго - вторым, а третьего - третьим.

Матрица может быть реализована и по-другому, на основании комбинационных схем другого типа, но ее особенностью все равно остается технология коммутации физических каналов. Известным недостатком этой технологии является отсутствие буферизации данных внутри коммутационной матрицы - если составной канал невозможно построить из-за занятости выходного порта или промежуточного коммутационного элемента, то данные должны накапливаться в их источнике, в данном случае - во входном блоке порта, принявшего кадр. Основные достоинства таких матриц - высокая скорость коммутации и регулярная структура, которую удобно реализовывать в интегральных микросхемах. Зато после реализации матрицы NxN в составе БИС проявляется еще один ее недостаток - сложность наращивания числа коммутируемых портов.

Коммутаторы с общей шиной

В коммутаторах с общей шиной процессоры портов связывают высокоскоростной шиной, используемой в режиме разделения времени.

Пример такой архитектуры приведен на рис. 4.33. Чтобы шина не блокировала работу коммутатора, ее производительность должна равняться по крайней мере сумме производительности всех портов коммутатора. Для модульных коммутаторов некоторые сочетания модулей с низкоскоростными портами могут приводить к неблокирующей работе, а установка модулей с высокоскоростными портами может приводить к тому, что блокирующим элементом станет, например, общая шина.

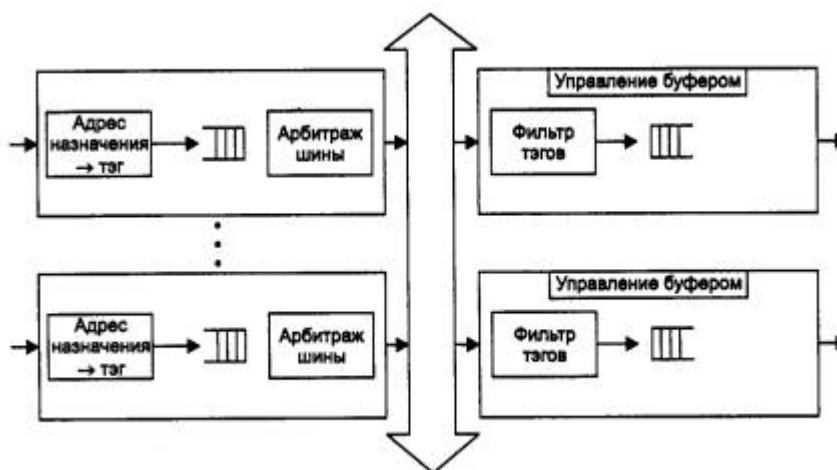


Рис. 4.33. Архитектура коммутатора с общей шиной

Кадр должен передаваться по шине небольшими частями, по несколько байт, чтобы передача кадров между несколькими портами происходила в псевдопараллельном режиме, не внося задержек в передачу кадра в целом. Размер такой ячейки данных определяется производителем коммутатора. Некоторые производители, например LANNET или Centillion, выбрали в качестве порции данных, переносимых за одну операцию по шине, ячейку ATM с ее полем данных в 48 байт. Такой подход облегчает трансляцию протоколов локальных сетей в протокол ATM, если коммутатор поддерживает эти технологии.

Входной блок процессора помещает в ячейку, переносимую по шине, тэг, в котором указывает номер порта назначения. Каждый выходной блок процессора порта содержит фильтр тэгов, который выбирает тэги, предназначенные данному порту.

Шина, так же как и коммутационная матрица, не может осуществлять промежуточную буферизацию, но так как данные кадра разбиваются на небольшие ячейки, то задержек с начальным ожиданием доступности выходного порта в такой схеме нет - здесь работает принцип коммутации пакетов, а не каналов.

Коммутаторы с разделяемой памятью

Третья базовая архитектура взаимодействия портов - двухходовая разделяемая память. Пример такой архитектуры приведен на рис. 4.34.

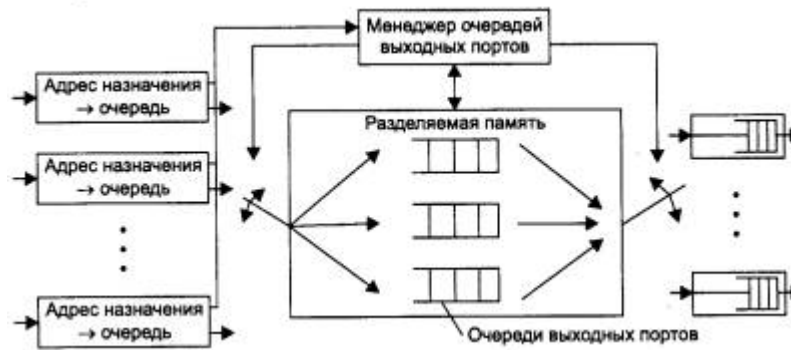


Рис. 4.34. Архитектура разделяемой памяти

Входные блоки процессоров портов соединяются с переключаемым входом разделяемой памяти, а выходные блоки этих же процессоров соединяются с переключаемым выходом этой памяти. Переключением входа и выхода разделяемой памяти управляет менеджер очередей выходных портов. В разделяемой памяти менеджер организует несколько очередей данных, по одной для каждого выходного порта. Входные блоки процессоров передают менеджеру портов запросы на запись данных в очередь того порта, который соответствует адресу назначения пакета. Менеджер по очереди подключает вход памяти к одному из входных блоков процессоров и тот переписывает часть данных кадра в очередь определенного выходного порта. По мере заполнения очередей менеджер производит также поочередное подключение выхода разделяемой памяти к выходным блокам процессоров портов, и данные из очереди переписываются в выходной буфер процессора.

Память должна быть достаточно быстродействующей для поддержания скорости переписи данных между N портами коммутатора. Применение общей буферной памяти, гибко распределяемой менеджером между отдельными портами, снижает требования к размеру буферной памяти процессора порта.

Комбинированные коммутаторы

У каждой из описанных архитектур есть свои преимущества и недостатки, поэтому часто в сложных коммутаторах эти архитектуры применяются в комбинации друг с другом. Пример такого комбинирования приведен на рис. 4.35.



Рис. 4.35. Комбинирование архитектур коммутационной матрицы и общей шины

Коммутатор состоит из модулей с фиксированным количеством портов (2-12), выполненных на основе специализированной БИС, реализующей архитектуру коммутационной матрицы. Если порты, между которыми нужно передать кадр данных, принадлежат одному модулю, то передача кадра осуществляется процессорами модуля на основе имеющейся в модуле коммутационной матрицы. Если же порты принадлежат разным модулям, то процессоры общаются по общей шине. При такой архитектуре

передача кадров внутри модуля будет происходить быстрее, чем при межмодульной передаче, так как коммутационная матрица - наиболее быстрый, хотя и наименее масштабируемый способ взаимодействия портов. Скорость внутренней шины коммутаторов может достигать нескольких Гбит/с, а у наиболее мощных моделей - до 20-30 Гбит/с.

Можно представить и другие способы комбинирования архитектур, например использование разделяемой памяти для взаимодействия модулей.

Конструктивное исполнение коммутаторов

В конструктивном отношении коммутаторы делятся на следующие типы:

- автономные коммутаторы с фиксированным количеством портов;
- модульные коммутаторы на основе шасси;
- коммутаторы с фиксированным количеством портов, собираемые в стек.

Первый тип коммутаторов обычно предназначен для организации небольших рабочих групп.

Модульные коммутаторы на основе шасси чаще всего предназначены для применения на магистрали сети. Поэтому они выполняются на основе какой-либо комбинированной схемы, в которой взаимодействие модулей организуется по быстродействующей шине или же на основе быстрой разделяемой памяти большого объема. Модули такого коммутатора выполняются на основе технологии «hot swap», то есть допускают замену на ходу, без выключения коммутатора, так как центральное коммуникационное устройство сети не должно иметь перерывов в работе. Шасси обычно снабжается резервированными источниками питания и резервированными вентиляторами в тех же целях.

С технической точки зрения определенный интерес представляют стековые коммутаторы. Эти устройства представляют собой коммутаторы, которые могут работать автономно, так как выполнены в отдельном корпусе, но имеют специальные интерфейсы, которые позволяют их объединять в общую систему, работающую как единый коммутатор. Говорят, что в этом случае отдельные коммутаторы образуют стек.

Обычно такой специальный интерфейс представляет собой высокоскоростную шину, которая позволяет объединить отдельные корпуса подобно модулям в коммутаторе на основе шасси. Так как расстояния между корпусами больше, чем между модулями на шасси, скорость обмена по шине обычно ниже, чем у модульных коммутаторов: 200-400 Мбит/с. Не очень высокие скорости обмена между коммутаторами стека обусловлены также тем, что стековые коммутаторы обычно занимают промежуточное положение между коммутаторами с фиксированным количеством портов и коммутаторами на основе шасси. Стековые коммутаторы применяются для создания сетей рабочих групп и отделов, поэтому сверхвысокие скорости шин обмена им не очень нужны и не соответствуют их ценовому диапазону.

Структура стека коммутаторов, соединяемых по скоростным специальным портам, показана на рис. 4.36.

