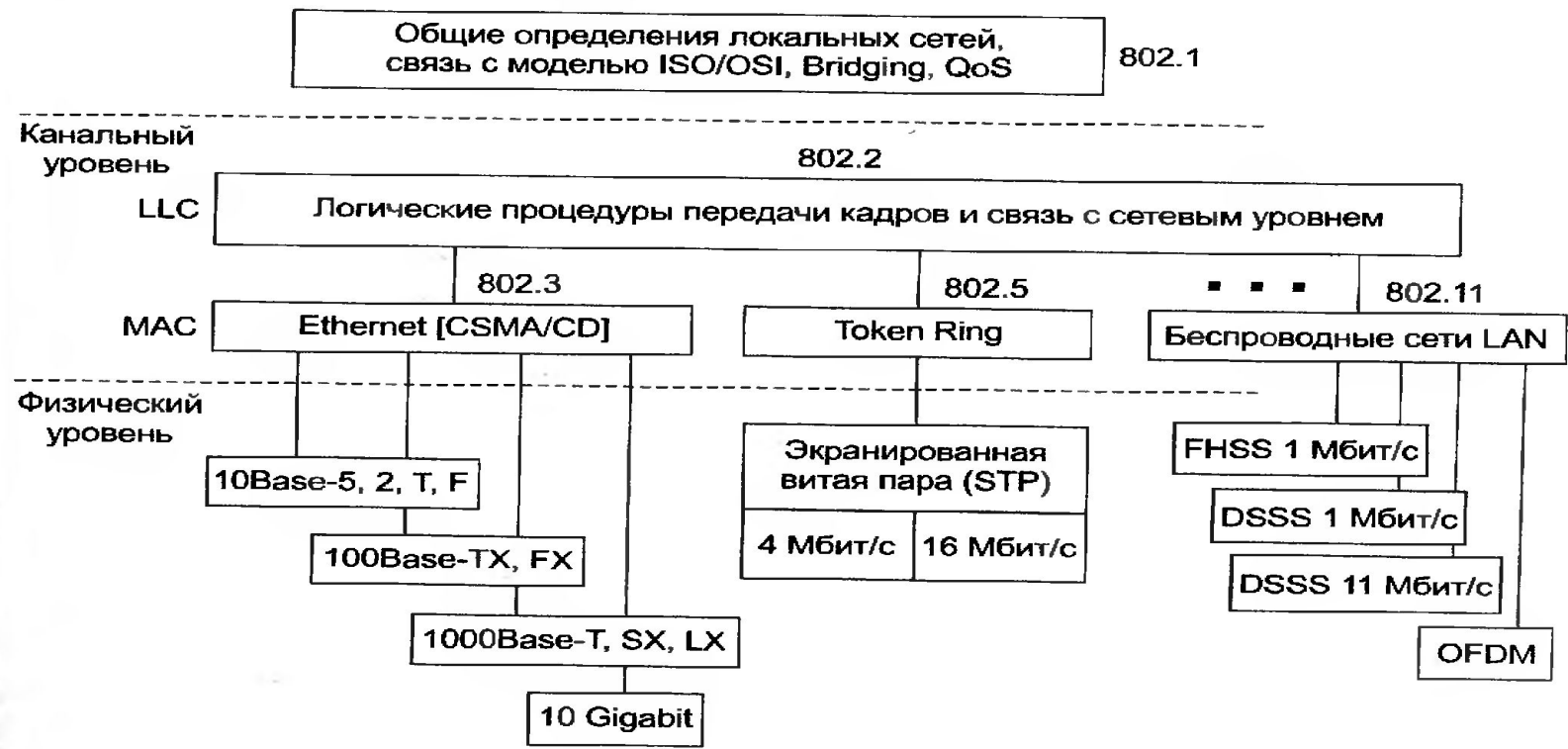


A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of a light green L-shaped corner and a dark blue horizontal bar with rounded ends.

Базовые технологии локальных сетей

Структура стандартов IEEE 802.X



Стандарты IEEE 802.X

- 802.1 - Internetworking - объединение сетей;
- 802.2 - Logical Link Control, LLC - управление логической передачей данных;
- 802.3 - Ethernet с методом доступа CSMA/CD;
- 802.4 - Token Bus LAN - локальные сети с методом доступа Token Bus;
- 802.5 - Token Ring LAN - локальные сети с методом доступа Token Ring;
- 802.6 - Metropolitan Area Network, MAN - сети мегаполисов;
- 802.7 - Broadband Technical Advisory Group - техническая консультационная группа по широкополосной передаче;
- 802,8 - Fiber Optic Technical Advisory Group - техническая консультационная группа по волоконно-оптическим сетям;
- 802.9 - Integrated Voice and data Networks - интегрированные сети передачи голоса и данных;
- 802.10 - Network Security - сетевая безопасность;
- 802.11 - Wireless Networks - беспроводные сети;
- 802.12 - Demand Priority Access LAN, 100VG-AnyLAN - локальные сети с методом доступа по требованию с приоритетами.

Особенности стандартов IEEE 802.X

- разделении канального уровня на два подуровня,
 - логической передачи данных (Logical Link Control, LLC);
 - управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).
- основная роль отводится классическим технологиям Ethernet, Token Ring, FDDI, основанным на использовании разделяемых сред.

Особенности стандартов IEEE 802.X (продолжение)

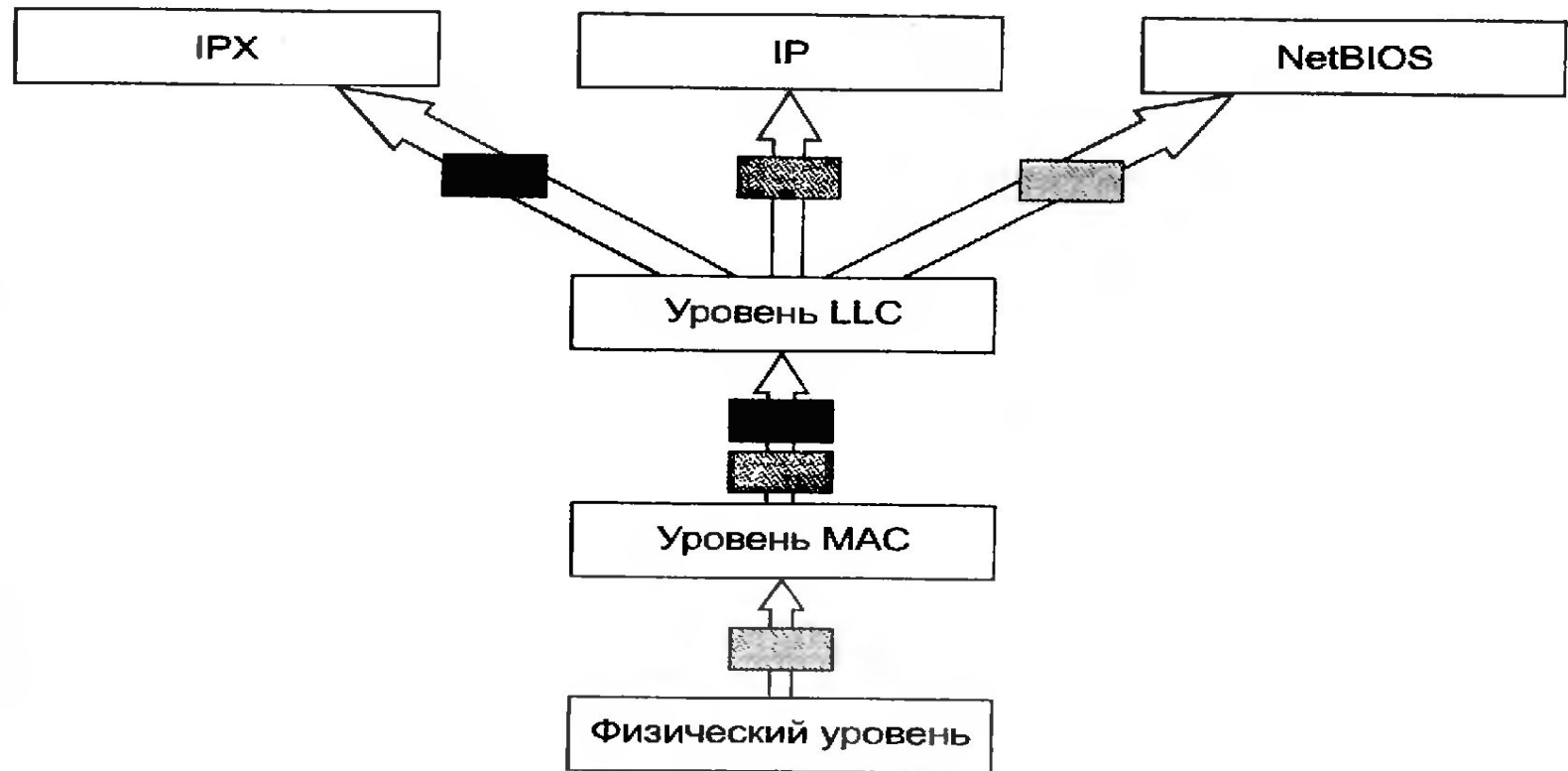
- Комитет IEEE 802.X разрабатывает стандарты, которые содержат рекомендации для проектирования нижних уровней локальных сетей - физического и канального
- современными тенденциями являются :
 - частичный или полный отказ от разделяемых сред, соединение узлов индивидуальными связями
 - появление полнодуплексного режима работы практически для всех технологий локальных сетей.

Протокол LLC уровня управления логическим каналом (802.2)

Протокол LLC обеспечивает для технологий локальных сетей нужное качество услуг транспортной службы, передавая свои кадры либо с помощью

- LLC1 - процедура без установления соединения и без подтверждения;
- LLC2 - процедура с установлением соединения и подтверждением;
- LLC3 - процедура без установления соединения, но с подтверждением.

