

Александр Александрович Олейников

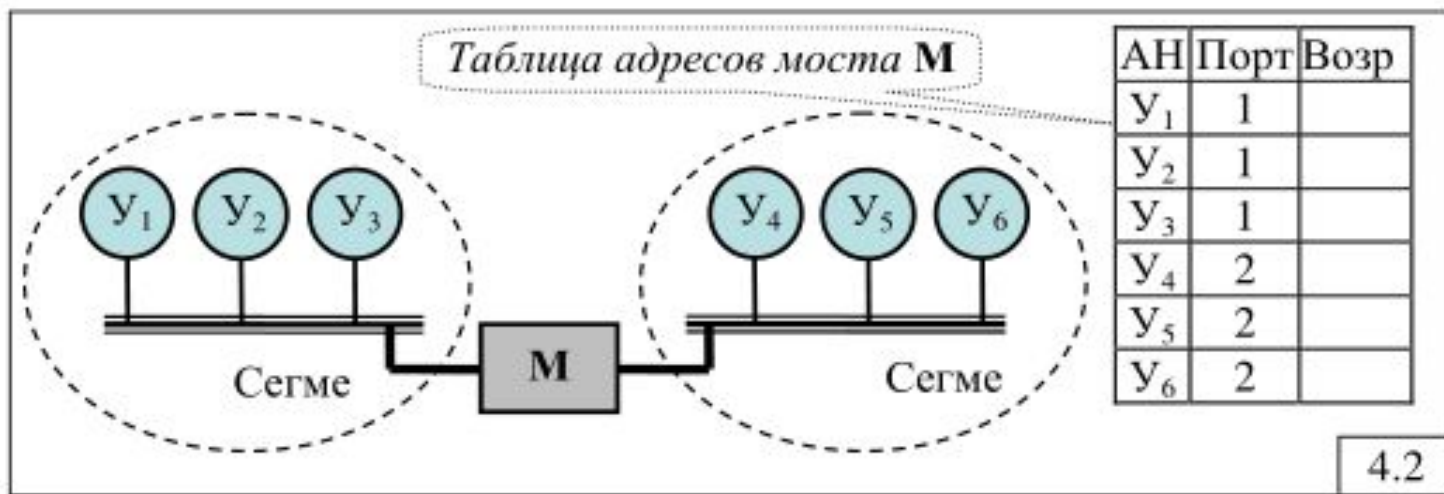
Компьютерные и телекоммуникационные сети

Лекция 1.4.7. Мосты. Прозрачные мосты. Транслирующие и инкапсулирующие мосты.

Астрахань, 2018

МОСТЫ

- **Мост** - простейшее сетевое устройство, объединяющее локальные или удаленные сегменты и регулирующее прохождение кадров между ними. Подсоединенные к мосту сегменты образуют логически единую сеть, в которой любая станция может использовать сетевые ресурсы, как своего сегмента, так и всех доступных через мост сегментов (рис.4.2).



Мост работает на *подуровне* МАС второго канального уровня и прозрачен для протоколов более высоких уровней, то есть принимает решение о передаче кадра из одного сегмента в другой на основании физического адреса (МАС-адреса) станции назначения. Для этого мост формирует **таблицу адресов (ТА)**, которая содержит (рис.4.2):

- ▶ список МАС-адресов (адресов назначения, АН) станций, подключенных к мосту;
- ▶ направление (порт), к которому станция подключена;
- ▶ "возраст" с момента последнего обновления этой записи.

Так как кадры, предназначенные для станции того же сегмента, не передаются через мост, трафик локализуется в пределах сегментов, что снижает нагрузку на сеть и повышает информационную безопасность. В отличие от повторителя, который действует на физическом уровне и всего лишь повторяет и восстанавливает сигналы, мост *анализирует целостность кадров и фильтрует кадры*, в том числе испорченные.

- ▶ Мосты не нагружают работой остальные сетевые устройства - они находятся в одной большой сети с единым сетевым адресом и разными MAC-адресами.
- ▶ Для получения информации о местоположении станций мосты изучают адреса станций, читая адреса всех проходящих через них кадров. При получении кадра мост сравнивает адрес назначения с адресами в ТА и, если такого адреса нет, то мост передает кадр по всем направлениям (кроме отправителя кадра). Такой процесс передачи называется "затоплением" (flooding). Если мост находит в ТА адрес назначения, то он сравнивает номер порта из ТА с номером порта, по которому пришёл кадр. Их совпадение означает, что адреса отправителя и получателя расположены в одном сегменте сети, следовательно, кадр не надо транслировать, и мост его игнорирует. Если же адреса отправителя и получателя расположены в разных сегментах, мост отправляет кадр в нужный сегмент сети.