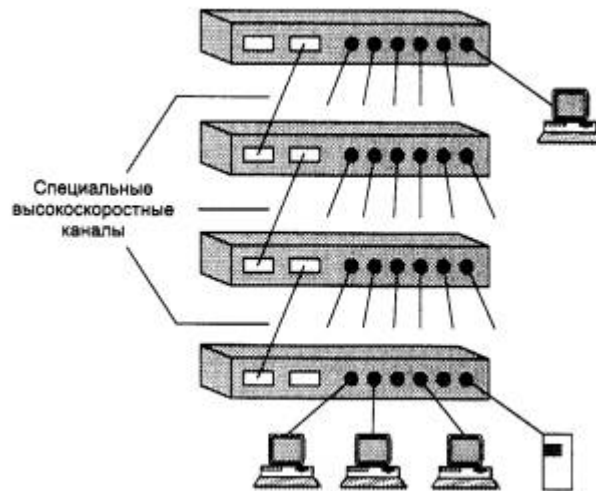


Рис. 4.36. Стек коммутаторов, объединяемых по высокоскоростным каналам

Компания Cisco предложила другой подход к организации стека. Ее коммутатор Catalyst 3000 также имеет специальный скоростной интерфейс 280 Мбит/с для организации стека, но с его помощью коммутаторы соединяются не друг с другом, а с отдельным устройством, содержащим коммутационную матрицу 8x8, организующую более высокопроизводительный обмен между любыми парами коммутаторов.

Существуют коммутаторы, которые позволяют объединить два коммутатора полнодуплексным каналом более чем по одной паре портов. Например, коммутаторы модели 28115 компании Nortel Networks имеют по два порта Fast Ethernet, с помощью которых можно соединять коммутаторы, образуя полнодуплексный канал с производительностью 400 Мбит/с (рис. 4.37).

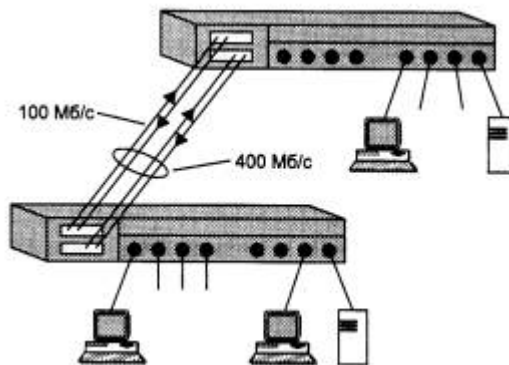


Рис. 4.37. Транковое полнодуплексное соединение коммутаторов 28115 компании Nortel Networks

Такие соединения называются *транковыми* и являются частной разработкой каждой компании, выпускающей коммуникационное оборудование, так как нарушают не только логику доступа к разделяемым средам, но и топологию соединения мостов, запрещающую петлевидные контуры (а такой контур всегда образуется при соединении коммутаторов более чем одной парой портов). При соединении коммутаторов разных производителей транк работать не будет, так как каждый производитель добавляет к логике изучения адресов сети коммутатором по транковой связи что-то свое, чтобы добиться от него правильной работы.

4.4.2. Характеристики, влияющие на производительность коммутаторов

Производительность коммутатора - то свойство, которое сетевые интеграторы и администраторы ждут от этого устройства в первую очередь.

Основными показателями коммутатора, характеризующими его производительность, являются:

- скорость фильтрации кадров;
- скорость продвижения кадров;
- пропускная способность;
- задержка передачи кадра.

Кроме того, существует несколько характеристик коммутатора, которые в наибольшей степени влияют на указанные характеристики производительности. К ним относятся:

- тип коммутации - «на лету» или с полной буферизацией;
- размер буфера (буферов) кадров;
- производительность внутренней шины;
- производительность процессора или процессоров;
- размер внутренней адресной таблицы.

Скорость фильтрации и скорость продвижения

Скорость фильтрации и продвижения кадров - это две основные характеристики производительности коммутатора. Эти характеристики являются интегральными показателями, они не зависят от того, каким образом технически реализован коммутатор.

Скорость фильтрации (filtering) определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров:

- прием кадра в свой буфер;
- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;
- уничтожение кадра, так как его порт назначения и порт источника принадлежат одному логическому сегменту.

Скорость фильтрации практически у всех коммутаторов является неблокирующей - коммутатор успевает отбрасывать кадры в темпе их поступления.

Скорость продвижения (forwarding) определяет скорость, с которой коммутатор выполняет следующие этапы обработки кадров.

- прием кадра в свой буфер;
- просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра;
- передача кадра в сеть через найденный по адресной таблице порт назначения.

Как скорость фильтрации, так и скорость продвижения измеряются обычно в кадрах в секунду. Если в характеристиках коммутатора не уточняется, для какого протокола и для какого размера кадра приведены значения скоростей фильтрации и продвижения, то по

умолчанию считается, что эти показатели даются для протокола Ethernet и кадров минимального размера, то есть кадров длиной 64 байт (без преамбулы) с полем данных в 46 байт. Если скорости указаны для какого-либо определенного протокола, например Token Ring или FDDI, то они также даны для кадров минимальной длины этого протокола (например, кадров длины 29 байт для протокола FDDI). Применение в качестве основного показателя скорости работы коммутатора кадров минимальной длины объясняется тем, что такие кадры всегда создают для коммутатора наиболее тяжелый режим работы по сравнению с кадрами другого формата при равной пропускной способности переносимых пользовательских данных. Поэтому при проведении тестирования коммутатора режим передачи кадров минимальной длины используется как наиболее сложный тест, который должен проверить способность коммутатора работать при наихудшем сочетании параметров трафика. Кроме того, для пакетов минимальной длины скорость фильтрации и продвижения максимальна, что имеет немаловажное значение при рекламе коммутатора.

Пропускная способность коммутатора измеряется количеством пользовательских данных (в мегабитах в секунду), переданных в единицу времени через его порты. Так как коммутатор работает на канальном уровне, для него пользовательскими данными являются те данные, которые переносятся в поле данных кадров протоколов канального уровня - Ethernet, Token Ring, FDDI и т. п. Максимальное значение пропускной способности коммутатора всегда достигается на кадрах максимальной длины, так как при этом доля накладных расходов на служебную информацию кадра гораздо ниже, чем для кадров минимальной длины, а время выполнения коммутатором операций по обработке кадра, приходящееся на один байт пользовательской информации, существенно меньше. Поэтому коммутатор может быть блокирующим для кадров минимальной длины, но при этом иметь очень хорошие показатели пропускной способности.

Задержка передачи кадра измеряется как время, прошедшее с момента прихода первого байта кадра на входной порт коммутатора до момента появления этого байта на его выходном порту. Задержка складывается из времени, затрачиваемого на буферизацию байт кадра, а также времени, затрачиваемого на обработку кадра коммутатором, - просмотра адресной таблицы, принятия решения о фильтрации или продвижении и получения доступа к среде выходного порта.

Величина вносимой коммутатором задержки зависит от режима его работы. Если коммутация осуществляется «на лету», то задержки обычно невелики и составляют от 5 до 40 мкс, а при полной буферизации кадров - от 50 до 200 мкс (для кадров минимальной длины).

Коммутатор - это многопортовое устройство, поэтому для него принято все приведенные выше характеристики (кроме задержки передачи кадра) давать в двух вариантах. Первый вариант - суммарная производительность коммутатора при одновременной передаче трафика по всем его портам, второй вариант - производительность, приведенная в расчете на один порт. Обычно производители коммутаторов указывают общую максимальную пропускную способность устройства.

Коммутация «на лету» или с буферизацией

На производительности коммутатора сказывается способ передачи пакетов - «на лету» или с буферизацией. Коммутаторы, передающие пакеты «на лету», вносят меньшие задержки передачи кадров на каждом промежуточном коммутаторе, поэтому общее уменьшение задержки доставки данных может быть значительным, что важно для

мультимедийного трафика. Кроме того, выбранный способ коммутации оказывает влияние на возможности реализации некоторых полезных дополнительных функций, например трансляцию протоколов канального уровня. В табл. 4.2 дается сравнение возможностей двух способов коммутации.

Таблица 4.2. Возможности коммутаторов при коммутации «на лету» и с полной буферизацией

Функция	На лету	С буферизацией
Защита от плохих кадров	Нет	Да
Поддержка разнородных сетей (Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM)	Нет	Да
Задержка передачи пакетов	Низкая (5–40 мкс) при низкой нагрузке, средняя при высокой нагрузке	Средняя при любой нагрузке
Поддержка резервных связей	Нет	Да
Функция анализа трафика	Нет	Да

Средняя величина задержки коммутаторов, работающих «на лету», при высокой нагрузке объясняется тем, что в этом случае выходной порт часто бывает занят приемом другого пакета, поэтому вновь поступивший пакет для данного порта все равно приходится буферизовать.

Коммутатор, работающий «на лету», может выполнять проверку некорректности передаваемых кадров, но не может изъять плохой кадр из сети, так как часть его байт (и, как правило, большая часть) уже переданы в сеть.

Так как каждый способ имеет свои достоинства и недостатки, в тех моделях коммутаторов, которым не нужно транслировать протоколы, иногда применяется механизм адаптивной смены режима работы коммутатора. Основным режим такого коммутатора - коммутация «на лету», но коммутатор постоянно контролирует трафик и при превышении интенсивности появления плохих кадров некоторого порога переходит на режим полной буферизации. Затем коммутатор может вернуться к коммутации «на лету».

Размер адресной таблицы

Максимальная емкость адресной таблицы определяет предельное количество MAC-адресов, с которыми может одновременно оперировать коммутатор. Так как коммутаторы чаще всего используют для выполнения операций каждого порта выделенный процессорный блок со своей памятью для хранения экземпляра адресной таблицы, то размер адресной таблицы для коммутаторов обычно приводится в расчете на один порт. Экземпляры адресной таблицы разных процессорных модулей не обязательно содержат одну и ту же адресную информацию - скорее всего, повторяющихся адресов будет не так много, если только распределение трафика каждого порта между остальными портами не полностью равновероятно. Каждый порт хранит только те наборы адресов, с которыми он работал в последнее время.

Значение максимального числа MAC - адресов, которое может запомнить процессор порта, зависит от области применения коммутатора. Коммутаторы рабочих групп обычно поддерживают всего несколько адресов на порт, так как они предназначены для

образования микросегментов. Коммутаторы отделов должны поддерживать несколько сотен адресов, а коммутаторы магистралей сетей - до нескольких тысяч, обычно 4000-8000 адресов.