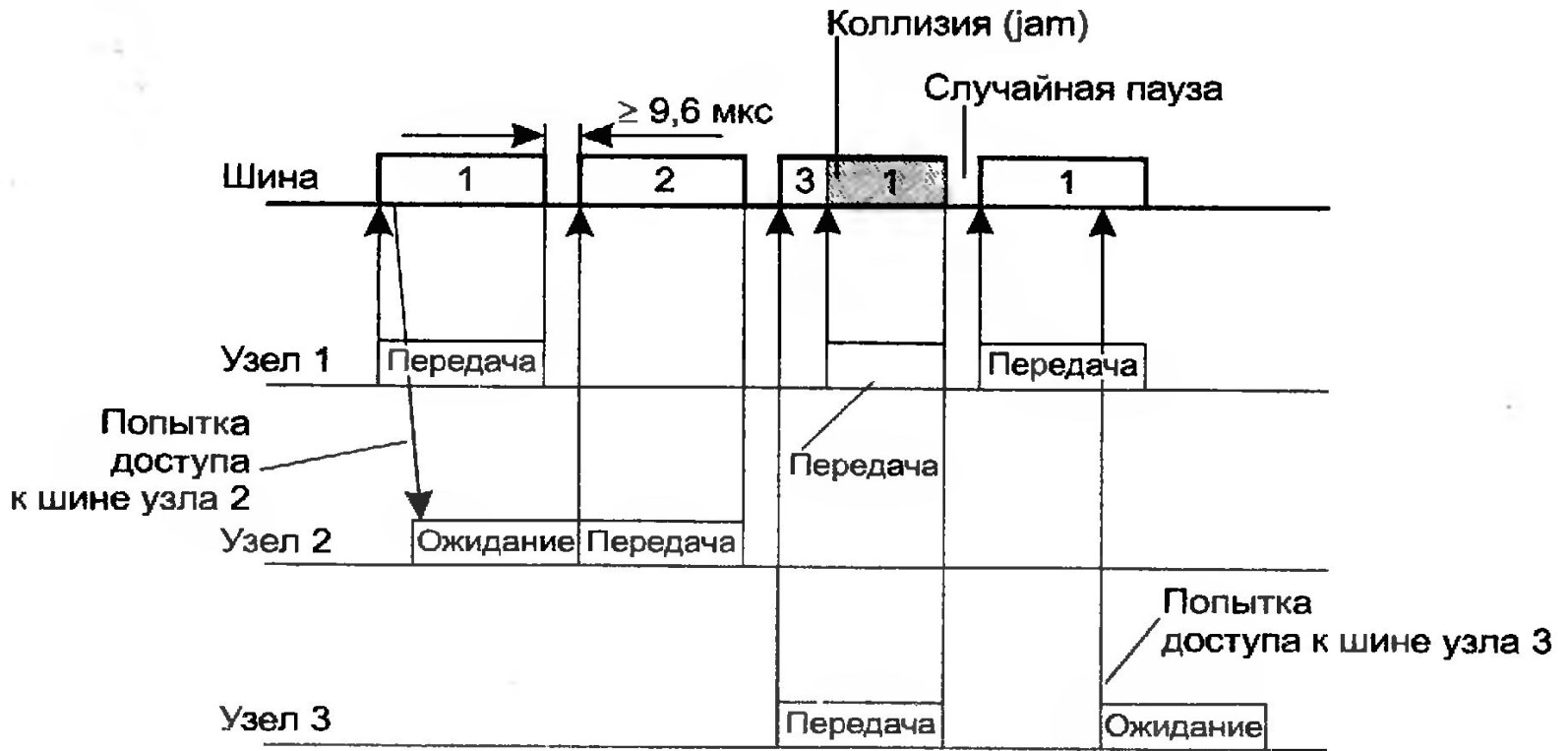
Интерфейсные функции LLC (демультиплексирование кадров)



Технология Ethernet (IEEE 802.3)

- Ethernet - это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей
- Номинальная пропускная способность 10 Мбит/с
- Топология- общая шина
- Случайный множественный доступ к разделяемой среде с обнаружением коллизий (CSMA/CD)

Метод случайного доступа CSMA/CD



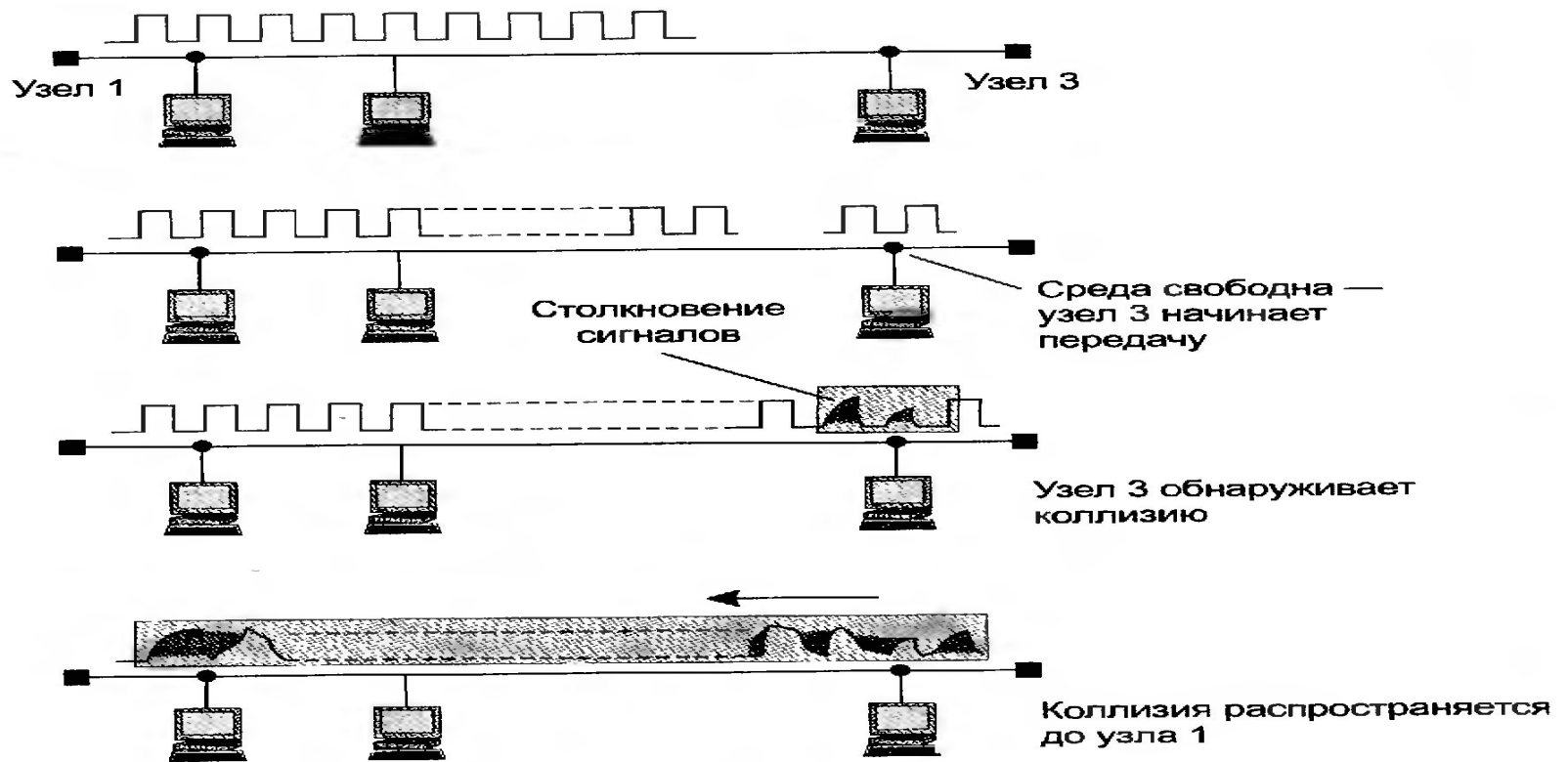
Форматы кадра технологии Ethernet

6 байт	6 байт	2 байта	46–1500 байт	4 байта
DA	SA	T	Данные	FCS

Расчет паузы после коллизии

- Пауза = $L * (\text{интервал отсрочки}) = 0 \dots 52,4 \text{ мс.}$
- L - целое число, выбранное с равной вероятностью из диапазона $[0, 2N]$,
- N - номер повторной попытки передачи данного кадра: 1,2,..., 10.
- интервал отсрочки равен 512 битовым интервалам
- битового интервала равна 0,1 мкс

Схема обнаружения и возникновения коллизии



Время двойного оборота и распознавание коллизий

- Станция должна успевать обнаружить коллизию, которую вызвал переданный ее кадр, еще до того, как она закончит передачу этого кадра. Для этого должно выполняться соотношение:

$$\underline{T_{min} \geq PDV,}$$

T_{min} - время передачи кадра минимальной длины,
 PDV - время, за которое сигнал коллизии успевает распространиться до самого дальнего узла

Спецификации физической среды Ethernet

- 10Base-5 - коаксиальный кабель диаметром 0,5 дюйма, называемый «толстым» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента - 500 метров (без повторителей).
- 10Base-2 - коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма, называемый «тонким» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента - 185 метров (без повторителей).
- 10Base-T - кабель на основе неэкранированной витой пары (UTP). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом - не более 100 м.
- 10Base-F - волоконно-оптический кабель. (расстояние до 1000 м), 10Base-FL (расстояние до 2000 м), 10Base-FB (расстояние до 2000 м).

Параметры спецификаций физического уровня для стандарта Ethernet

	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-F
Кабель	Толстый коаксиальный кабель RG-8 или RG-11	Тонкий коаксиальный кабель RG-58	Неэкранированная витая пара категорий 3, 4, 5	Многомодовый волоконно-оптический кабель
Максимальная длина сегмента, м	500	185	100	2000
Максимальное расстояние между узлами сети (при использовании повторителей), м	2500	925	500	2500 (2740 для 10Base-FB)
Максимальное число станций в сегменте	100	30	1024	1024
Максимальное число повторителей между любыми станциями сети	4	4	4	4 (5 для 10 Base-FB)

Характеристики стандарта Ethernet

- Технология Ethernet поддерживает 4 разных типа кадров, которые имеют общий формат адресов узлов.
- Максимально возможная полезная пропускная способность сети Ethernet составляет 9,75 Мбит/с, что соответствует использованию кадров максимальной длины в 1518 байт, которые передаются по сети со скоростью 513 кадр/с.
- На характеристики производительности сети большое значение оказывает коэффициент использования сети, который отражает ее загруженность. При значениях этого коэффициента свыше 50 % полезная пропускная способность сети резко падает: из-за роста интенсивности коллизий, а также увеличения времени ожидания доступа к среде.