Достоинствами мостов являются:

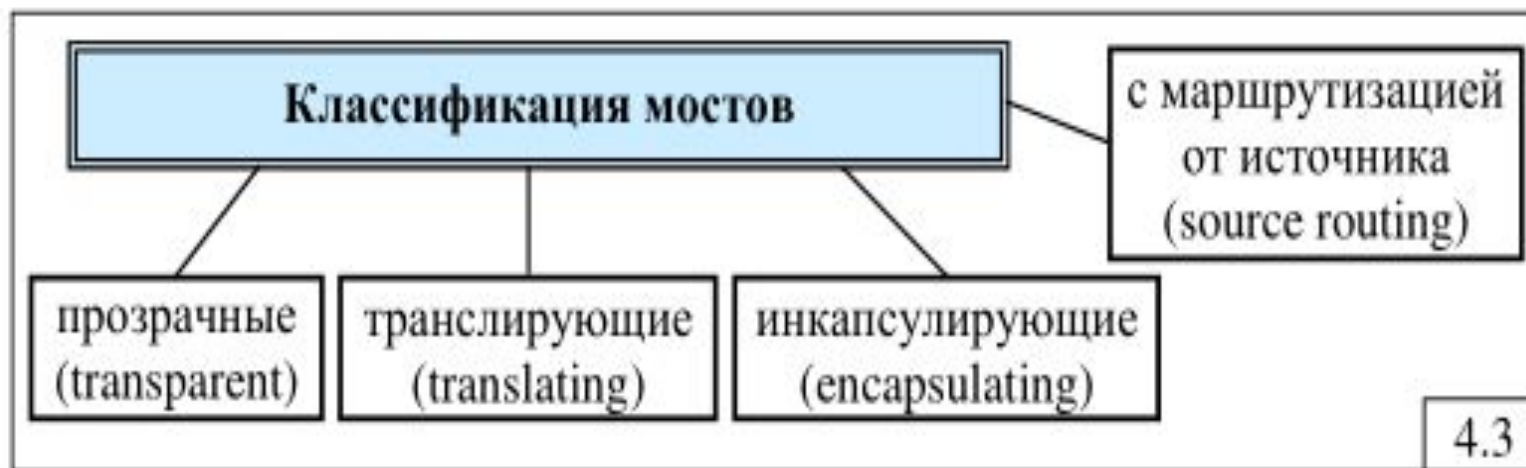
- ▶ относительная простота и дешевизна объединения ЛВС;
- ▶ "местные" (локальные) кадры остаются в данном сегменте и не загружают дополнительно другие сегменты;
- ▶ присутствие мостов прозрачно для пользователей;
- ▶ мосты автоматически адаптируются к изменениям конфигурации сети;
- ▶ мосты могут объединять сети, работающие с разными протоколами сетевого уровня;
- ▶ ЛВС, объединенные мостами, образуют логически единую сеть, т. е. все сегменты имеют один и тот же сетевой адрес; поэтому перемещение компьютера из одного сегмента в другой не требует изменения его сетевого адреса;
- ▶ мосты, благодаря простой архитектуре, являются недорогими устройствами.

Недостатки состоят в следующем:

- ▶ дополнительная задержка кадров в мостах;
- ▶ не могут использовать альтернативные пути; из возможных путей всегда выбирается один, остальные - блокируются;
- ▶ могут способствовать значительным всплескам трафика в сети, например, при передаче кадра, адрес которого еще не содержится в таблице моста; такие кадры передаются во все сегменты;
- ▶ не могут предотвращать "широковещательные штормы";
- ▶ не имеют средств для изоляции ошибочно функционирующих сегментов.

Существуют мосты четырех основных типов (рис.4.3):

- прозрачные (transparent);
- транслирующие (translating);
- инкапсулирующие (encapsulating);
- ▶ с маршрутизацией от источника (source routing).