Недостаточная емкость адресной таблицы может служить причиной замедления работы коммутатора и засорения сети избыточным трафиком. Если адресная таблица процессора порта полностью заполнена, а он встречает новый адрес источника в поступившем пакете, процессор должен вытеснить из таблицы какой-либо старый адрес и поместить на его место новый. Эта операция сама по себе отнимет у процессора часть времени, но главные потери производительности будут наблюдаться при поступлении кадра с адресом назначения, который пришлось удалить из адресной таблицы. Так как адрес назначения кадра неизвестен, то коммутатор должен передать этот кадр на все остальные порты. Эта операция будет создавать лишнюю работу для многих процессоров портов, кроме того, копии этого кадра будут попадать и на те сегменты сети, где они совсем не обязательны.

Некоторые производители коммутаторов решают эту проблему за счет изменения алгоритма обработки кадров с неизвестным адресом назначения. Один из портов коммутатора конфигурируется как магистральный порт, на который по умолчанию передаются все кадры с неизвестным адресом. В маршрутизаторах такой прием применяется давно, позволяя сократить размеры адресных таблиц в сетях, организованных по иерархическому принципу.

Передача кадра на магистральный порт производится в расчете на то, что этот порт подключен к вышестоящему коммутатору при иерархическом соединении коммутаторов в крупной сети, который имеет достаточную емкость адресной таблицы и знает, куда нужно передать любой кадр.

Объем буфера кадров

Внутренняя буферная память коммутатора нужна для временного хранения кадров данных в тех случаях, когда их невозможно немедленно передать на выходной порт. Буфер предназначен для сглаживания кратковременных пульсаций трафика. Ведь даже если трафик хорошо сбалансирован и производительность процессоров портов, а также других обрабатывающих элементов коммутатора достаточна для передачи средних значений графика, это не гарантирует, что их производительности хватит при пиковых значениях нагрузок. Например, трафик может в течение нескольких десятков миллисекунд поступать одновременно на все входы коммутатора, не давая ему возможности передавать принимаемые кадры на выходные порты.

Для предотвращения потерь кадров при кратковременном многократном превышении среднего значения интенсивности трафика (а для локальных сетей часто встречаются значения коэффициента пульсации трафика в диапазоне 50-100) единственным средством служит буфер большого объема. Как и в случае адресных таблиц, каждый процессорный модуль порта обычно имеет свою буферную память для хранения кадров. Чем больше объем этой памяти, тем менее вероятны потери кадров при перегрузках, хотя при несбалансированности средних значений трафика буфер все равно рано или поздно переполнится.

Обычно коммутаторы, предназначенные для работы в ответственных частях сети, имеют буферную память в несколько десятков или сотен килобайт на порт. Хорошо, когда эту буферную память можно перераспределять между несколькими портами, так как

одновременные перегрузки по нескольким портам маловероятны. Дополнительным средством защиты может служить общий для всех портов буфер в модуле управления коммутатором. Такой буфер обычно имеет объем в несколько мегабайт.

4.4.3. Дополнительные функции коммутаторов

Так как коммутатор представляет собой сложное вычислительное устройство, имеющее несколько процессорных модулей, то естественно нагрузить его помимо выполнения основной функции передачи кадров с порта на порт по алгоритму моста и некоторыми дополнительными функциями, полезными при построении надежных и гибких сетей. Ниже описываются наиболее распространенные дополнительные функции коммутаторов, которые поддерживаются большинством производителей коммуникационного оборудования.

Поддержка алгоритма Spanning Tree

Алгоритм покрывающего дерева - Spanning Tree Algorithm (STA) позволяет коммутаторам автоматически определять древовидную конфигурацию связей в сети при произвольном соединении портов между собой. Как уже отмечалось, для нормальной работы коммутатора требуется отсутствие замкнутых маршрутов в сети. Эти маршруты могут создаваться администратором специально для образования резервных связей или же возникать случайным образом, что вполне возможно, если сеть имеет многочисленные связи, а кабельная система плохо структурирована или документирована.

Поддерживающие алгоритм STA коммутаторы автоматически создают активную древовидную конфигурацию связей (то есть связную конфигурацию без петель) на множестве всех связей сети. Такая конфигурация называется покрывающим деревом - Spanning Tree (иногда ее называют основным деревом), и ее название дало имя всему алгоритму. Алгоритм Spanning Tree описан в стандарте IEEE 802.1D, том же стандарте, который определяет принципы работы прозрачных мостов.

Коммутаторы находят покрывающее дерево адаптивно, с помощью обмена служебными пакетами. Реализация в коммутаторе алгоритма STA очень важна для работы в больших сетях - если коммутатор не поддерживает этот алгоритм, то администратор должен самостоятельно определить, какие порты нужно перевести в заблокированное состояние, чтобы исключить петли. К тому же при отказе какого-либо кабеля, порта или коммутатора администратор должен, во-первых, обнаружить факт отказа, а во-вторых, ликвидировать последствия отказа, переведя резервную связь в рабочий режим путем активизации некоторых портов. При поддержке коммутаторами сети протокола Spanning Tree отказы обнаруживаются автоматически, за счет постоянного тестирования связности сети служебными пакетами. После обнаружения потери связности протокол строит новое покрывающее дерево, если это возможно, и сеть автоматически восстанавливает работоспособность.

Алгоритм Spanning Tree определяет активную конфигурацию сети за три этапа.

- Сначала в сети определяется корневой коммутатор (root switch), от которого строится дерево. Корневой коммутатор может быть выбран автоматически или назначен администратором. При автоматическом выборе корневым становится коммутатор с меньшим значением MAC - адреса его блока управления.

- Затем, на втором этапе, для каждого коммутатора определяется корневой порт (root port) - это порт, который имеет по сети кратчайшее расстояние до корневого коммутатора (точнее, до любого из портов корневого коммутатора).
- И наконец, на третьем этапе для каждого сегмента сети выбирается так называемый назначенный порт (designated port) - это порт, который имеет кратчайшее расстояние от данного сегмента до корневого коммутатора. После определения корневых и назначенных портов каждый коммутатор блокирует остальные порты, которые не попали в эти два класса портов. Можно математически доказать, что при таком выборе активных портов в сети исключаются петли и оставшиеся связи образуют покрывающее дерево (если оно может быть построено при существующих связях в сети).

Понятие расстояния играет важную роль в построении покрывающего дерева. Именно по этому критерию выбирается единственный порт, соединяющий каждый коммутатор с корневым коммутатором, и единственный порт, соединяющий каждый сегмент сети с корневым коммутатором.

На рис. 4.38 показан пример построения конфигурации покрывающего дерева для сети, состоящей из 5 сегментов и 5 коммутаторов. Корневые порты закрашены темным цветом, назначенные порты не закрашены, а заблокированные порты перечеркнуты. В активной конфигурации коммутаторы 2 и 4 не имеют портов, передающих кадры данных, поэтому они закрашены как резервные.

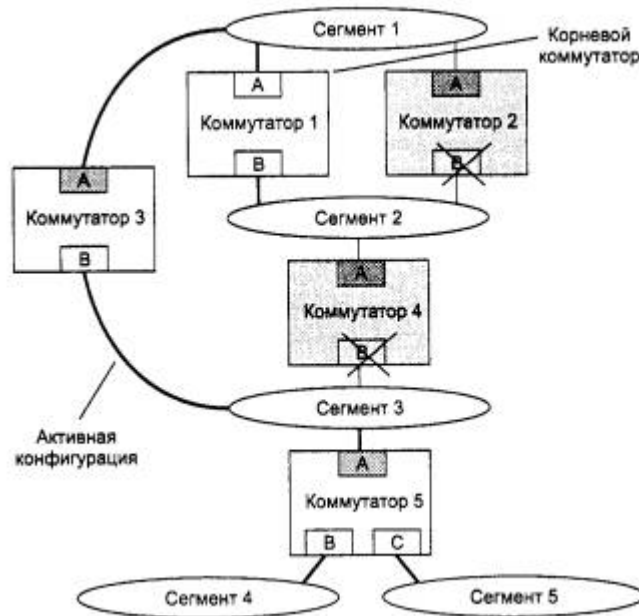


Рис. 4.38. Построение покрывающего дерева сети по алгоритму STA

Расстояние до корня определяется как суммарное условное время на передачу одного бита данных от порта данного коммутатора до порта корневого коммутатора. При этом считается, что время внутренних передач данных (с порта на порт) коммутатором пренебрежимо мало, а учитывается только время на передачу данных по сегментам сети, соединяющим коммутаторы. Условное время сегмента рассчитывается как время, затрачиваемое на передачу одного бита информации в 10 наносекундных единицах между непосредственно связанными по сегменту сети портами. Так, для сегмента Ethernet это

время равно 10 условным единицам, а для сегмента Token Ring 16 Мбит/с - 6,25.
(Алгоритм STA не связан с каким-либо определенным стандартом канального уровня, он может применяться к коммутаторам, соединяющим сети различных технологий.)

В приведенном примере предполагается, что все сегменты работают на одной скорости, поэтому они имеют одинаковые условные расстояния, которые поэтому не показаны на рисунке.

Для автоматического определения начальной активной конфигурации дерева все коммутаторы сети после их инициализации начинают периодически обмениваться специальными пакетами, называемыми *протокольными блоками данных моста - BPDU (Bridge Protocol Data Unit)*, что отражает факт первоначальной разработки алгоритма STA для мостов.

Пакеты BPDU помещаются в поле данных кадров канального уровня, например кадров Ethernet или FDDI. Желательно, чтобы все коммутаторы поддерживали общий групповой адрес, с помощью которого кадры, содержащие пакеты BPDU, могли бы одновременно передаваться всем коммутаторам сети. Иначе пакеты BPDU рассылаются широкоэвещательно.