время передачи кадра

Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение:

$$T_{\min} \geq RTT.$$

Здесь T_{\min} — время передачи кадра минимальной длины, а RTT — *время оборота*, то есть время, за которое сигнал коллизии успевает распространиться до самого дальнего узла сети. В худшем случае сигнал должен пройти дважды между наиболее удаленными друг от друга станциями сети (в одну сторону проходит неискаженный сигнал, а в обратном направлении — сигнал, уже искаженный коллизией).

При выполнении этого условия передающая станция должна успеть обнаружить коллизия, которую вызвал переданный ее кадр, еще до того, как она закончит передачу этого кадра. Очевидно, что выполнение этого условия зависит, с одной стороны, от минимальной длины кадра и скорости передачи данных протокола, а с другой стороны, от длины кабельной системы сети и скорости распространения сигнала в кабеле (для разных типов кабеля эта скорость несколько отличается).

Так, стандарт Ethernet определяет минимальную длину поля данных кадра в 46 байт (что вместе со служебными полями дает минимальную длину кадра 64 байт, а вместе с преамбулой — 72 байт, или 576 бит). Отсюда может быть вычислено ограничение на расстояние между станциями. В стандарте Ethernet 10 Мбит/с время передачи кадра минимальной длины равно 575 битовых интервалов, следовательно, время оборота должно быть меньше 57,5 мкс. Расстояние, которое сигнал может пройти за это время, зависит от типа кабеля и для толстого коаксиального кабеля равно примерно 13 280 м. Учитывая, что за время 57,5 мкс сигнал должен пройти по линии связи дважды, расстояние между двумя узлами не должно быть больше 6635 м. В стандарте величина этого расстояния выбрана равной 2500 м, что существенно меньше. Это объясняется тем, что повторители, которые нужны для соединения пяти сегментов кабеля, вносят задержки в распространение сигнала.

Требование $T_{\min} \geq RTT$ имеет одно интересное следствие: чем выше скорость протокола, тем меньше должна быть максимальная длина сети. Поэтому для Ethernet на разделяемой среде при скорости в 100 Мбит/с максимальная длина сети пропорционально уменьшается до 250 м, а при скорости в 1 Гбит/с — до 25 м. Эта зависимость, наряду с резким ростом задержек при повышении загрузки сети, говорит о еще одном коренном недостатке метода доступа CSMA/CD.

Сеть Ethernet на витой паре (10Base-T)

Сеть Ethernet на витой паре, описываемая стандартом 10Base-T, стала следующим шагом на пути повышения эксплуатационных характеристик Ethernet.

Одним из существенных недостатков Ethernet на коаксиальном кабеле являлось отсутствие оперативной информации о состоянии кабеля и сложность нахождения места его повреждения. Поэтому поиск неисправностей стал привычной процедурой и головной болью многочисленной армии сетевых администраторов коаксиальных сетей Ethernet.

Альтернатива появилась в середине 80-х годов, когда благодаря использованию витой пары и повторителей сети Ethernet стали гораздо более ремонтпригодными.

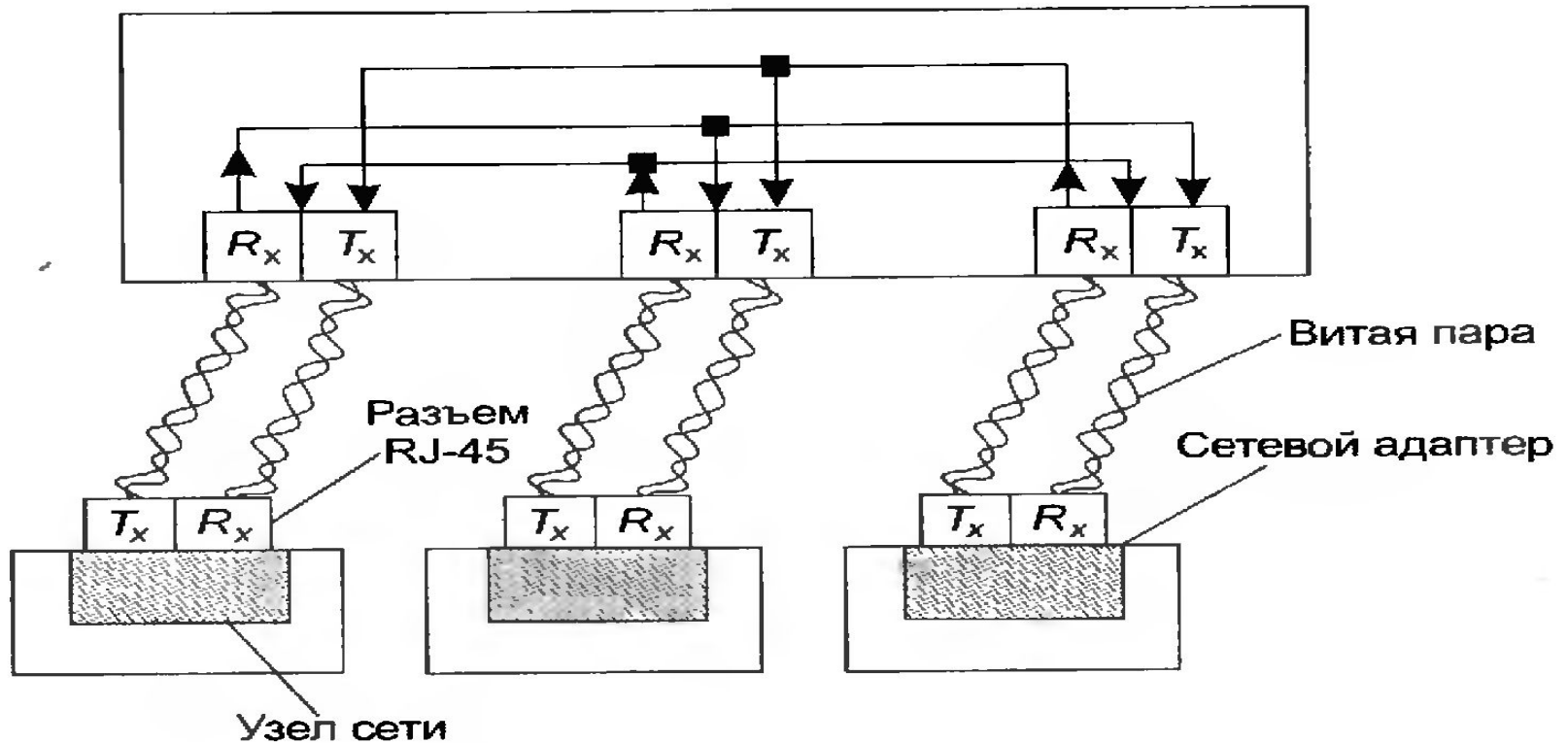
Сеть Ethernet на витой паре (10Base-T)

К этому времени телефонные компании уже достаточно давно применяли многопарный кабель на основе экранированной витой пары для подключения телефонных аппаратов внутри зданий. Идея приспособить этот популярный вид кабеля для локальных сетей оказалась очень плодотворной, так как многие здания уже были оснащены нужной кабельной системой. Оставалось разработать способ подключения сетевых адаптеров и прочего коммуникационного оборудования к витой паре таким образом, чтобы изменения в сетевых адаптерах и программном обеспечении сетевых операционных систем были минимальными по сравнению с сетями Ethernet на коаксиале. Эта попытка оказалась успешной — переход на витую пару требует только замены приемника и передатчика сетевого адаптера, а метод доступа и все протоколы канального уровня остаются теми же, что и в сетях Ethernet на коаксиале.

Сеть Ethernet на витой паре (10Base-T)

- Повышается надежность сети,
 - есть возможность контролировать отказ отдельных отрезков,
 - отключать неисправный сегмент
 - используется тест контроля целостности сети,
- Упрощается обслуживание сети

Многопортовый повторитель сети Ethernet на витой паре (10Base-T)



Многопортовый повторитель сети Ethernet на витой паре (10Base-T)