Прозрачные мосты

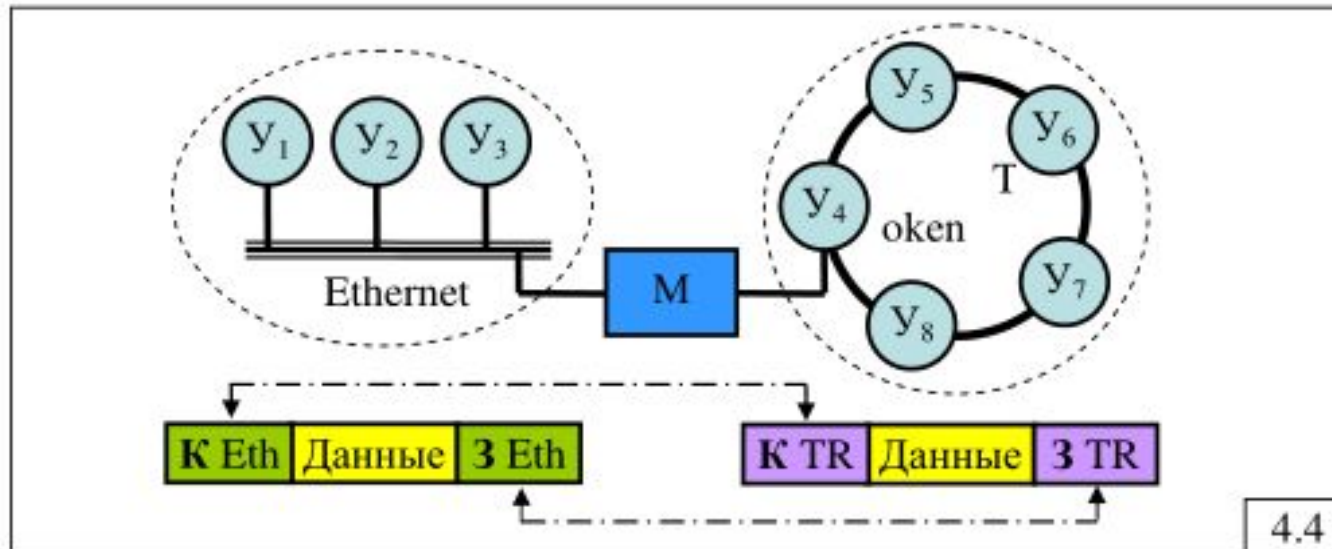
- ▶ **Прозрачные мосты** (transparent bridges) предназначены для объединения сетей с *идентичными протоколами* на канальном и физическом уровнях, например, Ethernet-Ethernet, Token Ring-Token Ring.
- ▶ Прозрачный мост является самообучающимся устройством: в процессе работы для каждого подключенного сегмента автоматически строит таблицу адресов с адресами станций, находящихся в сегменте.

Алгоритм функционирования моста:

- ▶ прием поступающего кадра в буфер моста;
- ▶ анализ адреса отправителя (АО) и его поиск в таблице адресов
- ▶ если АО отсутствует в ТА, то этот адрес и номер порта, по которому поступил кадр, заносятся в ТА;
- ▶ анализ адреса получателя (АП) и его поиск в ТА;
- ▶ если АП найден в ТА, и он принадлежит тому же сегменту, что и АО (т.е. номер выходного порта совпадает с номером входного порта), кадр удаляется из буфера;
- ▶ если АП найден в ТА, и он принадлежит другому сегменту, кадр передается в этот сегмент (на соответствующий порт);
- ▶ если АП отсутствует в ТА, то кадр передается во все сегменты, кроме того сегмента, из которого он поступил.

Транслирующие мосты

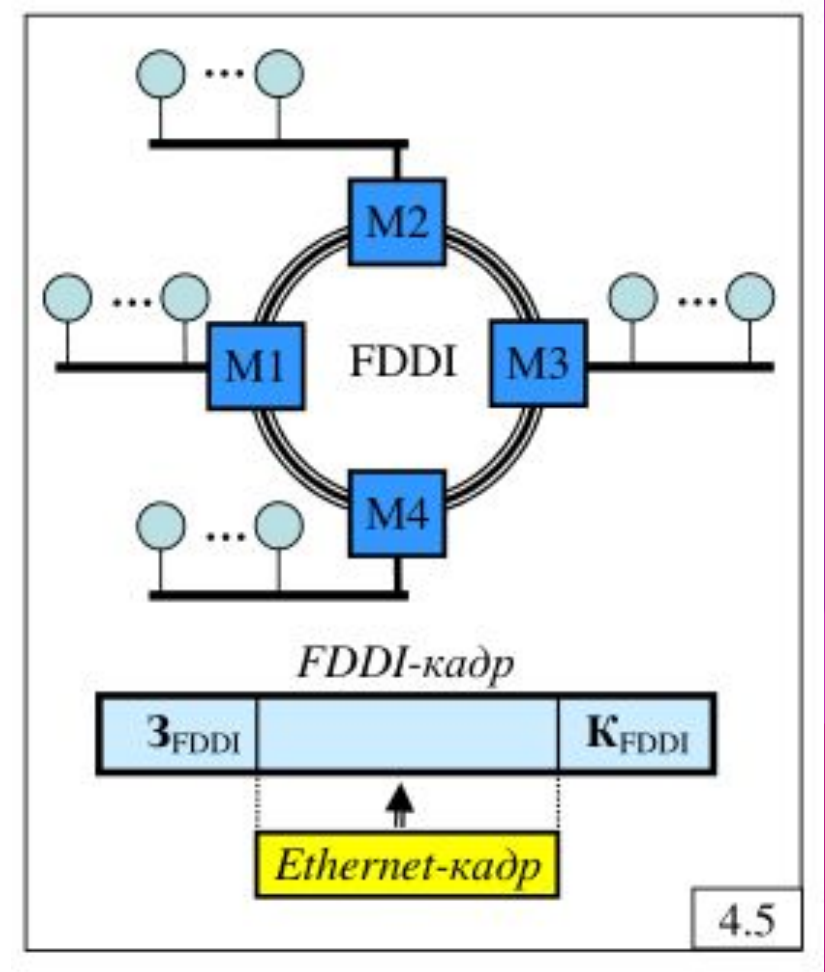
- ▶ **Транслирующие мосты** (translating bridges) предназначены для объединения сетей с *разными протоколами* на канальном и физическом уровнях, например, Ethernet и Token Ring (рис.4.4).