Поля пакета BPDU перечислены ниже.

- Идентификатор версии протокола STA - 2 байта. Коммутаторы должны поддерживать одну и ту же версию протокола STA, иначе может установиться активная конфигурация с петлями.
- Тип BPDU - 1 байт. Существуют два типа BPDU - конфигурационный BPDU, то есть заявка на возможность стать корневым коммутатором, на основании которой происходит определение активной конфигурации, и BPDU уведомления о реконфигурации, которое посылается коммутатором, обнаружившим событие, требующее проведения реконфигурации - отказ линии связи, отказ порта, изменение приоритетов коммутатора или портов.
- Флаги - 1 байт. Один бит содержит флаг изменения конфигурации, второй - флаг подтверждения изменения конфигурации.
- Идентификатор корневого коммутатора - 8 байт.
- Расстояние до корня - 2 байта.
- Идентификатор коммутатора - 8 байт.
- Идентификатор порта - 2 байта.
- Время жизни сообщения - 2 байта. Измеряется в единицах по 0,5 с, служит для выявления устаревших сообщений. Когда пакет BPDU проходит через коммутатор, тот добавляет ко времени жизни пакета время его задержки данным коммутатором.
- Максимальное время жизни сообщения - 2 байта. Если пакет BPDU имеет время жизни, превышающее максимальное, то он игнорируется коммутаторами.
- Интервал hello, через который посылаются пакеты BPDU.
- Задержка смены состояний - 2 байта. Задержка определяет минимальное время перехода портов коммутатора в активное состояние. Такая задержка необходима, чтобы исключить возможность временного возникновения петель при одновременной смене состояний портов во время реконфигурации. У пакета BPDU уведомления о реконфигурации отсутствуют все поля, кроме двух первых.

Идентификаторы коммутаторов состоят из 8 байт, причем младшие 6 являются MAC - адресом блока управления коммутатора. Старшие 2 байта в исходном состоянии

заполнены нулями, но администратор может изменить значение этих байтов, тем самым назначив определенный коммутатор корневым.

После инициализации каждый коммутатор сначала считает себя корневым. Поэтому он начинает через интервал hello генерировать через все свои порты сообщения BPDU конфигурационного типа. В них он указывает свой идентификатор в качестве идентификатора корневого коммутатора (и в качестве идентификатора данного коммутатора также), расстояние до корня устанавливается в 0, а в качестве идентификатора порта указывается идентификатор того порта, через который передается BPDU. Как только коммутатор получает BPDU, в котором имеется идентификатор корневого коммутатора, со значением, меньшим его собственного, он перестает генерировать свои собственные кадры BPDU, а начинает ретранслировать только кадры нового претендента на звание корневого коммутатора. На рис. 4.38 у коммутатора 1 идентификатор имеет наименьшее значение, раз он стал в результате обмена кадрами корневым.

При ретрансляции кадров каждый коммутатор наращивает расстояние до корня, указанное в пришедшем BPDU, на условное время сегмента, по которому принят данный кадр. Тем самым в кадре BPDU, по мере прохождения через коммутаторы, накапливается расстояние до корневого коммутатора. Если считать, что все сегменты рассматриваемого примера являются сегментами Ethernet, то коммутатор 2, приняв от коммутатора BPDU по сегменту 1 с расстоянием, равным 0, наращивает его на 10 единиц.

Ретранслируя кадры, каждый коммутатор для каждого своего порта запоминает минимальное расстояние до корня, встретившееся во всех принятых этим портом кадрах BPDU. При завершении процедуры установления конфигурации покрывающего дерева (по времени) каждый коммутатор находит свой корневой порт - это порт, для которого минимальное расстояние до корня оказалось меньше, чем у других портов. Так, коммутатор 3 выбирает порт А в качестве корневого, поскольку по порту А минимальное расстояние до корня равно 10 (BPDU с таким расстоянием принят от корневого коммутатора через сегмент 1). Порт В коммутатора 3 обнаружил в принимаемых кадрах минимальное расстояние в 20 единиц - это соответствовало случаю прохождения кадра от порта В корневого моста через сегмент 2, затем через мост 4 и сегмент 3.

Кроме корневого порта коммутаторы распределенным образом выбирают для каждого сегмента сети назначенный порт. Для этого они исключают из рассмотрения свой корневой порт (для сегмента, к которому он подключен, всегда существует другой коммутатор, который ближе расположен к корню), а для всех своих оставшихся портов сравнивают принятые по ним минимальные расстояния до корня с расстоянием до корня своего корневого порта. Если у какого-либо своего порта принятые им расстояния до корня больше, чем расстояние маршрута, пролегающего через свой корневой порт, то это значит, что для сегмента, к которому подключен данный порт, кратчайшее расстояние к корневому коммутатору ведет именно через данный порт. Коммутатор делает все свои порты, у которых такое условие выполняется, назначенными.

Если в процессе выбора корневого порта или назначенного порта несколько портов оказываются равными по критерию кратчайшего расстояния до корневого коммутатора, то выбирается порт с наименьшим идентификатором.

В качестве примера рассмотрим выбор корневого порта для коммутатора 2 и назначенного порта для сегмента 2. Мост 2 при выборе корневого порта столкнулся с ситуацией, когда

порт А и порт В имеют равное расстояние до корня - по 10 единиц (порт А принимает кадры от порта В корневого коммутатора через один промежуточный сегмент - сегмент 1, а порт В принимает кадры от порта А корневого коммутатора также через один промежуточный сегмент - через сегмент 2). Идентификатор А имеет меньшее числовое значение, чем В (в силу упорядоченности кодов символов), поэтому порт А стал корневым портом коммутатора 2.

При проверке порта В на случай, не является ли он назначенным для сегмента 2, коммутатор 2 обнаружил, что через этот порт он принимал кадры с указанным в них минимальным расстоянием 0 (это были кадры от порта В корневого коммутатора 1). Так как собственный корневой порт у коммутатора 2 имеет расстояние до корня 10, то порт В не является назначенным для сегмента 2.

Затем все порты, кроме корневого и назначенных, переводятся каждым коммутатором в заблокированное состояние. На этом построение покрывающего дерева заканчивается.

В процессе нормальной работы корневой коммутатор продолжает генерировать служебные кадры BPDU, а остальные коммутаторы продолжают их принимать своими корневыми портами и ретранслировать назначенными. Если у коммутатора нет назначенных портов, как у коммутаторов 2 и 4, то они все равно продолжают принимать участие в работе протокола Spanning Tree, принимая служебные кадры корневым портом. Если по истечении тайм-аута корневой порт любого коммутатора сети не получает служебный кадр BPDU, то он инициализирует новую процедуру построения покрывающего дерева, оповещая об этом другие коммутаторы BPDU уведомления о реконфигурации. Получив такой кадр, все коммутаторы начинают снова генерировать BPDU конфигурационного типа, в результате чего устанавливается новая активная конфигурация.

Трансляция протоколов канального уровня

Коммутаторы могут выполнять трансляцию одного протокола канального уровня в другой, например Ethernet в FDDI, Fast Ethernet в Token Ring и т. п. При этом они работают по тем же алгоритмам, что и транслирующие мосты, то есть в соответствии со спецификациями IEEE 802.1 и PC 1042, определяющими правила преобразования полей кадров разных протоколов.

Трансляцию протоколов локальных сетей облегчает тот факт, что наиболее сложную работу, которую при объединении гетерогенных сетей часто выполняют маршрутизаторы и шлюзы, а именно работу по трансляции адресной информации, в данном случае выполнять не нужно. Все конечные узлы локальных сетей имеют уникальные адреса одного и того же формата независимо от поддерживаемого протокола. Поэтому адрес сетевого адаптера Ethernet понятен сетевому адаптеру FDDI, и они могут использовать эти адреса в полях своих кадров не задумываясь о том, что узел, с которым они взаимодействуют, принадлежит сети, работающей по другой технологии.

Поэтому при согласовании протоколов локальных сетей коммутаторы не строят таблиц соответствия адресов узлов, а переносят адреса назначения и источника из кадра одного протокола в кадр другого.

Кроме изменения порядка бит при передаче байт адреса трансляция протокола Ethernet (и Fast Ethernet, который использует формат кадров Ethernet) в протоколы FDDI и Token Ring включает выполнение перечисленных ниже (возможно, не всех) операций.

- Вычисление длины поля данных кадра и помещение этого значения в поле Length при передаче кадра из сети FDDI или Token Ring в сеть Ethernet 802.3 (в кадрах FDDI и Token Ring поле длины отсутствует).
- Заполнение полей статуса кадра при передаче кадров из сети FDDI или Token Ring в сеть Ethernet. Кадры FDDI и Token Ring имеют два бита, устанавливаемые станцией, которой предназначался кадр, - бит распознавания адреса А и бит копирования кадра С. При получении кадра станция должна установить эти два бита, чтобы кадр, вернувшийся по кольцу к сгенерировавшей его станции, принес данные обратной связи. При передаче коммутатором кадра в другую сеть нет стандартных правил для установки бит А и С в кадре, который возвращается по кольцу к станции-источнику. Поэтому производители коммутаторов решают эту проблему по своему усмотрению.
- Отбрасывание кадров, передаваемых из сетей FDDI или Token Ring в сеть Ethernet с размером поля данных большим, чем 1500 байт, так как это максимально возможное значение поля данных для сетей Ethernet. В дальнейшем, не дождавшись ответа от станции назначения из сети Ethernet, протокол верхнего уровня станции из сети FDDI, возможно, уменьшит размер передаваемых в одном кадре данных, и тогда коммутатор сможет передавать кадры между этими станциями. Другим вариантом решения проблемы является поддержка коммутатором IP-фрагментации, но это требует, во-первых, реализации в коммутаторе протокола сетевого уровня, а во-вторых, поддержки протокола IP взаимодействующими узлами транслируемых сетей.
- Заполнение поля Type (тип протокола в поле данных) кадра Ethernet II при приходе кадров из сетей, поддерживающих кадры FDDI или Token Ring, в которых это поле отсутствует, зато имеются поля DSAP и SSAP, выполняющие то же назначение, но с другими кодами для обозначения протоколов. Для упрощения трансляции спецификация RFC 1042 предлагает всегда использовать в сетях FDDI и Token Ring кадры с заголовками LLC/SNAP, которые имеют то же поле Type и с теми же значениями, что и кадры Ethernet II. При преобразовании кадров значение из поля Type заголовка LLC/SNAP переносится в поле Type кадра Ethernet II, и наоборот. Если в сети Ethernet имеются форматы кадров, отличные от Ethernet II, то они также должны иметь заголовок LLC/SNAP.
- Пересчет контрольной суммы кадра в соответствии со сформированными значениями служебных полей кадра.