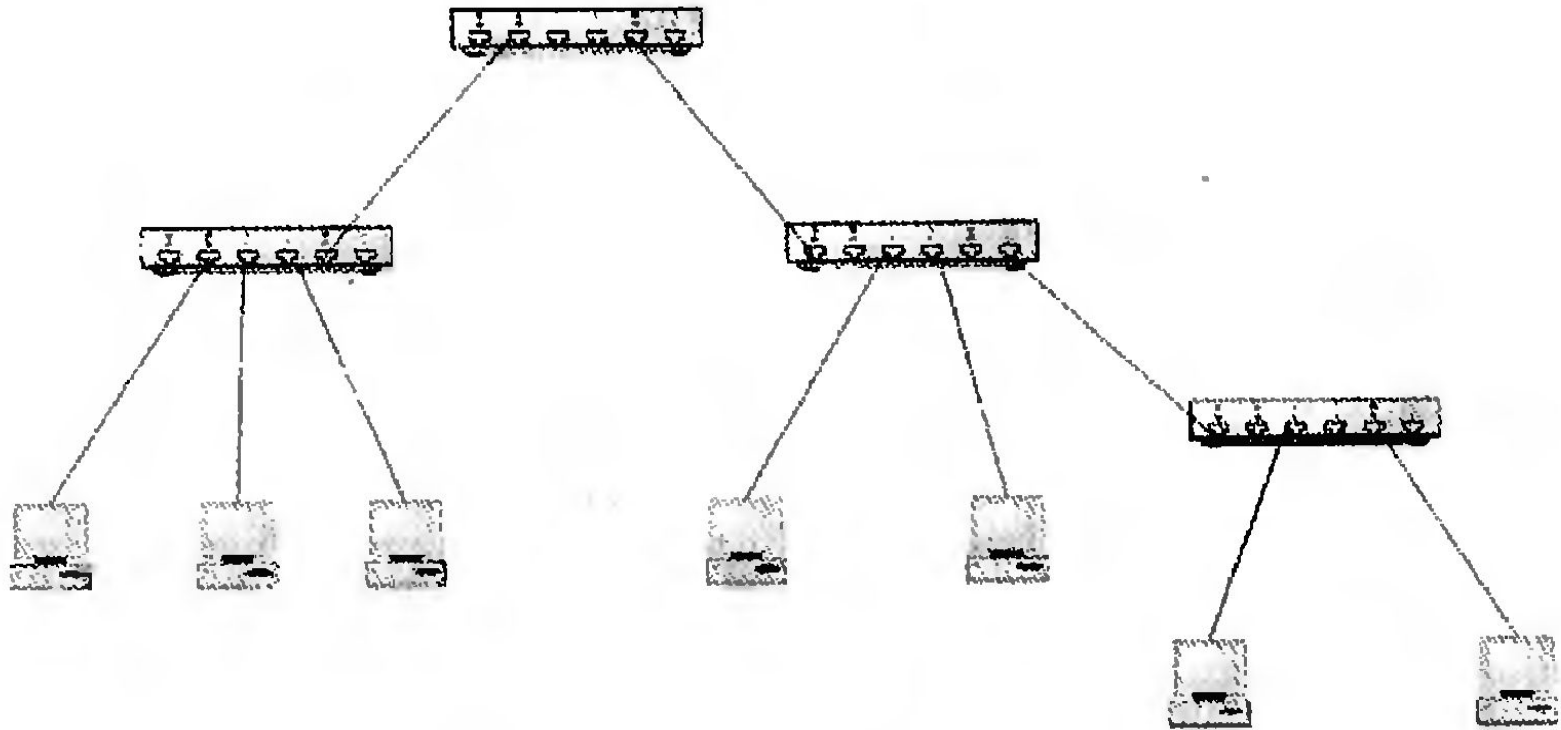
Устройство такого повторителя схематично изображено на рис. 12.8. Каждый сетевой адаптер соединяется с повторителем двумя витыми парами. Одна витая пара требуется для передачи данных от станции к повторителю (выход *TX* сетевого адаптера), другая — для передачи данных от повторителя к станции (вход *RX* сетевого адаптера). Повторитель по-битно принимает сигналы от одного из конечных узлов и синхронно передаст их на все свои остальные порты, исключая тот, с которого поступили сигналы, одновременно улучшая их электрические характеристики.

Многопортовый повторитель сети Ethernet на витой паре (10Base-T)

Многопортовый повторитель часто называют **концентратором**, или **хабом** (от английского hub – центр, ступица колеса), так как в нем сконцентрированы соединения со всеми конечными узлами сети. Фактически хаб имитирует сеть на коаксиальном кабеле в том отношении, что физически отдельные отрезки кабеля на витой паре логически все равно представляют единую разделяемую среду. Все правила доступа к среде по алгоритму CSMA/CD сохраняются.

При создании сети Ethernet на витой паре с большим числом конечных узлов хабы можно соединять друг с другом иерархическим способом, образуя *древовидную структуру*

Иерархическое соединение повторителей (хабов)



Физическая структуризация сетей, построенных на основе витой пары, повышает надежность и упрощает обслуживание сети, поскольку в этом случае появляется возможность контролировать состояние и локализовывать отказы отдельных кабельных отрезков, подключающих конечные узлы к концентраторам. В случае обрыва, короткого замыкания или неисправности сетевого адаптера работа сети может быть быстро восстановлена путем отключения соответствующего сегмента кабеля.

Для контроля целостности физического соединения между двумя непосредственно соединенными портами в стандарте 10Base-T введен так называемый **тест целостности соединения** (Link Integrity Test, LIT). Эта процедура заключается в том, что в те периоды, когда порт не посылает или получает кадры данных, он посылает своему соседу импульсы длительностью 100 нс через каждые 16 мс. Если порт принимает такие импульсы от своего соседа, то он считает соединение работоспособным и, как правило, индицирует это зеленым светом светодиода.

Максимальная производительность сети Ethernet

Производительность сети зависит от скорости передачи кадров по линиям связи и скорости обработки этих кадров коммуникационными устройствами, передающими кадры между своими портами, к которым эти линии связи подключены. Скорость передачи кадров по линиям связи зависит от используемых протоколов физического и канального уровней, например Ethernet на 10 Мбит/с, Ethernet на 100 Мбит/с, Token Ring или FDDI.

Максимальная производительность сети Ethernet

Скорость обработки кадров коммуникационным устройством зависит от производительности его процессоров, внутренней архитектуры и других параметров. Очевидно, что скорость коммуникационного устройства должна соответствовать скорости работы линии. Если она меньше скорости работы линии, то кадры будут стоять в очередях и отбрасываться при переполнении последних. В то же время нет смысла применять устройство, которое в сотни раз производительнее, чем того требует скорость подключаемых к нему линий.

Максимальная производительность сети Ethernet

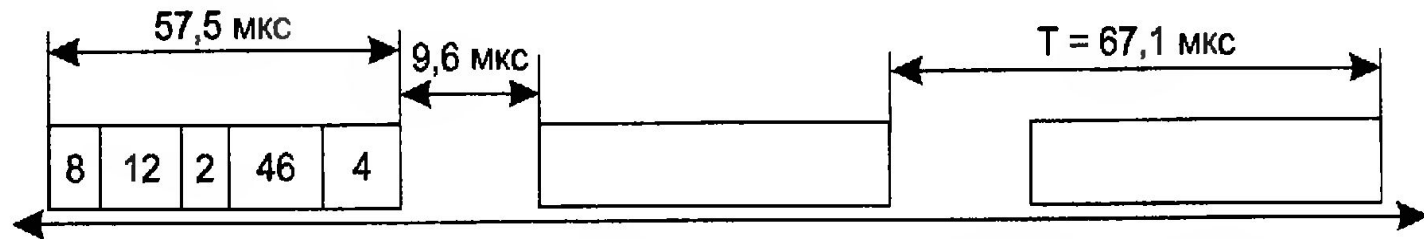
Для оценки требуемой производительности коммуникационных устройств, имеющих порты Ethernet, необходимо оценить производительность *сегмента Ethernet*, но не в битах в секунду (ее мы знаем — это 10 Мбит/с), а в кадрах в секунду, так как именно этот показатель помогает оценить требования к производительности коммуникационных устройств. Это объясняется тем, что на обработку каждого кадра, независимо от его длины, мост, коммутатор или маршрутизатор тратит примерно равное время, которое уходит на просмотр таблицы продвижения пакета, формирование нового кадра (для маршрутизатора) и т. п.

Максимальная производительность сети Ethernet

При постоянной битовой скорости количество кадров, поступающих на коммуникационное устройство в единицу времени, является, естественно, максимальным при их минимальной длине. Поэтому для коммуникационного оборудования наиболее тяжелым режимом является обработка потока кадров *минимальной длины*.

Максимальная производительность сети Ethernet

Для расчета максимального количества кадров минимальной длины, проходящих по сегменту Ethernet, вспомним, что подсчитанное нами ранее время, затрачиваемое на передачу кадра минимальной длины (576 бит), составляет 57,5 мкс. Прибавив межкадровый интервал в 9,6 мкс, получаем, что период следования кадров минимальной длины составляет 67,1 мкс. Отсюда *максимально возможная пропускная способность сегмента Ethernet составляет 14 880 кадр/с* (рис. 12.10). Естественно, что наличие в сегменте нескольких узлов снижает эту величину за счет ожидания доступа к среде, а также за счет коллизий.



Максимальная производительность сети Ethernet

Кадры максимальной длины технологии Ethernet имеют поле данных 1500 байт, что вместе со служебной информацией дает 1518 байт, а с преамбулой составляет 1526 байт, или 12 208 бит. *Максимально возможная пропускная способность сегмента Ethernet для кадров максимальной длины составляет 813 кадр/с.* Очевидно, что при работе с большими кадрами нагрузка на мосты, коммутаторы и маршрутизаторы довольно ощутимо снижается.

Технология Token Ring (802.5)

Token Ring и **FDDI** — это функционально намного более сложные технологии, чем Ethernet на разделяемой среде. Разработчики этих технологий стремились наделить сеть на разделяемой среде многими положительными качествами: сделать механизм разделения среды предсказуемым и управляемым, обеспечить отказоустойчивость сети, организовать приоритетное обслуживание для чувствительного к задержкам трафика, например голосового. Нужно отдать им должное — во многом их усилия оправдались, и сети FDDI довольно долгое время успешно использовались как магистрали сетей масштаба кампуса, в особенности в тех случаях, когда нужно было обеспечить высокую надежность магистрали.