- ▶ Транслирующие мосты объединяют сети путем манипулирования "конвертами": при передаче кадра из сети Ethernet в сеть TokenRing осуществляется замена заголовка (З Eth) и концевика (К Eth) Ethernet- кадра на заголовок (З TR) и концевик (К TR) TokenRing-кадра и наоборот. Поскольку в разных сетях используются кадры разной длины, а транслирующий мост не может разбивать кадры на части, то каждое сетевое устройство должно быть сконфигурировано для передачи кадров одинаковой длины.

Инкапсулирующие мосты

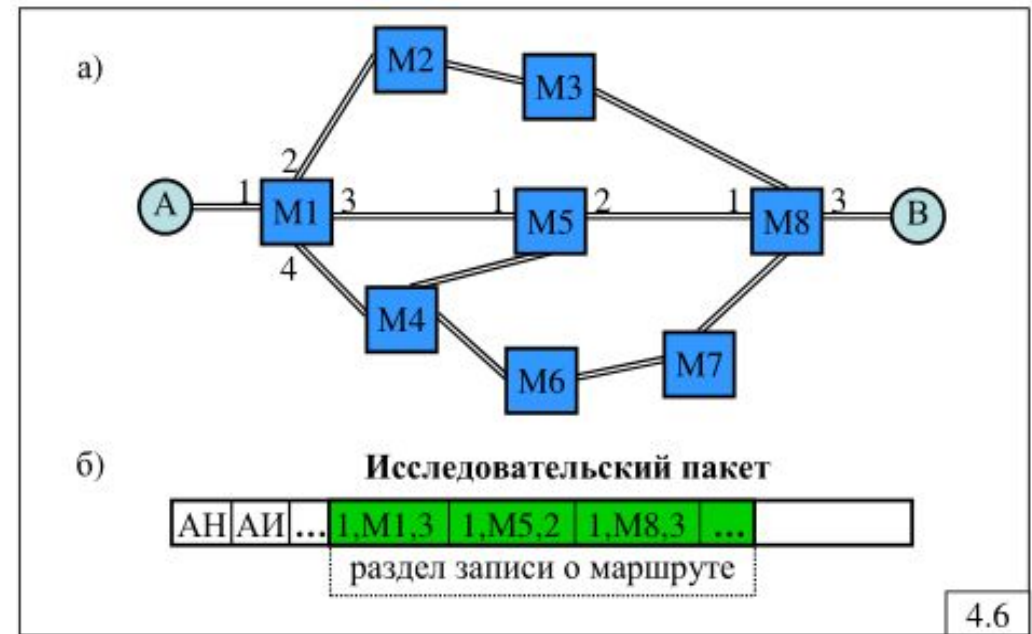
- ▶ **Инкапсулирующие мосты** предназначены для объединения сетей с одинаковыми протоколами канального и физического уровня через высокоскоростную магистральную сеть с другими протоколами, например 10-мегабитные сети Ethernet, объединяемые сетью FDDI (рис.4.5).



- ▶ В отличие от транслирующих мостов, которые преобразуют "конверты" одного типа в другой, инкапсулирующие мосты вкладывают полученные кадры вместе с заголовком и концевиком в другой "конверт" (см. рис.4.5), который используется в магистральной сети (отсюда термин "инкапсуляция") и передает его по этой магистрали другим мостам для доставки к узлу назначения. Конечный мост извлекает Ethernet-кадр из FDDI-кадра и передаёт его в сегмент, в котором находится адресат. Длина поля данных FDDI-кадра достаточна для размещения Ethernet-кадра максимальной длины.

Мосты с маршрутизацией от

- ▶ **Мосты с маршрутизацией от источника** (source routing bridges) функционируют на основе информации, формируемой станцией, посылающей кадр, и хранимой в конверте кадра. В этом случае мостам не требуется иметь базу данных с адресами.
- ▶ Каждое сетевое устройство определяет путь к адресату через процесс, называемый "*обнаружение маршрута*" (route discovery).
- ▶ Упрощенно принцип обнаружения маршрута можно проиллюстрировать на следующем примере (рис.4.6).