Возможности коммутаторов по фильтрации трафика

Многие коммутаторы позволяют администраторам задавать дополнительные условия фильтрации кадров наряду со стандартными условиями их фильтрации в соответствии с информацией адресной таблицы. Пользовательские фильтры предназначены для создания дополнительных барьеров на пути кадров, которые ограничивают доступ определенных групп пользователей к определенным службам сети.

Наиболее простыми являются пользовательские фильтры на основе MAC -адресов станций. Так как MAC - адреса - это та информация, с которой работает коммутатор, то он позволяет задавать такие фильтры в удобной для администратора форме, возможно, проставляя некоторые условия в дополнительном поле адресной таблицы, подобно тем,

которые были указаны в адресной таблице моста System 3000 на рис. 4.20 - например, отбрасывать кадры с определенным адресом. При этом пользователю, работающему на компьютере с данным MAC - адресом, полностью запрещается доступ к ресурсам другого сегмента сети.

Часто администратору требуется задать более тонкие условия фильтрации, например запретить некоторому пользователю печатать свои документы на определенном сервере печати NetWare чужого сегмента, а остальные ресурсы этого сегмента сделать доступными. Для реализации такого фильтра нужно запретить передачу кадров с определенным MAC - адресом, в которых вложены пакеты IPX, в поле «номер сокета» которых будет указано значение, соответствующее службе печати NetWare. Коммутаторы не анализируют протоколы верхних уровней, такие как IPX, поэтому администратору приходится для задания условий такой фильтрации вручную определять поле, по значению которого нужно осуществлять фильтрацию, в виде пары «смещение - размер» относительно начала поля данных кадра канального уровня, а затем еще указать в шестнадцатеричном формате значение этого поля для службы печати.

Обычно условия фильтрации записываются в виде булевых выражений, формируемых с помощью логических операторов AND и OR.

Наложение дополнительных условий фильтрации может снизить производительность коммутатора, так как вычисление булевых выражений требует проведения дополнительных вычислений процессорами портов.

Приоритетная обработка кадров

Построение сетей на основе коммутаторов позволяет использовать приоритезацию трафика, причем делать это независимо от технологии сети. Эта новая возможность (по сравнению с сетями, построенными целиком на концентраторах) является следствием того, что коммутаторы буферизуют кадры перед их отправкой на другой порт. Коммутатор обычно ведет для каждого входного и выходного порта не одну, а несколько очередей, причем каждая очередь имеет свой приоритет обработки. При этом коммутатор может быть сконфигурирован, например, так, чтобы передавать один низкоприоритетный пакет на каждые 10 высокоприоритетных пакетов.

Поддержка приоритетной обработки может особенно пригодиться для приложений, предъявляющих различные требования к допустимым задержкам кадров и к пропускной способности сети для потока кадров.

Приоритезация трафика коммутаторами сегодня является одним из основных механизмов обеспечения качества транспортного обслуживания в локальных сетях. Это, естественно, не гарантированное качество обслуживания, а только механизм best effort - «с максимальными усилиями». К каким уровням задержек приводит приписывание того или иного уровня приоритета кадру, какую пропускную способность обеспечивает приоритет потоку кадров - схема приоритезации не говорит. Выяснить последствия ее применения можно только путем проведения натурных экспериментов или же с помощью имитационного моделирования. Ясно только одно - более приоритетные кадры будут обрабатываться раньше менее приоритетных, поэтому все показатели качества обслуживания у них будут выше, чем у менее приоритетных. Остается вопрос - насколько? Гарантии качества обслуживания дают другие схемы, которые основаны на предварительном резервировании качества обслуживания. Например, такие схемы

используются в технологиях глобальных сетей frame relay и ATM или в протоколе RSVP для сетей TCP/IP. Однако для коммутаторов такого рода протоколов нет, так что гарантий качества обслуживания они пока дать не могут.

Основным вопросом при приоритетной обработке кадров коммутаторами является вопрос назначения кадру приоритета. Так как не все протоколы канального уровня поддерживают поле приоритета кадра, например у кадров Ethernet оно отсутствует, то коммутатор должен использовать какой-либо дополнительный механизм для связывания кадра с его приоритетом. Наиболее распространенный способ - приписывание приоритета портам коммутатора. При этом способе коммутатор помещает кадр в очередь кадров соответствующего приоритета в зависимости от того, через какой порт поступил кадр в коммутатор. Способ несложный, но недостаточно гибкий - если к порту коммутатора подключен не отдельный узел, а сегмент, то все узлы сегмента получают одинаковый приоритет.

Многие компании, выпускающие коммутаторы, реализовали в них ту или иную схему приоритетной обработки кадров. Примером фирменного подхода к назначению приоритетов на основе портов является технология PACE компании 3Com.

Более гибким является назначение приоритетов кадрам в соответствии с достаточно новым стандартом IEEE 802.1p. Этот стандарт разрабатывался совместно со стандартом 802.10, который рассматривается в следующем разделе, посвященном виртуальным локальным сетям. В обоих стандартах предусмотрен общий дополнительный заголовок для кадров Ethernet, состоящий из двух байт. В этом дополнительном заголовке, который вставляется перед полем данных кадра, 3 бита используются для указания приоритета кадра. Существует протокол, по которому конечный узел может запросить у коммутатора один из восьми уровней приоритета кадра. Если сетевой адаптер не поддерживает стандарт 802.1p, то коммутатор может назначать приоритеты кадрам на основе порта поступления кадра. Такие помеченные кадры будут обслуживаться в соответствии с их приоритетом всеми коммутаторами сети, а не только тем коммутатором, который непосредственно принял кадр от конечного узла. При передаче кадра сетевому адаптеру, не поддерживающему стандарт 802.1p, дополнительный заголовок должен быть удален.

4.4.4. Виртуальные локальные сети

Кроме своего основного назначения - повышения пропускной способности связей в сети - коммутатор позволяет локализовывать потоки информации в сети, а также контролировать эти потоки и управлять ими, опираясь на механизм пользовательских фильтров. Однако пользовательский фильтр может запретить передачи кадров только по конкретным адресам, а широковещательный трафик он передает всем сегментам сети. Так требует алгоритм работы моста, который реализован в коммутаторе, поэтому сети, созданные на основе мостов и коммутаторов, иногда называют плоскими - из-за отсутствия барьеров на пути широковещательного трафика.

Технология *виртуальных локальных сетей* (*Virtual LAN, VLAN*), которая появилась несколько лет тому назад в коммутаторах, позволяет преодолеть указанное ограничение. Виртуальной сетью называется группа узлов сети, трафик которой, в том числе и широковещательный, на канальном уровне полностью изолирован от других узлов сети (рис. 4.39). Это означает, что передача кадров между разными виртуальными сетями на основании адреса канального уровня невозможна, независимо от типа адреса - уникального, группового или широковещательного. В то же время внутри виртуальной

сети кадры передаются по технологии коммутации, то есть только на тот порт, который связан с адресом назначения кадра. Виртуальные сети могут пересекаться, если один или несколько компьютеров входят в состав более чем одной виртуальной сети. На рис. 4.39 сервер электронной почты входит в состав 3 и 4 виртуальных сетей. Это значит, что его кадры передаются коммутаторами всем компьютерам, входящим в эти сети. Если же какой-то компьютер входит в состав только виртуальной сети 3, то его кадры до сети 4 доходить не будут, но он может взаимодействовать с компьютерами сети 4 через общий почтовый сервер. Такая схема не полностью защищает виртуальные сети друг от друга - так, широковещательный шторм, возникший на сервере электронной почты, захлестнет сеть 3 и сеть 4.

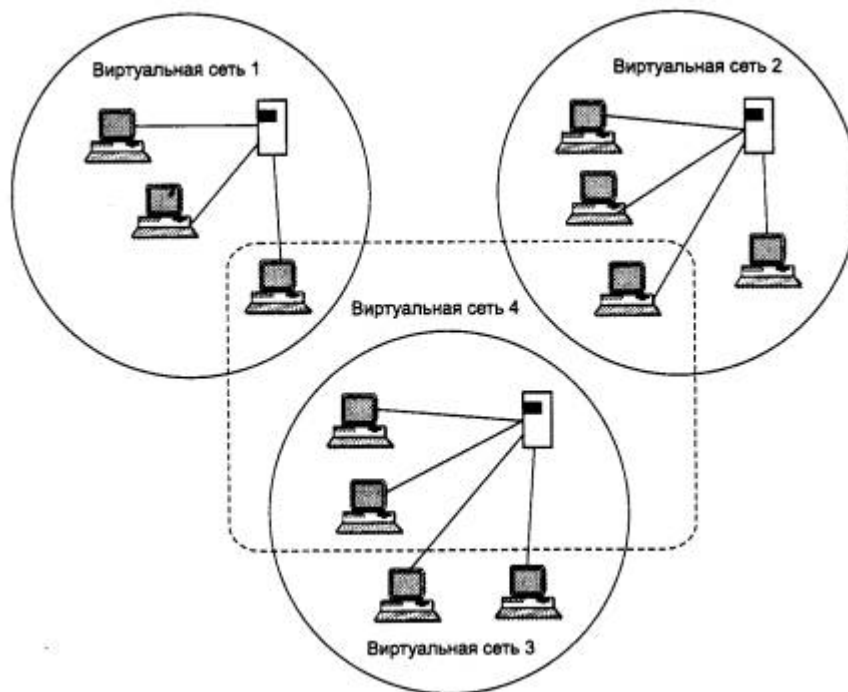


Рис. 4.39. Виртуальные сети

Говорят, что виртуальная сеть образует *домен широковещательного трафика (broadcast domain)*, по аналогии с доменом коллизий, который образуется повторителями сетей Ethernet.