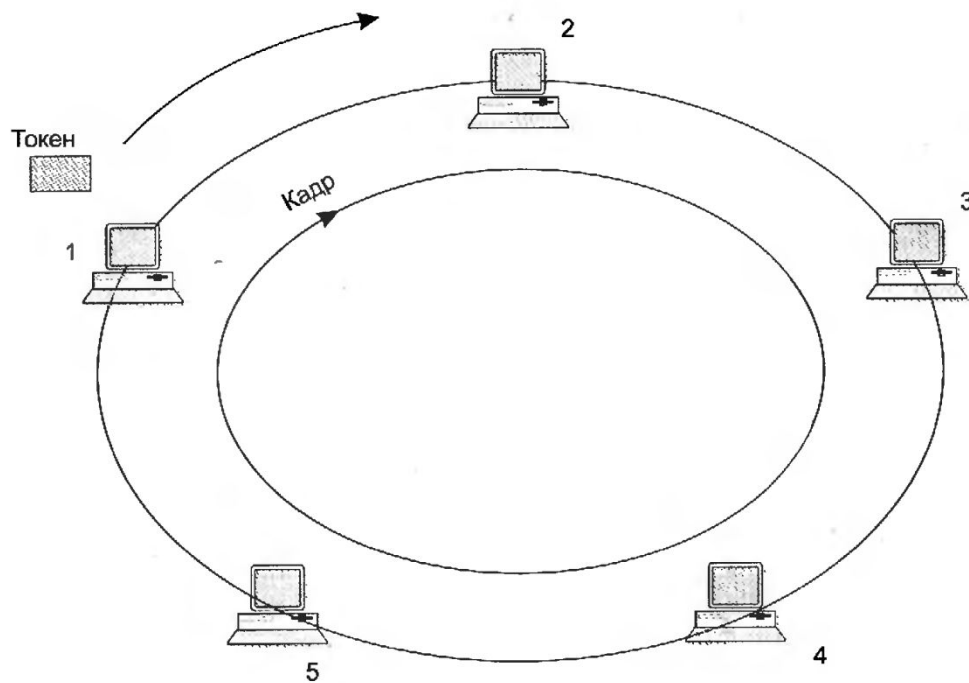
Технология Token Ring

- В сетях Token Ring используется маркерный метод доступа, который гарантирует каждой станции получение доступа к разделяемому кольцу в течение времени оборота маркера.

Технология Token Ring

Метод доступа Token Ring основан на передаче от узла к узлу специального кадра — **токена**, или **маркера доступа**, при этом только узел, владеющий токеном, может передавать свои кадры в кольцо, которое становится в этом случае разделяемой средой. Существует лимит на период монопольного использования среды — это так называемое **время удержания токена**, по истечении которого станция обязана передать токен своему соседу по кольцу. В результате такие ситуации, как неопределенное время ожидания доступа к среде, характерные для Ethernet, здесь исключены (по крайней мере, в тех случаях, когда сетевые адаптеры станций исправны и работают без сбоев). Максимальное время ожидания всегда трудно оценить, так как оно равно произведению времени удержания токена на количество станций в кольце. Так как станция, получившая токен, но не имеющая в этот момент кадров для передачи, передает токен следующей станции, то время ожидания может быть меньше.

Технология Token Ring



Технология Token Ring

Поддержка чувствительного к задержкам трафика достигается за счет *системы приоритетов кадров*. Решение о приоритете конкретного кадра принимает передающая станция. Токен также всегда имеет некоторый уровень текущего приоритета. Станция имеет право захватить переданный ей токен только в том случае, если приоритет кадра, который она хочет передать, выше приоритета токена (или равен ему). В противном случае станция обязана передать токен следующей по кольцу станции.

Технология Token Ring

Отказоустойчивость сети Token Ring определяется использованием в сети повторителей (не показанных на рис. 12.11) для создания кольца. Каждый такой повторитель имеет несколько портов, которые образуют кольцо за счет внутренних связей между передатчиками и приемниками. В случае отказа или отсоединения станции повторитель организует обход порта этой станции, так что связность кольца не нарушается.

Технология Token Ring

Благодаря более высокой, чем в сетях Ethernet, скорости, детерминированности распределения пропускной способности сети между узлами, а также лучших эксплуатационных характеристик (обнаружение и изоляция неисправностей), сети Token Ring были предпочтительным выбором для таких чувствительных к подобным показателям приложений, как банковские системы и системы управления предприятием.

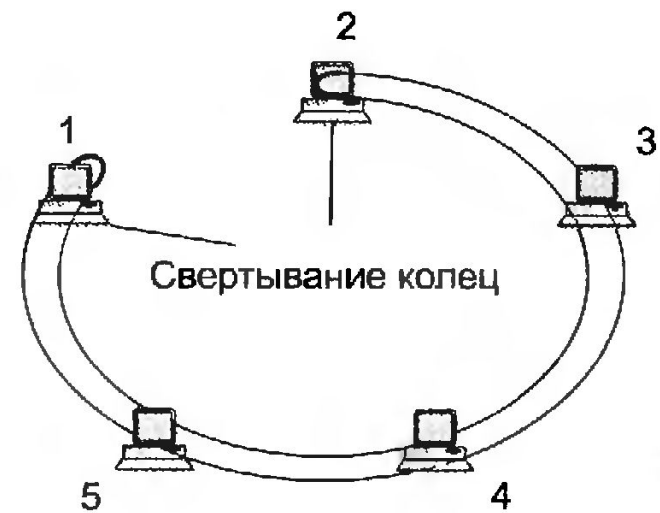
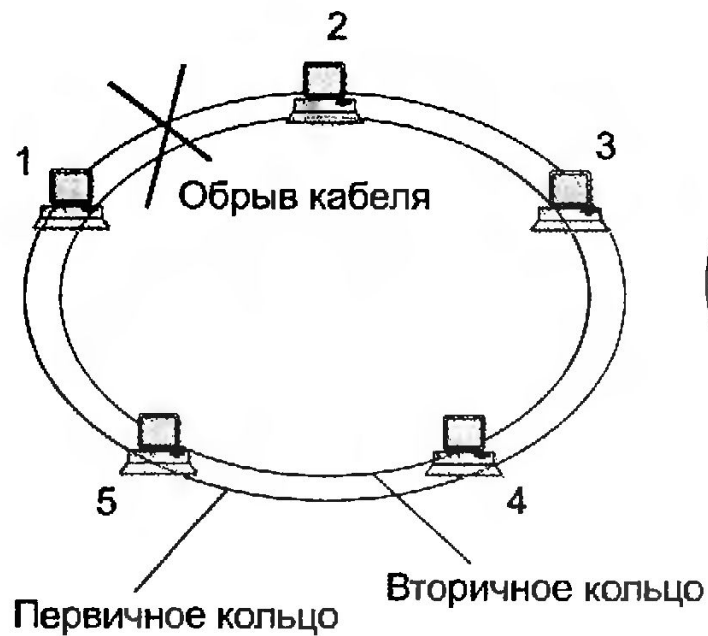
Технология Token Ring

Технологию **FDDI** можно считать усовершенствованным вариантом Token Ring, так как в ней, как и в Token Ring, используется метод доступа к среде, основанный на передаче токена, а также кольцевая топология связей, но вместе с тем FDDI работает на более высокой скорости и имеет более совершенный механизм отказоустойчивости.

Технология Token Ring

В тех случаях, когда нужно было обеспечить высокую надежность сети FDDI, применялось двойное кольцо (рис. 12.12). В нормальном режиме станции используют для передачи данных и токена доступа первичное кольцо, а вторичное простаивает¹. В случае отказа, например, при обрыве кабеля между станциями 1 и 2, как показано на рис. 12.12, первичное кольцо объединяется со вторичным, вновь образуя единое кольцо. Этот режим работы сети называется **режимом свертывания колец**. Операция свертывания производится средствами повторителей (не показанных на рисунке) и/или сетевых адаптеров FDDI.

Отказоустойчивость в сети FDDI



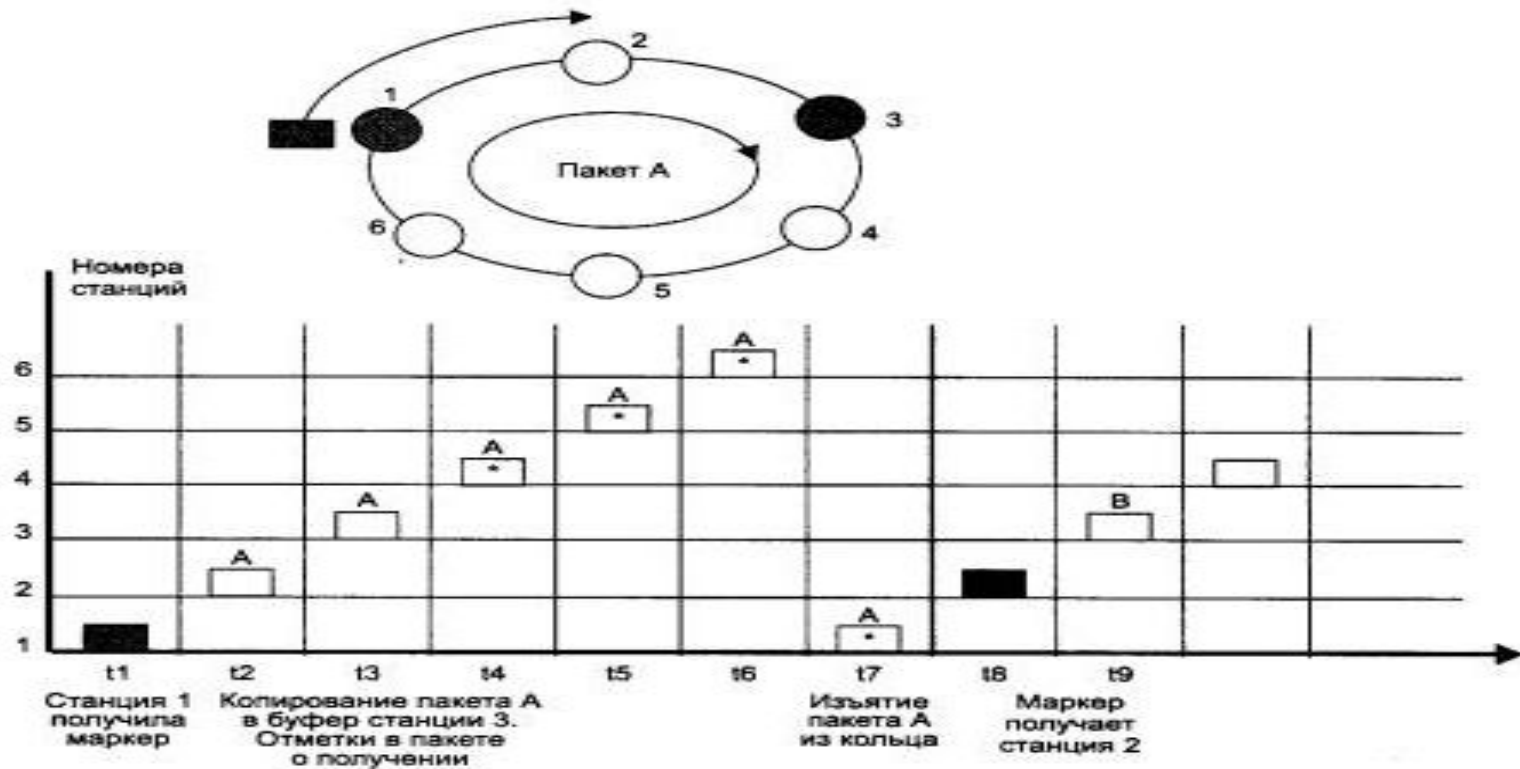
Технология Token Ring (802.5)

- Сети Token Ring работают на двух скоростях: 4 и 16 Мбит/с и могут использоваться в качестве физической среды экранированную витую пару, неэкранированную витую пару, а также волоконно-оптический кабель. Максимальное количество станций в кольце - 260, а максимальная длина кольца - 4 км.
- Метод доступа основан на приоритетах: от 0 (низший) до 7 (высший). Станция сама определяет приоритет текущего кадра и может захватить кольцо только в том случае, когда в кольце нет более приоритетных кадров.