- ▶ Устройство-источник инициализирует обнаружение маршрута, посылая специальный кадр (рис.4.6,б), называемый "*исследовательским*" (explorer). Исследовательские кадры используют специальный конверт, распознаваемый мостами с маршрутизацией от источника. При получении такого кадра каждый мост в специально отведенное в кадре место - *поле записи о маршруте* (routing information field), заносит следующие данные: номер входного порта, с которого был получен кадр, идентификатор моста (M_i) и номер выходного порта, например: 1, M_1 ,3 (см. рис.4.6,б). Далее мост передает этот кадр по всем направлениям, исключая то, по которому кадр был получен.

- ▶ В итоге, станция назначения получает несколько исследовательских кадров, число которых определяется числом возможных маршрутов. Станция назначения выбирает один из маршрутов (самый быстрый, самый короткий или другой) и посылает ответ станции-источнику. В ответе содержится информация о маршруте, по которому должны послаться все кадры. Станция-отправитель запоминает маршрут и использует его всегда для отправки кадров в станцию назначения. Эти кадры при отправке вкладываются в специальные конверты, понятные для мостов с маршрутизацией от источника. Мосты, получая эти конверты, находят соответствующую запись в списке маршрутов и передают кадр по нужному направлению.
- ▶ Маршрутизация от источника используется мостами в сетях Token Ring для передачи кадров между разными кольцами.

Принципы объединения сетей на основе протоколов сетевого уровня.

В стандартной модели взаимодействия открытых систем в функции сетевого уровня входит решение следующих задач:

- ▶ передача пакетов между конечными узлами в составных сетях;
- ▶ выбор маршрута передачи пакетов, наилучшего по некоторому критерию;
- ▶ согласование разных протоколов канального уровня, использующихся в отдельных подсетях одной составной сети.
- ▶ Протоколы сетевого уровня реализуются, как правило, в виде программных модулей и выполняются на конечных узлах-компьютерах, называемых хостами, а также на промежуточных узлах-маршрутизаторах, называемых шлюзами. Функции маршрутизаторов могут выполнять как специализированные устройства, так и универсальные компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

Ограничения мостов и коммутаторов.

- ▶ Создание сложной, структурированной сети, интегрирующей различные базовые технологии, может осуществляться и средствами канального уровня: для этого могут быть использованы некоторые типы мостов и коммутаторов. Мост или коммутатор разделяет сеть на сегменты, локализуя трафик внутри сегмента, что делает линии связи разделяемыми преимущественно между станциями данного сегмента. Тем самым сеть распадается на отдельные подсети, из которых могут быть построены составные сети достаточно крупных размеров.
- ▶ Однако построение сложных сетей только на основе повторителей, мостов и коммутаторов имеет существенные ограничения и недостатки.

- ▶ Во-первых, в топологии получившейся сети должны *отсутствовать петли*. Действительно, мост/коммутатор может решать задачу доставки пакета адресату только тогда, когда между отправителем и получателем существует единственный путь. В то же время наличие избыточных связей, которые и образуют петли, часто необходимо для лучшей балансировки нагрузки, а также для повышения надежности сети за счет образования резервных путей.

- ▶ Во-вторых, логические сегменты сети, расположенные между мостами или коммутаторами, слабо изолированы друг от друга, а именно не защищены от так называемых широковещательных штормов. Если какая-либо станция посылает широковещательное сообщение, то это сообщение передается всем станциям всех логических сегментов сети. Защита от широковещательных штормов в сетях, построенных на основе мостов и коммутаторов, имеет количественный, а не качественный характер: администратор просто ограничивает количество широковещательных пакетов, которое разрешается генерировать некоторому узлу в единицу времени. Использование же механизма виртуальных сетей, реализованного во многих коммутаторах, хотя и позволяет достаточно гибко создавать изолированные по трафику группы станций, но при этом изолирует их полностью, так что узлы одной виртуальной сети не могут взаимодействовать с узлами другой виртуальной сети.

- ▶ В-третьих, в сетях, построенных на основе мостов и коммутаторов, достаточно сложно решается задача управления трафиком на основе значения данных, содержащихся в пакете. В таких сетях это возможно только с помощью пользовательских фильтров, для задания которых администратору приходится иметь дело с двоичным представлением содержимого пакетов.

- ▶ В-четвертых, реализация транспортной подсистемы только средствами физического и канального уровней, к которым относятся мосты и коммутаторы, приводит к недостаточно гибкой, одноуровневой системе адресации: в качестве адреса назначения используется MAC-адрес, жестко связанный с сетевым адаптером.