Назначение технологии виртуальных сетей состоит в облегчении процесса создания изолированных сетей, которые затем должны связываться с помощью маршрутизаторов, реализующих какой-либо протокол сетевого уровня, например IP. Такое построение сети создает гораздо более мощные барьеры на пути ошибочного трафика из одной сети в другую. Сегодня считается, что любая крупная сеть должна включать маршрутизаторы, иначе потоки ошибочных кадров, например широковещательных, будут периодически затапливать всю сеть через прозрачные для них коммутаторы, приводя ее в неработоспособное состояние.

Технология виртуальных сетей создает гибкую основу для построения крупной сети, соединенной маршрутизаторами, так как коммутаторы позволяют создавать полностью изолированные сегменты программным путем, не прибегая к физической коммутации.

До появления технологии VLAN для создания отдельной сети использовались либо физически изолированные сегменты коаксиального кабеля, либо несвязанные между собой сегменты, построенные на повторителях и мостах. Затем эти сети связывались маршрутизаторами в единую составную сеть (рис. 4.40).

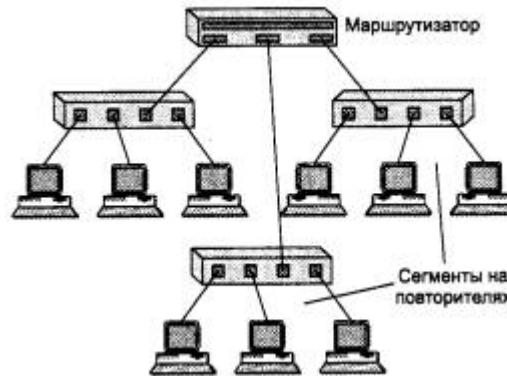


Рис. 4.40. Интерсеть, состоящая из сетей, построенных на основе повторителей

Изменение состава сегментов (переход пользователя в другую сеть, дробление крупных сегментов) при таком подходе подразумевает физическую перекоммутацию разъемов на передних панелях повторителей или в кроссовых панелях, что не очень удобно в больших сетях - много физической работы, к тому же высока вероятность ошибки.

Поэтому для устранения необходимости физической перекоммутации узлов стали применять многосегментные концентраторы, рассмотренные в разделе 4.2.2. Возникла возможность программировать состав разделяемого сегмента без физической перекоммутации.

Однако решение задачи изменения состава сегментов с помощью концентраторов накладывает большие ограничения на структуру сети - количество сегментов такого повторителя обычно невелико, поэтому выделить каждому узлу свой сегмент, как это можно сделать с помощью коммутатора, нереально. Кроме того, при таком подходе вся работа по передаче данных между сегментами ложится на маршрутизаторы, а коммутаторы со своей высокой производительностью остаются не у дел. Поэтому сети, построенные на основе повторителей с конфигурационной коммутацией, по-прежнему основаны на разделении среды передачи данных между большим количеством узлов, и, следовательно, обладают гораздо меньшей производительностью по сравнению с сетями, построенными на основе коммутаторов.

При использовании технологии виртуальных сетей в коммутаторах одновременно решаются две задачи:

- повышение производительности в каждой из виртуальных сетей, так как коммутатор передает кадры в такой сети только узлу назначения;
- изоляция сетей друг от друга для управления правами доступа пользователей и создания защитных барьеров на пути широковещательных штормов.

Для связи виртуальных сетей в общую сеть требуется привлечение сетевого уровня. Он может быть реализован в отдельном маршрутизаторе, а может работать и в составе программного обеспечения коммутатора, который тогда становится комбинированным

устройством - так называемым коммутатором 3-го уровня. Коммутаторы 3-го уровня рассматриваются в главе 5.

Технология образования и работы виртуальных сетей с помощью коммутаторов долгое время не стандартизировалась, хотя и была реализована в очень широком спектре моделей коммутаторов разных производителей. Такое положение изменилось после принятия в 1998 году стандарта IEEE 802.1Q, который определяет базовые правила построения виртуальных локальных сетей, не зависящие от протокола канального уровня, который поддерживает коммутатор.

В виду долгого отсутствия стандарта на VLAN каждый крупный производитель коммутаторов разработал свою технологию виртуальных сетей, которая, как правило, была несовместима с технологиями других производителей. Поэтому, несмотря на появление стандарта, можно не так уж редко встретить ситуацию, когда виртуальные сети, созданные на коммутаторах одного производителя, не распознаются и, соответственно, не поддерживаются коммутаторами другого производителя.

При создании виртуальных сетей на основе одного коммутатора обычно используется механизм группирования в сети портов коммутатора (рис. 4.41). При этом каждый порт приписывается той или иной виртуальной сети. Кадр, пришедший от порта, принадлежащего, например, виртуальной сети 1, никогда не будет передан порту, который не принадлежит этой виртуальной сети. Порт можно приписать нескольким виртуальным сетям, хотя на практике так делают редко - пропадает эффект полной изоляции сетей.

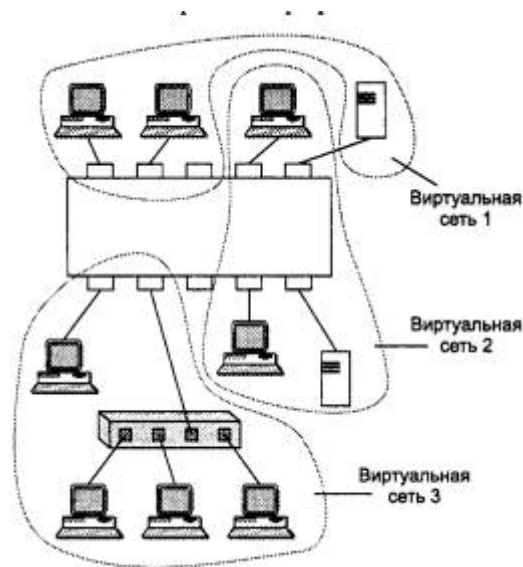


Рис. 4.41. Виртуальные сети, построенные на одном коммутаторе

Группировка портов для одного коммутатора - наиболее логичный способ образования VLAN, так как виртуальных сетей, построенных на основе одного коммутатора, не может быть больше, чем портов. Если к одному порту подключен сегмент, построенный на основе повторителя, то узлы такого сегмента не имеет смысла включать в разные виртуальные сети - все равно трафик этих узлов будет общим.

Создание виртуальных сетей на основе группирования портов не требует от администратора большого объема ручной работы - достаточно каждый порт приписать к одной из нескольких заранее поименованных виртуальных сетей. Обычно такая операция

выполняется с помощью специальной программы, прилагаемой к коммутатору. Администратор создает виртуальные сети путем перетаскивания мышью графических символов портов на графические символы сетей.

Второй способ образования виртуальных сетей основан на группировании MAC - адресов. Каждый MAC - адрес, который изучен коммутатором, приписывается той или иной виртуальной сети. При существовании в сети множества узлов этот способ требует выполнения большого количества ручных операций от администратора. Однако он оказывается более гибким при построении виртуальных сетей на основе нескольких коммутаторов, чем способ группирования портов.

Рисунок 4.42 иллюстрирует проблему, возникающую при создании виртуальных сетей на основе нескольких коммутаторов, поддерживающих технику группирования портов. Если узлы какой-либо виртуальной сети подключены к разным коммутаторам, то для соединения коммутаторов каждой такой сети должна быть выделена своя пара портов. В противном случае, если коммутаторы будут связаны только одной парой портов, информация о принадлежности кадра той или иной виртуальной сети при передаче из коммутатора в коммутатор будет утеряна. Таким образом, коммутаторы с группировкой портов требуют для своего соединения столько портов, сколько виртуальных сетей они поддерживают. Порты и кабели используются при таком способе очень расточительно. Кроме того, при соединении виртуальных сетей через маршрутизатор для каждой виртуальной сети выделяется в этом случае отдельный кабель и отдельный порт маршрутизатора, что также приводит к большим накладным расходам.

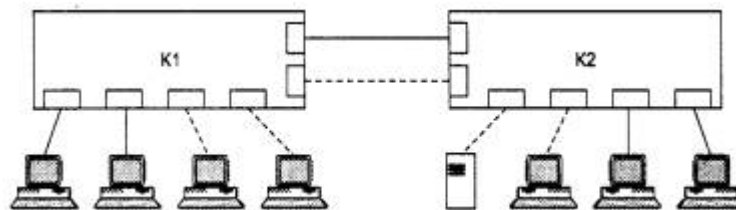


Рис. 4.42. Построение виртуальных сетей на нескольких коммутаторах с группировкой портов

Группирование MAC - адресов в виртуальную сеть на каждом коммутаторе избавляет от необходимости их связи несколькими портами, так как в этом случае MAC - адрес является меткой виртуальной сети. Однако этот способ требует выполнения большого количества ручных операций по маркировке MAC - адресов на каждом коммутаторе сети.