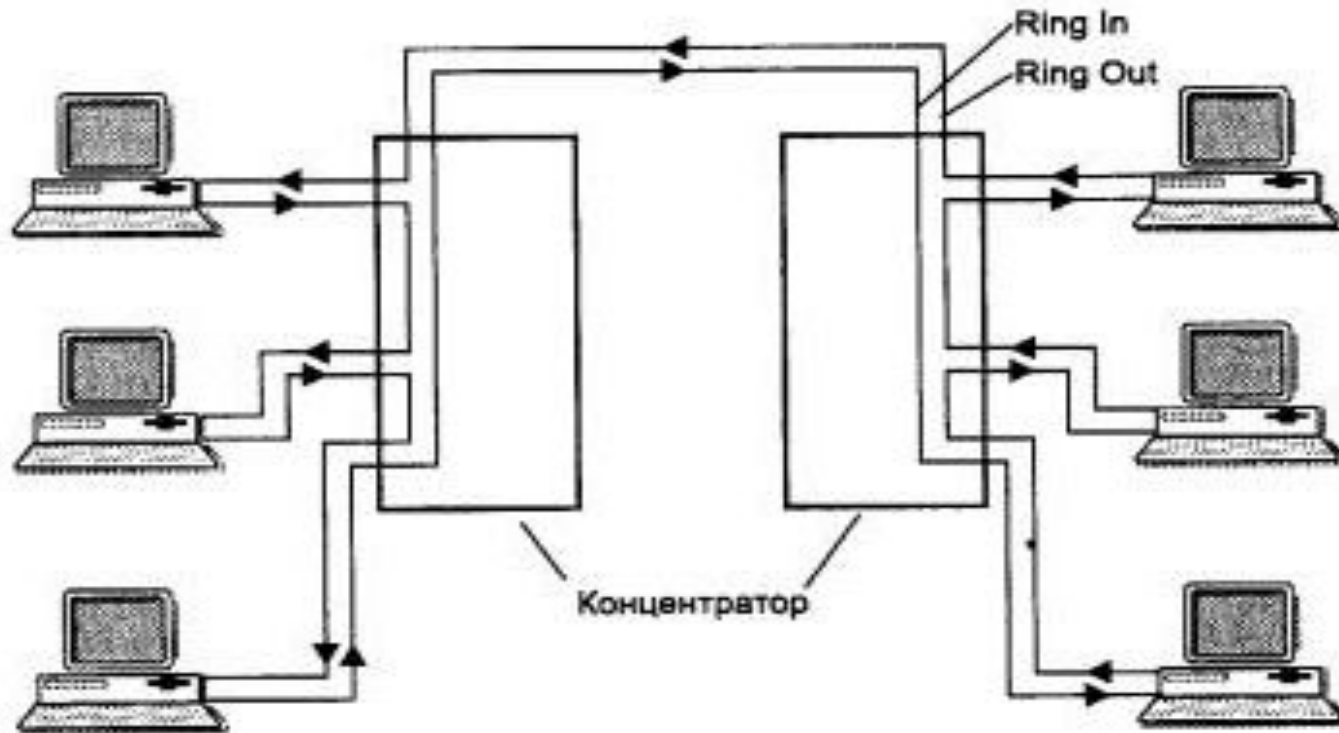
Технология Token Ring (802.5) (продолжение)

- Технология Token Ring обладает элементами отказоустойчивости. Одна из станций - активный монитор - непрерывно контролирует наличие маркера, а также время оборота маркера и кадров данных. При некорректной работе кольца запускается процедура его повторной инициализации,
- Сеть Token Ring может строиться на основе нескольких колец, разделенных мостами, маршрутизирующими кадры по принципу «от источника», для чего в кадр Token Ring добавляется специальное поле с маршрутом прохождения колец

Принцип маркерного доступа



Физическая конфигурация сети Token Ring

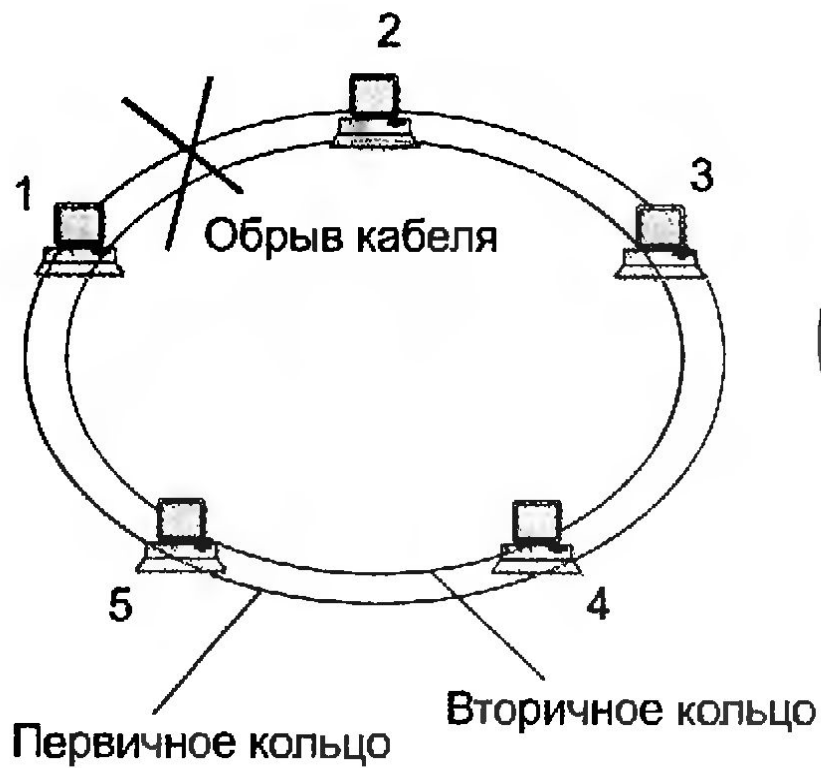


Технология FDDI

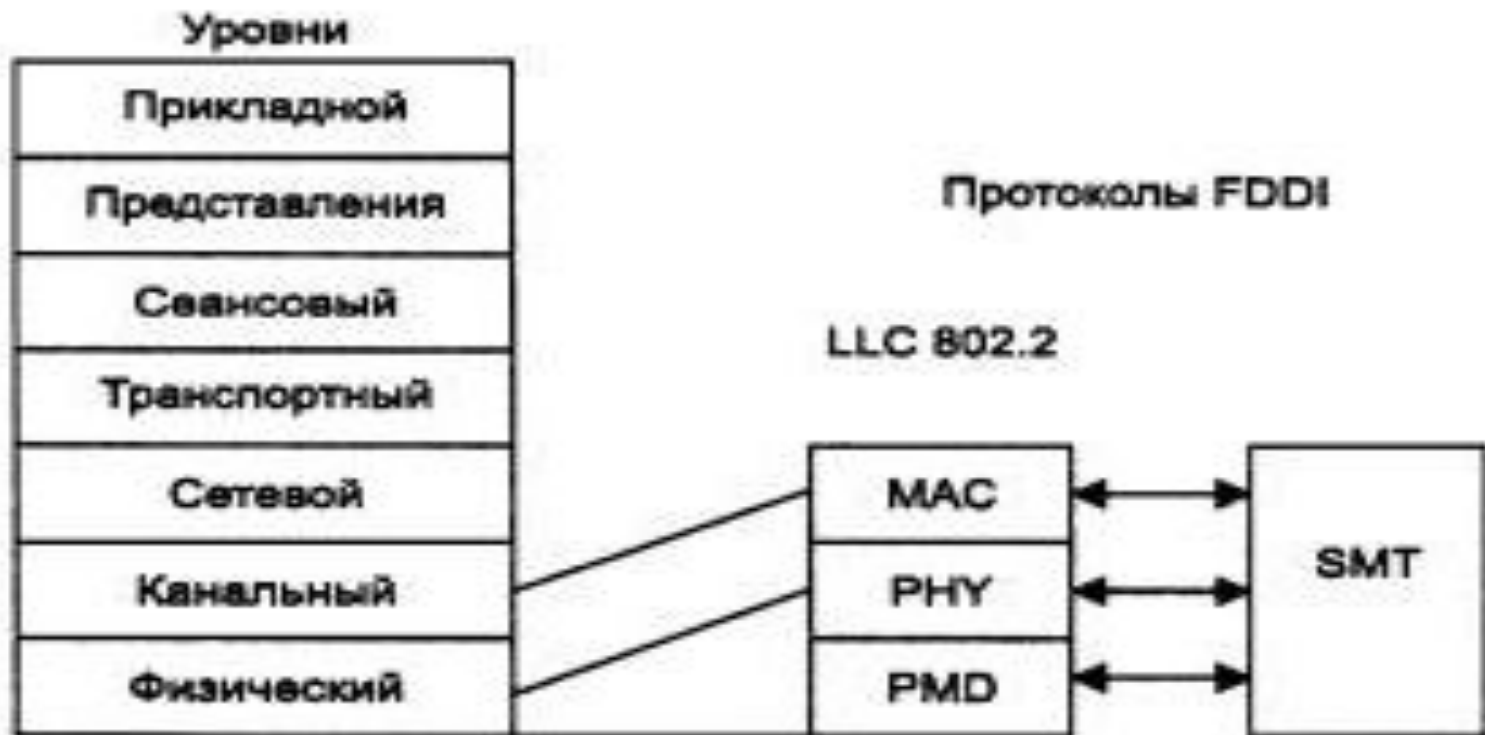
- Технология локальных сетей, в которой средой передачи данных является волоконно-оптический кабель
- Битовая скорость передачи данных - до 100 Мбит/с;
- Повышена отказоустойчивость сети за счет стандартных процедур ее восстановления после отказов различного рода - повреждения кабеля, некорректной работы узла, концентратора, возникновения высокого уровня помех на линии и т. п.;
- Эффективно использована потенциальная пропускную способность сети как для асинхронного, так и для синхронного (чувствительного к задержкам) трафиков.