- ▶ Наконец, возможностью трансляции протоколов канального уровня обладают далеко не все типы мостов и коммутаторов, к тому же эти возможности ограничены. В частности, в объединяемых сетях должны совпадать максимально допустимые размеры полей данных в кадрах, так как мостами и коммутаторами не поддерживается функция фрагментации кадров.

Наличие серьезных ограничений у протоколов канального уровня показывает что построение на основе средств этого уровня больших неоднородных сетей является весьма проблематичным. Естественное решение в этих случаях — это привлечение средств более высокого, сетевого уровня.

Понятие internetworking.

- Основная идея введения сетевого уровня состоит в следующем. Сеть в общем случае рассматривается как совокупность нескольких сетей и называется составной сетью или интерсетью (*internetwork* или *internet*). Сети, входящие в составную сеть, называются подсетями (*subnet*), составляющими сетями или просто сетями (рис. 5.1).

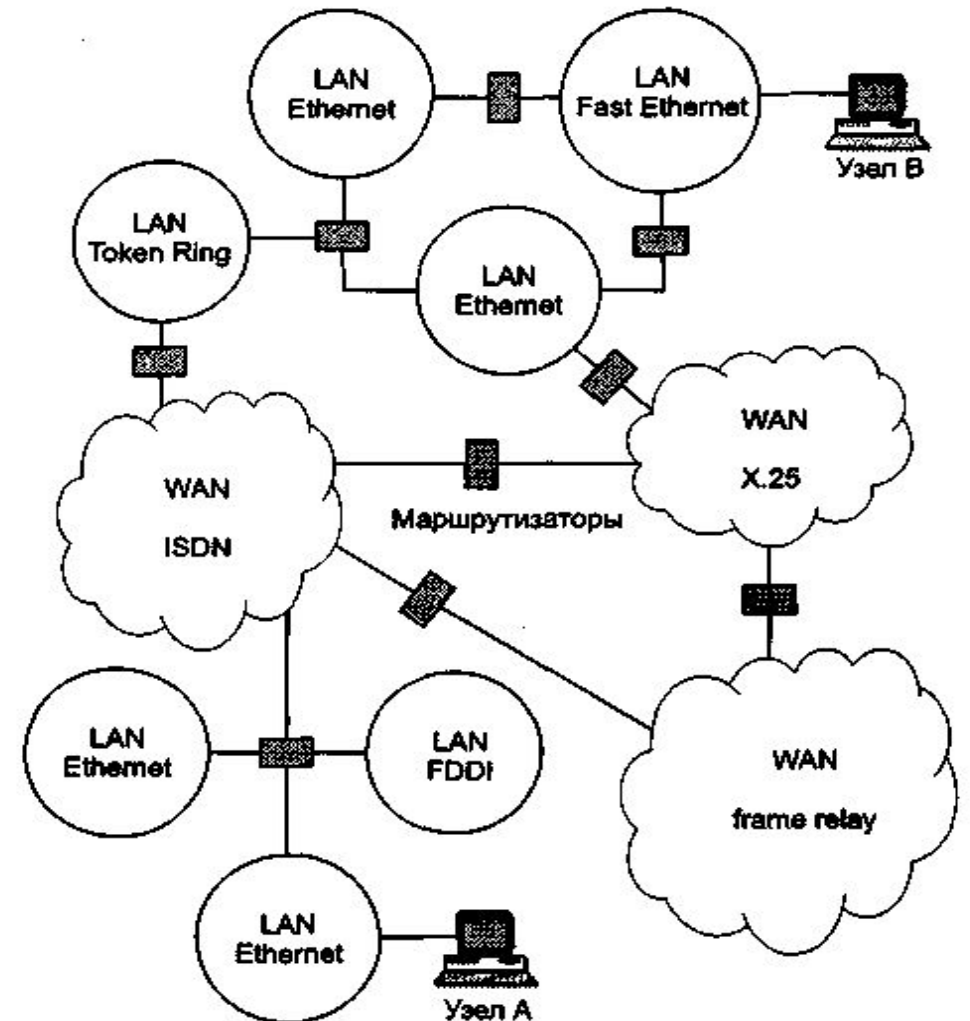


Рис. 5.1. Архитектура составной сети.

- ▶ Подсети соединяются между собой маршрутизаторами. Компонентами составной сети могут являться как локальные, так и глобальные сети. Внутренняя структура каждой сети на рисунке не показана, так как она не имеет значения при рассмотрении сетевого протокола. Все узлы в пределах одной подсети взаимодействуют, используя единую для них технологию. Так, в составную сеть, показанную на рисунке, входит несколько сетей разных технологий: локальные сети Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring, FDDI и глобальные сети frame relay, X.25, ISDN.