Описанные два подхода основаны только на добавлении дополнительной информации к адресным таблицам моста, и в них отсутствует возможность встраивания информации о принадлежности кадра к виртуальной сети в передаваемый кадр. Остальные подходы используют имеющиеся или дополнительные поля кадра для сохранения информации и принадлежности кадра при его перемещениях между коммутаторами сети. При этом нет необходимости запоминать в каждом коммутаторе принадлежность всех MAC - адресов интерсети виртуальным сетям.

Дополнительное поле с пометкой о номере виртуальной сети используется только тогда, когда кадр передается от коммутатора к коммутатору, а при передаче кадра конечному узлу оно удаляется. При этом модифицируется протокол взаимодействия «коммутатор - коммутатор», а программное и аппаратное обеспечение конечных узлов остается

неизменным. Примеров таких фирменных протоколов много, но общий недостаток у них один - они не поддерживаются другими производителями. Компания Cisco предложила в качестве стандартной добавки к кадрам любых протоколов локальных сетей заголовок протокола 802.1Q, предназначенного для поддержки функций безопасности вычислительных сетей. Сама компания использует этот метод в тех случаях, когда коммутаторы объединяются между собой по протоколу FDDI. Однако эта инициатива не была поддержана другими ведущими производителями коммутаторов.

Для хранения номера виртуальной сети в стандарте IEEE 802.1Q предусмотрен тот же дополнительный заголовок, что и стандарт 802.1p. Помимо 3-х бит для хранения приоритета кадра, описанных стандартом 802.1p, в этом заголовке 12 бит используются для хранения номера VLAN, к которой принадлежит кадр. Эта дополнительная информация позволяет коммутаторам разных производителей создавать до 4096 общих виртуальных сетей. Чтобы кадр Ethernet не увеличивался в объеме, при добавлении заголовка 802.1p/Q поле данных уменьшается на 2 байта.

Существуют два способа построения виртуальных сетей, которые используют уже имеющиеся поля для маркировки принадлежности кадра виртуальной сети, однако эти поля принадлежат не кадрам канальных протоколов, а пакетам сетевого уровня или ячейкам технологии ATM.

В первом случае виртуальные сети образуются на основе сетевых адресов, например адресов IP, то есть той же информации, которая используется при построении интерсетей традиционным способом. Этот эффективный способ работает тогда, когда коммутаторы поддерживают не только протоколы канального уровня, но и протоколы сетевого уровня, то есть являются комбинированными коммутаторами - маршрутизаторами, что бывает далеко не всегда.

Во втором случае виртуальные сети организуются с помощью виртуальных путей в ATM - сетях.

4.4.5. Типовые схемы применения коммутаторов в локальных сетях

Сочетание коммутаторов и концентраторов

При построении небольших сетей, составляющих нижний уровень иерархии корпоративной сети, вопрос о применении того или иного коммуникационного устройства сводится к вопросу о выборе между концентратором или коммутатором.

При ответе на этот вопрос нужно принимать во внимание несколько факторов. Безусловно, немаловажное значение имеет стоимость в пересчете за порт, которую нужно заплатить при выборе устройства. Из технических соображений в первую очередь нужно принять во внимание существующее распределение трафика между узлами сети. Кроме того, нужно учитывать перспективы развития сети: будут ли в скором времени применяться мультимедийные приложения, будет ли модернизироваться компьютерная база. Если да, то нужно уже сегодня обеспечить резервы по пропускной способности применяемого коммуникационного оборудования. Использование технологии intranet также ведет к увеличению объемов трафика, циркулирующего в сети, и это также необходимо учитывать при выборе устройства.

При выборе типа устройства - концентратор или коммутатор - нужно еще определить и тип протокола, который будут поддерживать его порты (или протоколов, если идет речь о коммутаторе, так как каждый порт может поддерживать отдельный протокол).

Сегодня выбор делается между протоколами трех скоростей - 10, 100 и 1000 Мбит/с. Поэтому, сравнивая применимость концентратора или коммутатора, необходимо рассмотреть варианты концентратора с портами на 10, 100 и 1000 Мбит/с, а также несколько вариантов коммутаторов с различными комбинациями скоростей на портах.

Рассмотрим для примера вопрос о применимости коммутатора в сети с одним сервером и несколькими рабочими станциями, взаимодействующими только с сервером (рис. 4.43). Такая конфигурация сети часто встречается в сетях масштаба рабочей группы, особенно в сетях NetWare, где стандартные клиентские оболочки не могут взаимодействовать друг с другом.

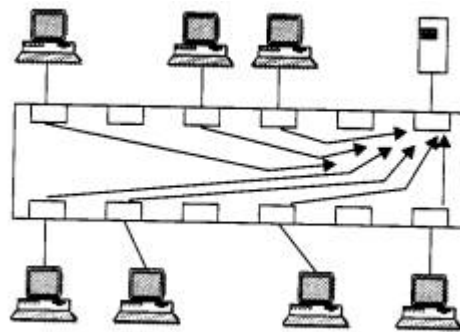


Рис. 4.43. Сеть с выделенным сервером

Если коммутатор имеет все порты с одинаковой пропускной способностью, например 10 Мбит/с, в этом случае пропускная способность порта в 10 Мбит/с будет распределяться между всеми компьютерами сети. Возможности коммутатора по повышению общей пропускной способности сети оказываются для такой конфигурации невостребованными. Несмотря на микросегментацию сети, ее пропускная способность ограничивается пропускной способностью протокола одного порта, как и в случае применения концентратора с портами 10 Мбит/с. Небольшой выигрыш при использовании коммутатора будет достигаться лишь за счет уменьшения количества коллизий - вместо коллизий кадры будут просто попадать в очередь к передатчику порта коммутатора, к которому подключен сервер.

Чтобы коммутатор работал в сетях с выделенным сервером более эффективно, производители коммутаторов выпускают модели с одним высокоскоростным портом на 100 Мбит/с для подключения сервера и несколькими низкоскоростными портами на 10 Мбит/с для подключения рабочих станций. В этом случае между рабочими станциями распределяется уже 100 Мбит/с, что позволяет обслуживать в неблокирующем режиме 10-30 станций в зависимости от интенсивности создаваемого ими трафика.

Однако с таким коммутатором может конкурировать концентратор, поддерживающий протокол с пропускной способностью 100 Мбит/с, например Fast Ethernet. Его стоимость в пересчете за порт будет несколько ниже стоимости за порт коммутатора с одним высокоскоростным портом, а производительность сети примерно та же.

Очевидно, что выбор коммуникационного устройства для сети с выделенным сервером достаточно сложен. Для принятия окончательного решения нужно принимать во внимание перспективы развития сети в отношении движения к сбалансированному трафику. Если в сети вскоре может появиться взаимодействие между рабочими станциями или же второй сервер, то выбор необходимо делать в пользу коммутатора, который сможет поддерживать дополнительный трафик без ущерба по отношению к основному.

В пользу коммутатора может сыграть и фактор расстояний - применение коммутаторов не ограничивает максимальный диаметр сети величинами в 2500 м или 210 м, которые определяют размеры домена коллизий при использовании концентраторов Ethernet и Fast Ethernet.

В целом существует тенденция постепенного вытеснения концентраторов коммутаторами, которая наблюдается примерно с 1996 года, который был назван весьма авторитетным журналом Data Communications «годом коммутаторов» в ежегодном прогнозе рынка сетевого оборудования.

Стянутая в точку магистраль на коммутаторе

При всем разнообразии структурных схем сетей, построенных на коммутаторах, все они используют две базовые структуры - стянутую в точку магистраль и распределенную магистраль. На основе этих базовых структур затем строятся разнообразные структуры конкретных сетей.

Стянутая в точку магистраль (collapsed backbone) - это структура, при которой объединение узлов, сегментов или сетей происходит на внутренней магистрали коммутатора. Пример сети рабочей группы такой структуры приведен на рис. 4.44.



Рис. 4.44. Структура сети со стянутой в точку магистралью

Преимуществом такой структуры является высокая производительность магистрали. Так как для коммутатора производительность внутренней шины или схемы общей памяти, объединяющей модули портов, в несколько гигабит в секунду не является редкостью, то магистраль сети может быть весьма быстродействующей, причем ее скорость не зависит от применяемых в сети протоколов и может быть повышена с помощью замены одной модели коммутатора на другую.

Положительной чертой такой схемы является не только высокая скорость магистрали, но и ее протокольная независимость. На внутренней магистрали коммутатора в независимом формате одновременно могут передаваться данные различных протоколов, например

Ethernet, FDDI и Fast Ethernet, как это изображено на рис. 4.44 Подключение нового узла с новым протоколом часто требует не замены коммутатора, а просто добавления соответствующего интерфейсного модуля, поддерживающего этот протокол.

Если к каждому порту коммутатора в такой схеме подключен только один узел, то такая схема будет соответствовать микросегментированной сети.

Распределенная магистраль на коммутаторах

В сетях больших зданий или кампусов структура с коллапсированной магистралью не всегда рациональна или возможна. Такая структура приводит к протяженным кабельным системам, связывающим конечные узлы или коммутаторы сетей рабочих групп с центральным коммутатором, шина которого и является магистралью сети. Высокая плотность кабелей и их высокая стоимость ограничивают применение стянутой в точку магистрали в таких сетях. Иногда, особенно в сетях кампусов, просто невозможно стянуть все кабели в одно помещение из-за ограничений на длину связей, накладываемых технологией (например, все реализации технологий локальных сетей на витой паре ограничивают протяженность кабелей в 100 м).

Поэтому в локальных сетях, покрывающих большие территории, часто используется другой вариант построения сети - с распределенной магистралью. Пример такой сети приведен на рис. 4.45.