Характеристика	FDDI	Ethernet	Token Ring
Битовая скорость	100 Мбит/с	10 Мбит/с	16 Мбит/с
Топология	Двойное кольцо деревьев	Шина/звезда	Звезда/кольцо
Метод доступа	Доля от времени оборота маркера	CSMA/CD	Приоритетная система резервирования
Среда передачи данных	Оптоволокно, неэкранированная витая пара категории 5	Толстый коаксиал, тонкий коаксиал, витая пара категории 3, оптоволокно	Экранированная и неэкранированная витая пара, оптоволокно
Максимальная длина сети (без мостов)	200 км (100 км на кольцо)	2500 м	4000 м
Максимальное расстояние между узлами	2 км (не больше 11 дБ потерь между узлами)	2500 м	100 м
Максимальное количество узлов	500 (1000 соединений)	1024	260 для экранированной витой пары, 72 для неэкранированной витой пары
Тактирование и восстановление после отказов	Распределенная реализация тактирования и восстановления после отказов	Не определены	Активный монитор

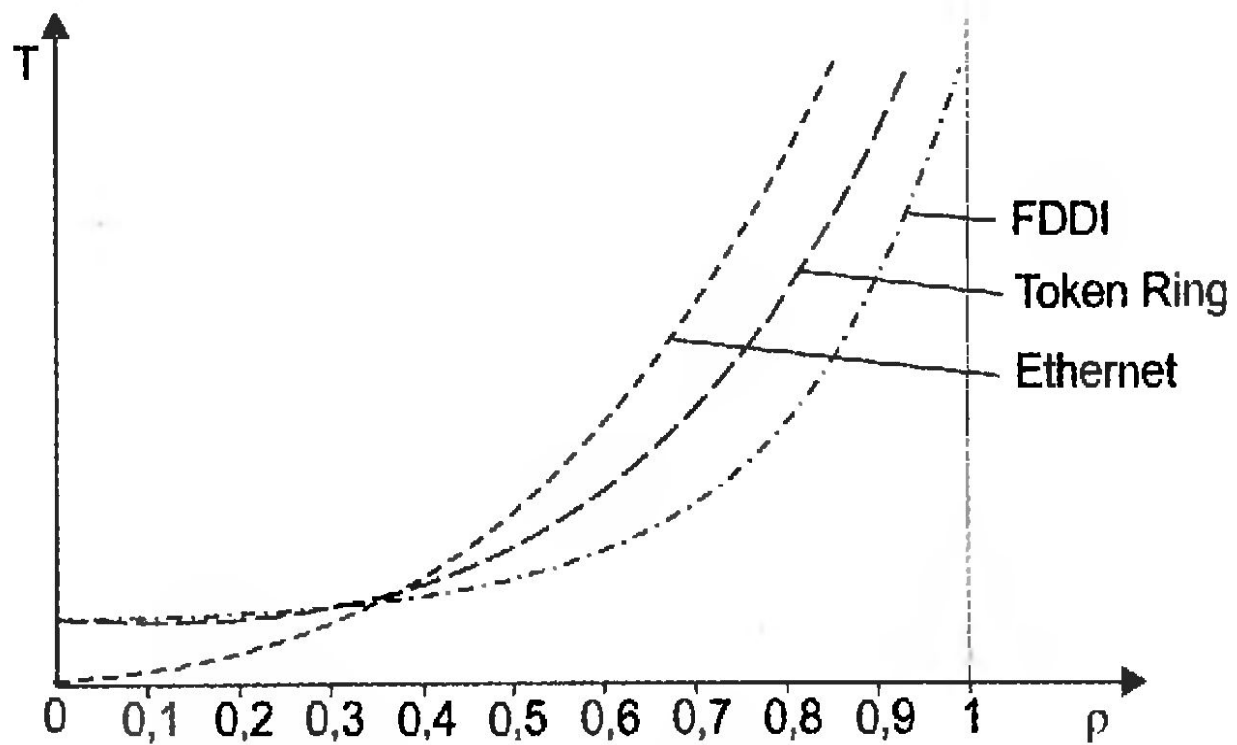