- ▶ Каждая из этих технологий достаточна для того, чтобы организовать взаимодействие всех узлов в своей подсети, но не способна построить информационную связь между произвольно выбранными узлами, принадлежащими разным подсетям, например между узлом А и узлом В на рис. 5.1. Следовательно, для организации взаимодействия между любой произвольной парой узлов этой «большой» составной сети требуются дополнительные средства. Такие средства и предоставляет сетевой уровень

- ▶ Сетевой уровень выступает в качестве координатора, организующего работу всех сетей, лежащих на пути продвижения пакета по составной сети. Для перемещения данных в пределах подсетей сетевой уровень обращается к используемым в этих подсетях технологиям.
- ▶ Хотя многие технологии локальных сетей (Ethernet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet и др.) используют одну и ту же систему адресации узлов на основе MAC-адресов, существует немало технологий (X.25, АТМ, frame relay), в которых применяются другие схемы адресации. Адреса, присвоенные узлам в соответствии с технологиями подсетей, называют локальными. Чтобы сетевой уровень мог выполнить свою задачу, ему необходима собственная система адресации, не зависящая от способов адресации узлов в отдельных подсетях, которая позволила бы на сетевом уровне универсальным и однозначным способами идентифицировать любой узел составной сети.

- ▶ Естественным способом формирования сетевого адреса является уникальная нумерация всех подсетей составной сети и нумерация всех узлов в пределах каждой подсети. Таким образом, сетевой адрес представляет собой пару: номер сети (подсети) и номер узла.
- ▶ В качестве номера узла может выступать либо локальный адрес этого узла (такая схема принята в стеке IPX/SPX), либо некоторое число, никак не связанное с локальной технологией, которое однозначно идентифицирует узел в пределах данной подсети. В первом случае сетевой адрес становится зависимым от локальных технологий, что ограничивает его применение. Например, сетевые адреса IPX/SPX рассчитаны на работу в составных сетях, объединяющих сети, в которых используются только MAC-адреса или адреса аналогичного формата. Второй подход более универсален, он характерен для стека TCP/IP. И в том и другом случае каждый узел составной сети имеет наряду со своим локальным адресом еще один — универсальный сетевой адрес.

- ▶ Данные, которые поступают на сетевой уровень и которые необходимо передать через составную сеть, снабжаются заголовком сетевого уровня. Данные вместе с заголовком образуют пакет. Заголовок пакета сетевого уровня имеет унифицированный формат, не зависящий от форматов кадров канального уровня тех сетей, которые могут входить в объединенную сеть, и несет наряду с другой служебной информацией данные о номере сети, которой предназначается этот пакет. Сетевой уровень определяет маршрут и перемещает пакет между подсетями.
- ▶ При передаче пакета из одной подсети в другую пакет сетевого уровня, инкапсулированный в прибывший канальный кадр первой подсети, освобождается от заголовков этого кадра и окружается заголовками кадра канального уровня следующей подсети. Информацией, на основе которой делается эта замена, являются служебные поля пакета сетевого уровня. В поле адреса назначения нового кадра указывается локальный адрес следующего маршрутизатора.

- ▶ **ПРИМЕЧАНИЕ** Если в подсети доставка данных осуществляется средствами канального и физического уровней (как, например, в стандартных локальных сетях), то пакеты сетевого уровня упаковываются в кадры канального уровня. Если же в какой-либо подсети для транспортировки сообщений используется технология, основанная на стеках с большим числом уровней, то пакеты сетевого уровня упаковываются в блоки передаваемых данных самого высокого уровня подсети.

- ▶ Если проводить аналогию между взаимодействием разнородных сетей и перепиской людей из разных стран, то сетевая информация – это общепринятый индекс страны, добавленный к адресу письма, написанному на одном из сотни языков земного шара, например на санскрите. И даже если это письмо должно пройти через множество стран, почтовые работники которых не знают санскрита, понятный им индекс страны-адресата подскажет, через какие промежуточные страны лучше передать письмо, чтобы оно кратчайшим путем попало в Индию. А уже там работники местных почтовых отделений смогут прочитать точный адрес, указывающий город, улицу, дом и индивидуума, и доставить письмо адресату, так как адрес написан на языке и в форме, принятой в данной стране.

- ▶ Основным полем заголовка сетевого уровня является номер сети-адресата. В рассмотренных нами ранее протоколах локальных сетей такого поля в кадрах предусмотрено не было – предполагалось, что все узлы принадлежат одной сети. Явная нумерация сетей позволяет протоколам сетевого уровня составлять точную карту межсетевых связей и выбирать рациональные маршруты при любой их топологии, в том числе альтернативные маршруты, если они имеются, что не умеют делать мосты и коммутаторы.