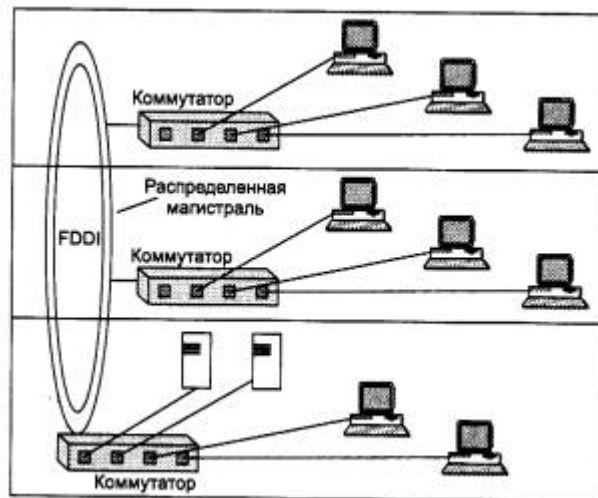


Рис. 4.45. Структура сети с распределенной магистралью

Распределенная магистраль - это разделяемый сегмент сети, поддерживающий определенный протокол, к которому присоединяются коммутаторы сетей рабочих групп и отделов. На примере распределенная магистраль построена на основе двойного кольца FDDI, к которому подключены коммутаторы этажей. Коммутаторы этажей имеют большое количество портов Ethernet, трафик которых транслируется в трафик протокола FDDI, когда он передается по магистрали с этажа на этаж.

Распределенная магистраль упрощает связи между этажами, сокращает стоимость кабельной системы и преодолевает ограничения на расстояния.

Однако скорость магистрали в этом случае будет существенно ниже скорости магистрали на внутренней шине коммутатора. Причем скорость эта фиксированная и в настоящее время чаще всего не превышает 100 Мбит/с. Поэтому распределенная магистраль может применяться только при невысокой интенсивности трафика между этажами или зданиями. Широкое распространение в недалеком будущем технологии Gigabit Ethernet может снять это ограничение, что очень положительно скажется на структуре крупных сетей.

Пример на рис. 4.45 демонстрирует сочетание двух базовых структур, так как на каждом этаже сеть построена с использованием магистрали на внутренней шине коммутатора.

Выводы

- Коммутаторы связывают процессоры портов по трем основным схемам - коммутационная матрица, общая шина и разделяемая память. В коммутаторах с фиксированным количеством портов обычно используется коммутационная матрица, а в модульных коммутаторах - сочетание коммутационной матрицы в отдельных модулях с общей шиной и разделяемой памятью для связи модулей.
- Для поддержания неблокирующего режима работы коммутатора общая шина или разделяемая память должны обладать производительностью, превышающей сумму производительностей всех портов максимально высокоскоростного набора модулей, которые устанавливаются в шасси.
- Основными характеристиками производительности коммутатора являются: скорость фильтрации кадров, скорость продвижения кадров, общая пропускная способность по всем портам в мегабитах в секунду, задержка передачи кадра.
- На характеристики производительности коммутатора влияют: тип коммутации - «на лету» или с полной буферизацией, размер адресной таблицы, размер буфера кадров.
- Для автоматического поддержания резервных связей в сложных сетях в коммутаторах реализуется алгоритм покрывающего дерева - Spanning Tree Algorithm. Этот алгоритм основан на периодической генерации служебных кадров, с помощью которых выявляются и блокируются петлевидные связи в сети.
- Коммутаторы могут объединять сегменты разных технологий локальных сетей, транслируя протоколы канального уровня в соответствии со спецификацией IEEE 802.1Н. Единственным ограничением трансляции является использование MTU одного размера в соединяемых сегментах.
- Коммутаторы поддерживают разнообразные пользовательские фильтры, основанные на MAC - адресах, а также на содержимом полей протоколов верхних уровней. В последнем случае администратор должен выполнить большой объем ручной работы по заданию положения поля относительно начала кадра и его требуемому значению. Обычно фильтры допускают комбинацию нескольких условий с помощью логических операторов AND и OR.
- Коммутаторы обеспечивают поддержку качества обслуживания с помощью приоритетной обработки кадров. Стандарт 802.1p определяет дополнительное поле, состоящее из 3 бит, для хранения приоритета кадра независимо от технологии сети.
- Технология виртуальных локальных сетей (VLAN) позволяет в сети, построенной на коммутаторах, создать изолированные группы узлов, между которыми не передается любой тип трафика, в том числе и широковещательный. Виртуальные сети являются основой для создания крупных маршрутизируемых сетей и имеют преимущество перед физически изолированными сегментами гибкостью состава, изменяемого программным путем.

- В последнее время наблюдается отчетливая тенденция вытеснения коммутаторами концентраторов с нижних уровней крупных сетей.
- Существуют две основные схемы применения коммутаторов: со стянутой в точку магистралью и с распределенной магистралью. В больших сетях эти схемы применяют комбинированно.

Вопросы и упражнения

1. Что такое структурированная кабельная система?
2. Укажите в таблице применимость того или иного типа кабеля для разных подсистем.

Данные	Горизонтальная подсистема	Вертикальная подсистема	Подсистема кампуса
Неэкранированная витая пара			
Экранированная витая пара			
Толстый коаксиальный кабель			
Тонкий коаксиальный кабель			
Оптоволоконный кабель			
Беспроводная связь			

3. Что означает термин backbone?
4. Как влияет на производительность сети пропускная способность сетевого адаптера и пропускная способность порта концентратора?
5. Имеются ли отличия в работе сетевых адаптеров, соединяющих компьютер с коммутатором или с мостом, или с концентратором?
6. Как концентратор поддерживает резервные связи?
7. В соответствии с основной функцией концентратора - повторением сигнала - его относят к устройствам, работающим на физическом уровне модели OSI. Приведите примеры дополнительных функций концентратора, для выполнения которых концентратору требуется информация протоколов более высоких уровней?
8. Чем модульный концентратор отличается от стекового?
9. Почему для соединения концентраторов между собой используются специальные порты?
10. Каким образом мост/коммутатор строит свою внутреннюю таблицу?
11. Что случится, если во время работы моста/коммутатора произойдет реконфигурация сети, например будут подключены новые компьютеры?
12. О чем говорит размер внутренней адресной таблицы моста? Что произойдет, если таблица переполнится?
13. Можно ли утверждать, что у любого моста скорости продвижения не выше скорости фильтрации?
14. Что нужно сделать администратору сети, чтобы мосты, не поддерживающие алгоритм Spanning Tree, правильно работали в сети с петлями?
15. Что произойдет, если в сети, построенной на концентраторах, имеются замкнутые контуры (например, как на рис. 4.46)?

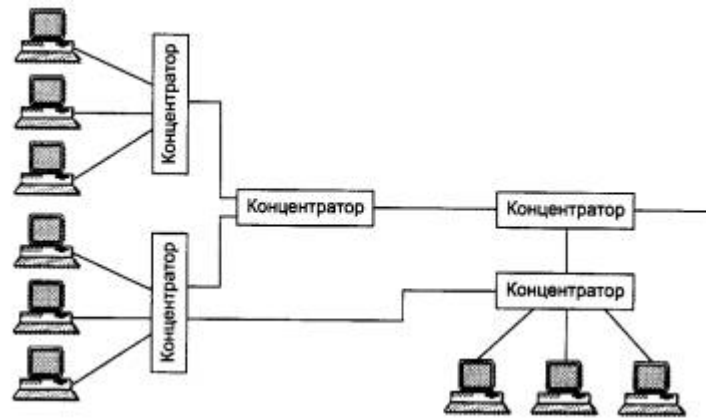


Рис. 4.46. Сеть с петлями, построенная на концентраторах

- А. сеть будет работать нормально;
 - В. кадры не будут доходить до адресата;
 - С. в сети при передаче любого кадра будет возникать коллизия;
 - Д. произойдет заикливание кадров.
16. Какие дополнительные возможности имеют мосты, поддерживающие алгоритм Spanning Tree?
17. В чем отличие между резервированием связей маршрутизаторами, с одной стороны, и мостами, поддерживающими алгоритм Spanning Tree, с другой стороны?
18. Пусть на предприятии имеются две изолированные рабочие группы, в каждой из которых имеется свой сервер. В каких случаях лучше использовать:
- два отдельных концентратора?
 - два концентратора, объединенные в стек?
 - один общий концентратор с большим количеством портов?
19. Пусть на предприятии в одном отделе установлена одноранговая сеть Windows 95, а в другом отделе - сеть NetWare с одним выделенным сервером. Каждая из сетей построена на основе одного концентратора. Как вы считаете, в каком отделе замена концентратора коммутатором может привести к существенному росту производительности? Рассмотрите следующие варианты замены концентратора на коммутатор:
- . концентратор имеет порты 10 Мбит/с, коммутатор имеет все порты 10 Мбит/с;
 - А. концентратор имеет порты 10 Мбит/с, коммутатор имеет порты 10 Мбит/с и 1 порт 100 Мбит/с;
 - В. концентратор имеет порты 100 Мбит/с, коммутатор имеет все порты 100 Мбит/с.
20. В области сетевых технологий явно наметилась тенденция к использованию индивидуальных связей компьютеров с коммуникационными устройствами (в отличие от подключения к портам сегментов). С чем это связано?
21. Почему полнодуплексный Ethernet не поддерживается в концентраторах?
22. Каким образом коммутатор может управлять потоком пакетов, поступающих от сетевых адаптеров станций сети?
23. Существуют маршрутизаторы, работающие в режиме моста на некоторых портах. Как вы думаете, можно ли создать маршрутизатор или коммутатор, который способен работать в режиме концентратора на тех же портах, на которых выполняется маршрутизация?