Реконфигурация колец FDDI при отказе



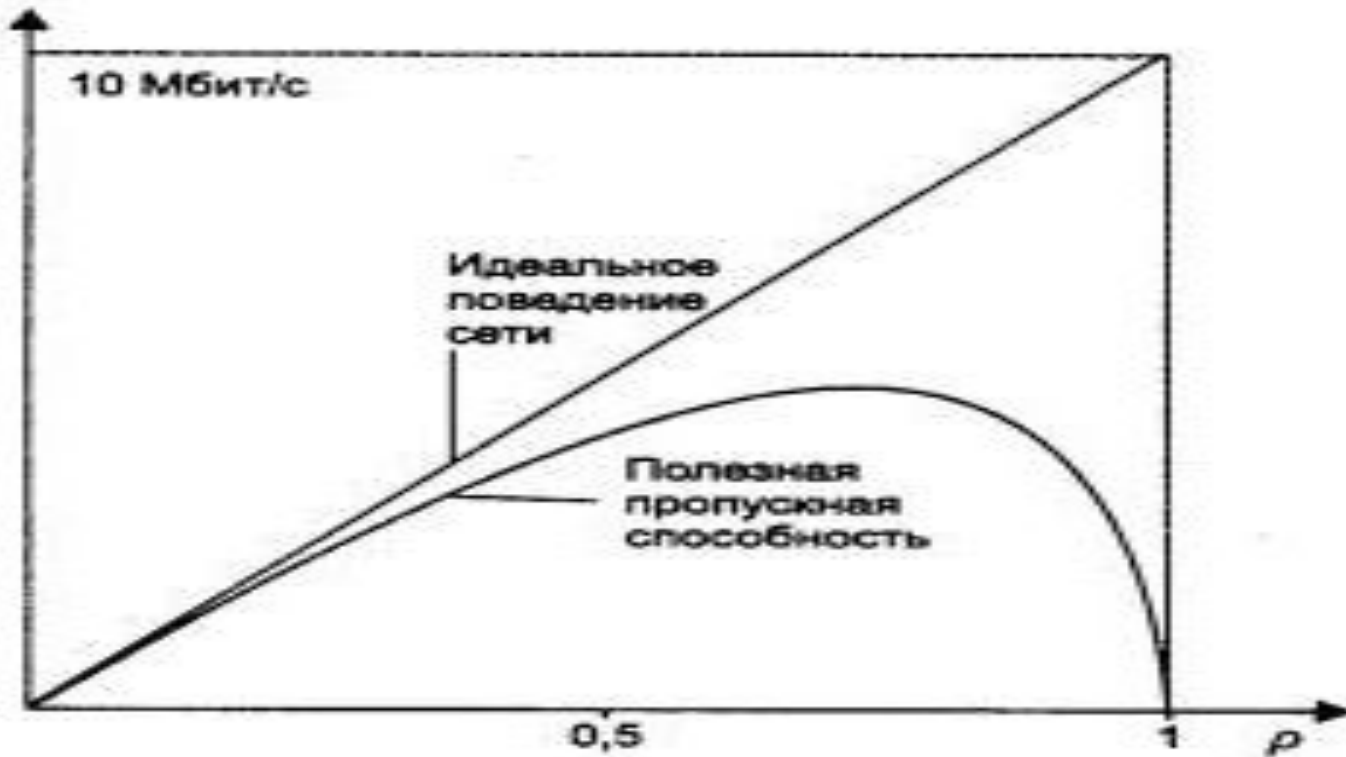
Структура протоколов технологии FDDI



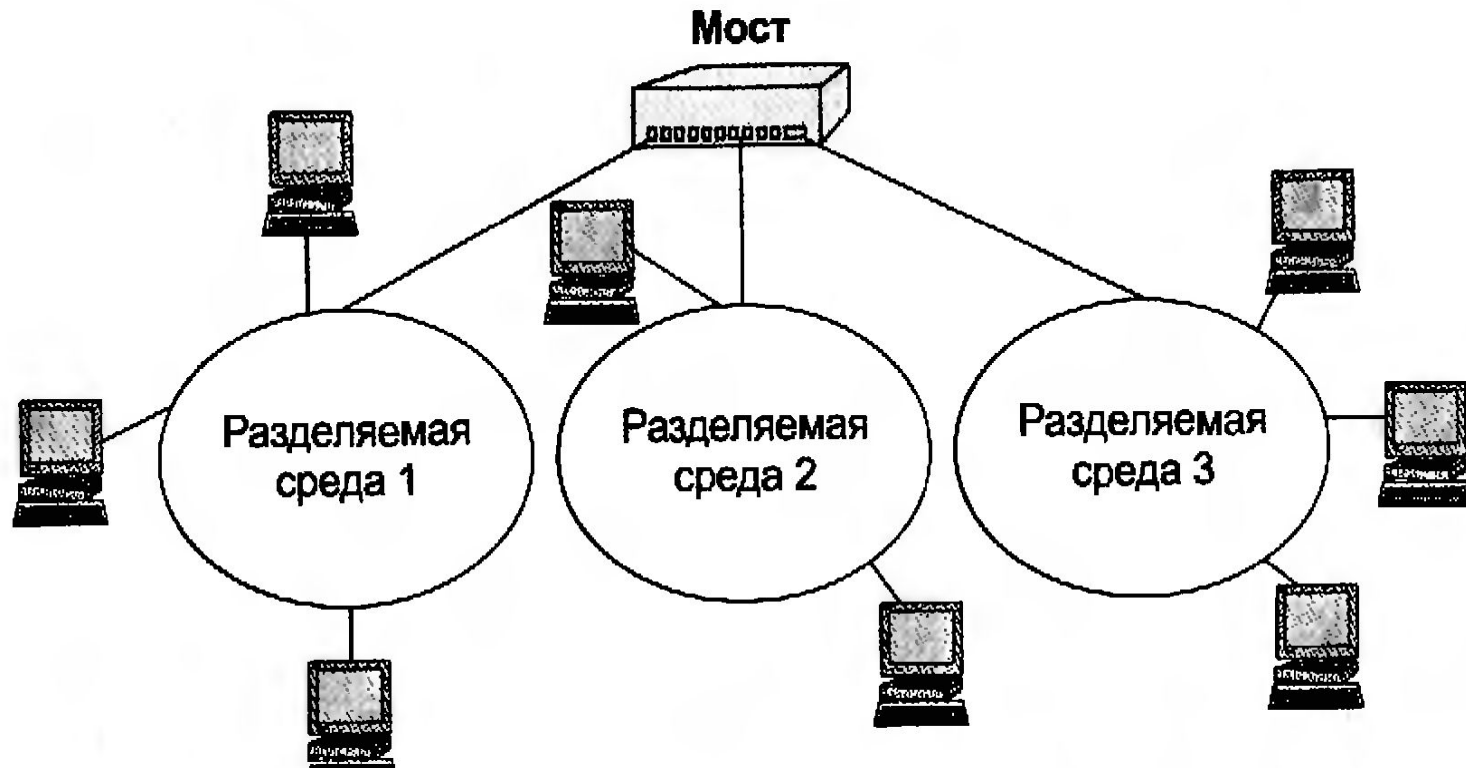
Задержки доступа к сети



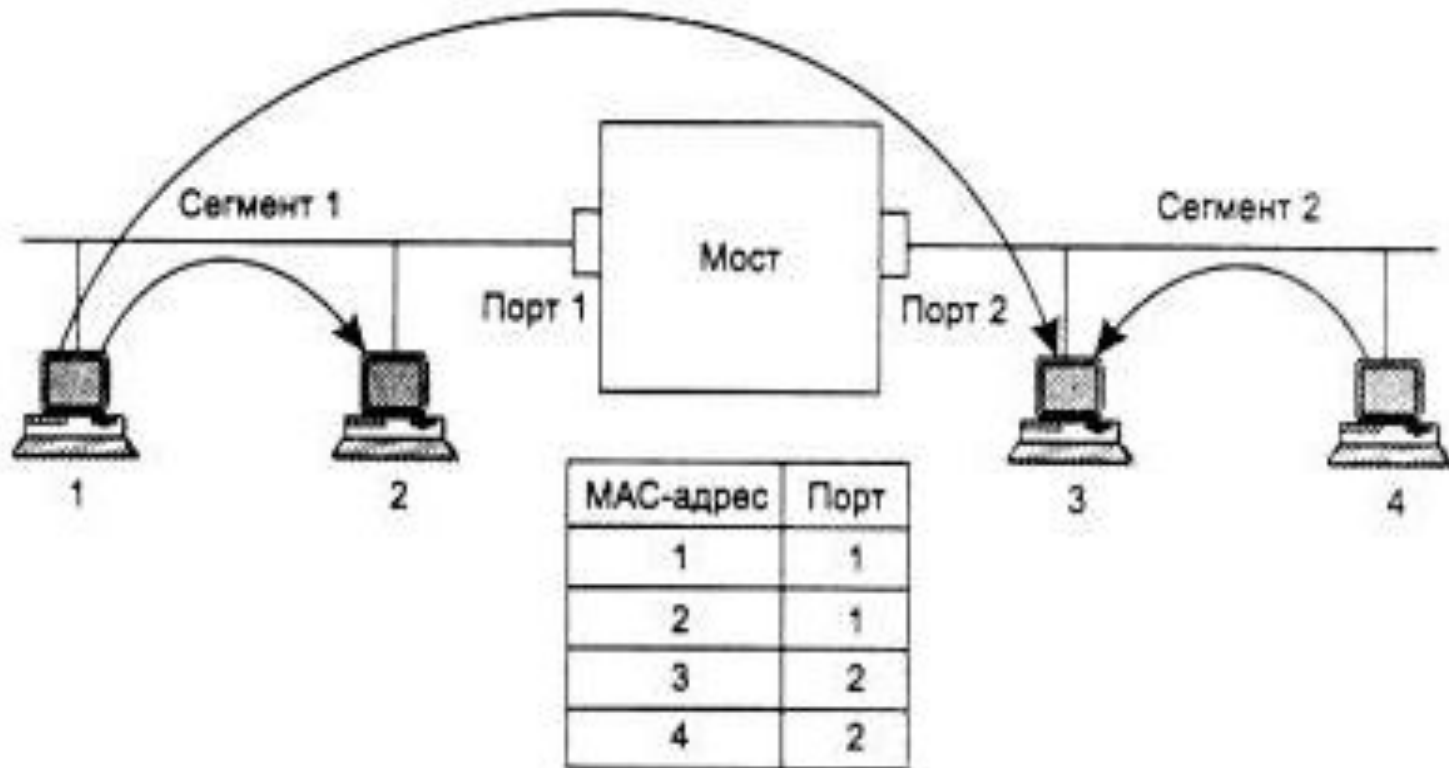
Зависимость полезной пропускной способности сети Ethernet от коэффициента использования



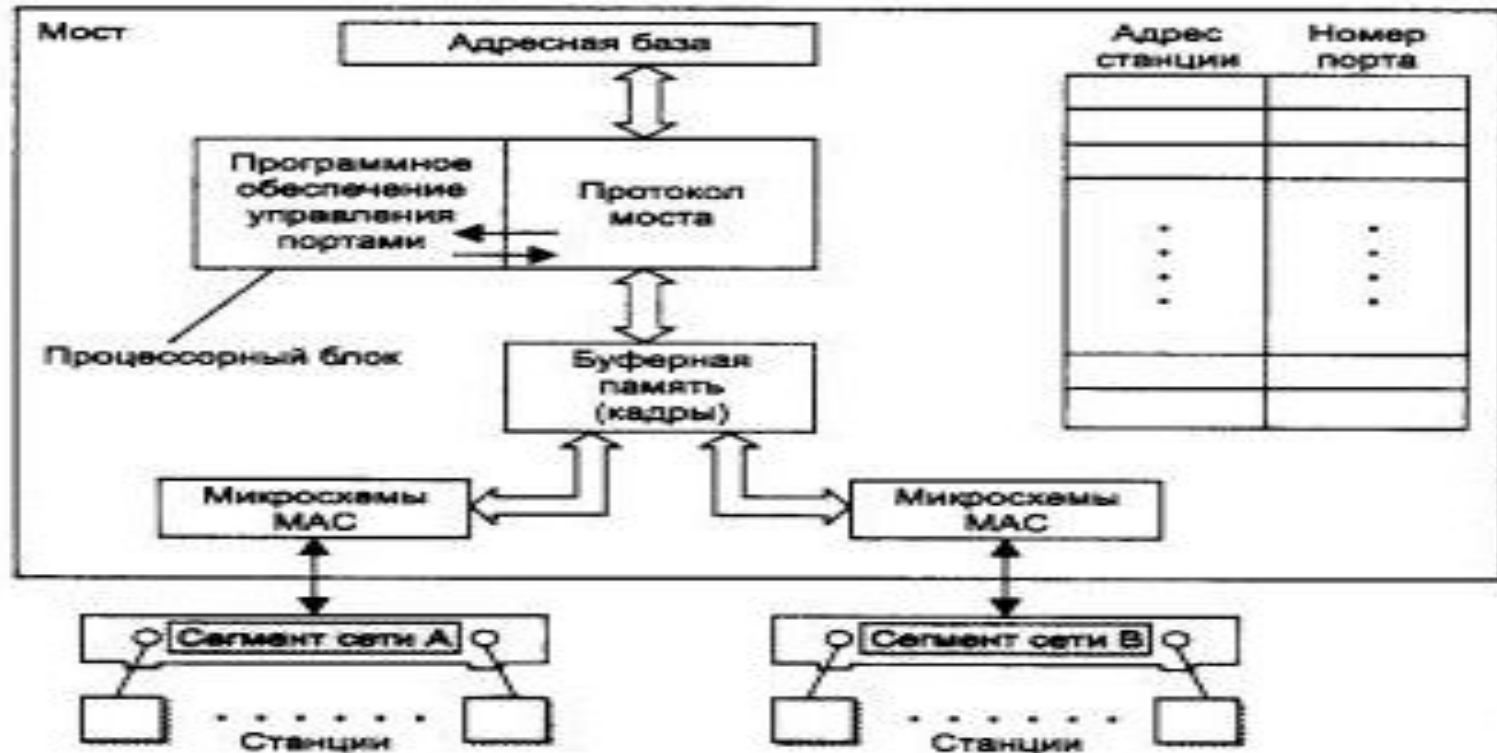
Коммутируемые сети Ethernet



Структуризация с помощью мостов



Структура моста



Мосты с маршрутизацией от источника



Ограничения топологии сети, построенной на мостах и коммутаторах

- Слабая защита от широковещательного шторма
- невозможность поддержки петлеобразных конфигураций сети
 - «размножение» кадра, то есть появление нескольких его копий
 - бесконечная циркуляция обеих копий кадра по петле в противоположных направлениях, а значит, засорение сети ненужным трафиком
 - постоянная перестройка мостами своих адресных таблиц,