Кроме номера сети заголовков сетевого уровня должен содержать и другую информацию, необходимую для успешного перехода пакета из сети одного типа в сеть другого типа. К такой информации может относиться, например:

- ▶ номер фрагмента пакета, необходимый для успешного проведения операций сборки-разборки фрагментов при соединении сетей с разными максимальными размерами пакетов;
- ▶ время жизни пакета, указывающее, как долго он путешествует по интернету, это время может использоваться для уничтожения «заблудившихся» пакетов;
- ▶ качество услуги – критерий выбора маршрута при межсетевых передачах – например, узел-отправитель может потребовать передать пакет с максимальной надежностью, возможно, в ущерб времени доставки.
- ▶ Когда две или более сети организуют совместную транспортную службу, то такой режим взаимодействия обычно называют межсетевым взаимодействием (internetworking).

Выводы

- ▶ Составная сеть (internetwork или internet) – это совокупность нескольких сетей, называемых также подсетями (subnet), которые соединяются между собой маршрутизаторами. Организация совместной транспортной службы в составной сети называется межсетевым взаимодействием (internetworking).
- ▶ В функции сетевого уровня входит: передача пакетов между конечными узлами в составных сетях, выбор маршрута, согласование локальных технологий отдельных подсетей.
- ▶ Маршрут – это последовательность маршрутизаторов, которые должен пройти пакет от отправителя до пункта назначения. Задачу выбора маршрута из нескольких возможных решают маршрутизаторы и конечные узлы на основе таблиц маршрутизации. Записи в таблицу могут вноситься вручную администратором и автоматически протоколами маршрутизации.

- ▶ Протоколы маршрутизации (например, RIP или OSPF) следует отличать от собственно сетевых протоколов (например, IP или IPX). В то время как первые собирают и передают по сети чисто служебную информацию о возможных маршрутах, вторые предназначены для передачи пользовательских данных.
- ▶ Сетевые протоколы и протоколы маршрутизации реализуются в виде программных модулей на конечных узлах-компьютерах и на промежуточных узлах-маршрутизаторах.
- ▶ Маршрутизатор представляет собой сложное многофункциональное устройство, в задачи которого входит: построение таблицы маршрутизации, определение на ее основе маршрута, буферизация, фрагментация и фильтрация поступающих пакетов, поддержка сетевых интерфейсов. Функции маршрутизаторов могут выполнять как специализированные устройства, так и универсальные компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

- ▶ Для алгоритмов маршрутизации характерны одношаговый и многошаговый подходы. Одношаговые алгоритмы делятся на алгоритмы фиксированной, простой и адаптивной маршрутизации. Адаптивные протоколы маршрутизации являются наиболее распространенными и в свою очередь могут быть основаны на дистанционно-векторных алгоритмах и алгоритмах состояния связей.
- ▶ Наибольшее распространение для построения составных сетей в последнее время получил стек TCP/IP. Стек TCP/IP имеет 4 уровня: прикладной, основной уровень межсетевого взаимодействия и уровень сетевых интерфейсов. Соответствие уровней стека TCP/IP уровням модели OSI достаточно условно.
- ▶ *Прикладной уровень* объединяет все службы, предоставляемые системой пользовательским приложениям: традиционные сетевые службы типа telnet, FTP, TFTP, DNS, SNMP, а также сравнительно новые, такие, например, как протокол передачи гипертекстовой информации HTTP.

- ▶ На основном уровне стека TCP/IP, называемом также транспортным, функционируют протоколы TCP и UDP. Протокол управления передачей TCP решает задачу обеспечения надежной информационной связи между двумя конечными узлами. Дейтаграммный протокол UDP используется как экономичное средство связи уровня межсетевого взаимодействия с прикладным уровнем.
- ▶ Уровень межсетевого взаимодействия реализует концепцию коммутации пакетов в режиме без установления соединений. Основными протоколами этого уровня являются дейтаграммный протокол IP и протоколы маршрутизации (RIP, OSPF, BGP и др.). вспомогательную роль выполняют протокол межсетевых управляющих сообщений ICMP, протокол группового управления IGMP и протокол разрешения адресов ARP.

- ▶ Протоколы уровня сетевых интерфейсов обеспечивают интеграцию в составную сеть других сетей. Этот уровень не регламентируется, но поддерживает все популярные стандарты физического и канального уровней: для локальных сетей – Ethernet, Token Ring, FDDI и т. д., для глобальных сетей – X.25, frame relay, PPP, ISDN и т. д.
- ▶ В стеке TCP/IP для именования единиц передаваемых данных на разных уровнях используют разные названия: поток, сегмент, дейтаграмма, пакет, кадр.