



Базовые технологии локальных сетей

3.1. Протоколы и стандарты локальных сетей

3.1.1. Общая характеристика протоколов локальных сетей

При организации взаимодействия узлов в локальных сетях основная роль отводится протоколу канального уровня. Однако для того, чтобы канальный уровень мог справиться с этой задачей, структура локальных сетей должна быть вполне определенной, так, например, наиболее популярный протокол канального уровня - Ethernet - рассчитан на параллельное подключение всех узлов сети к общей для них шине - отрезку коаксиального кабеля или иерархической древовидной структуре сегментов, образованных повторителями. Протокол Token Ring также рассчитан на вполне определенную конфигурацию - соединение компьютеров в виде логического кольца.

Подобный подход, заключающийся в использовании простых структур кабельных соединений между компьютерами локальной сети, соответствовал основной цели, которую ставили перед собой разработчики первых локальных сетей во второй половине 70-х годов. Эта цель заключалась в нахождении простого и дешевого решения для объединения в вычислительную сеть нескольких десятков компьютеров, находящихся в пределах одного здания. Решение должно было быть недорогим, поскольку в сеть объединялись недорогие компьютеры - появившиеся и быстро распространившиеся тогда мини-компьютеры стоимостью в 10 000-20 000 долларов. Количество их в одной организации было небольшим, поэтому предел в несколько десятков (максимум - до сотни) компьютеров представлялся вполне достаточным для роста практически любой локальной сети.

Для упрощения и, соответственно, удешевления аппаратных и программных решений разработчики первых локальных сетей остановились на совместном использовании кабелей всеми компьютерами сети в режиме разделения времени, то есть режиме TDM. Наиболее явным образом режим совместного использования кабеля проявляется в классических сетях Ethernet, где коаксиальный кабель физически представляет собой неделимый отрезок кабеля, общий для всех узлов сети. Но и в сетях Token Ring и FDDI, где каждая соседняя пара компьютеров соединена, казалось бы, своими индивидуальными отрезками кабеля с концентратором, эти отрезки не могут использоваться компьютерами, которые непосредственно к ним подключены, в произвольный момент времени. Эти отрезки образуют логическое кольцо, доступ к которому как к единому целому может быть получен только по вполне определенному алгоритму, в котором участвуют все

компьютеры сети. Использование кольца как общего разделяемого ресурса упрощает алгоритмы передачи по нему кадров, так как в каждый конкретный момент времени кольцо занято только одним компьютером.

Использование разделяемых сред (shared media) позволяет упростить логику работы сети. Например, отпадает необходимость контроля переполнения узлов сети кадрами от многих станций, решивших одновременно обменяться информацией. В глобальных сетях, где отрезки кабелей, соединяющих отдельные узлы, не рассматриваются как общий ресурс, такая необходимость возникает, и для решения этой проблемы в протоколы обмена информацией вводятся весьма сложные процедуры управления потоком кадров, предотвращающие переполнение каналов связи и узлов сети.

Использование в локальных сетях очень простых конфигураций (общая шина и кольцо) наряду с положительными имело и отрицательные последствия, из которых наиболее неприятными были ограничения по производительности и надежности. Наличие только одного пути передачи информации, разделяемого всеми узлами сети, в принципе ограничивало пропускную способность сети пропускной способностью этого пути (которая делилась в среднем на число компьютеров сети), а надежность сети - надежностью этого пути. Поэтому по мере повышения популярности локальных сетей и расширения их сфер применения все больше стали применяться специальные коммуникационные устройства - мосты и маршрутизаторы, - которые в значительной мере снимали ограничения единственной разделяемой среды передачи данных. Базовые конфигурации в форме общей шины и кольца превратились в элементарные структуры локальных сетей, которые можно теперь соединять друг с другом более сложным образом, образуя параллельные основные или резервные пути между узлами.

Тем не менее внутри базовых структур по-прежнему работают все те же протоколы разделяемых единственных сред передачи данных, которые были разработаны более 15 лет назад. Это связано с тем, что хорошие скоростные и надежные характеристики кабелей локальных сетей удовлетворяли в течение всех этих лет пользователей небольших компьютерных сетей, которые могли построить сеть без больших затрат только с помощью сетевых адаптеров и кабеля. К тому же колоссальная инсталляционная база оборудования и программного обеспечения для технологий Ethernet и Token Ring способствовала тому, что сложился следующий подход: в пределах небольших сегментов используются старые протоколы в их неизменном виде, а объединение таких сегментов в общую сеть происходит с помощью дополнительного и достаточно сложного оборудования.

В последние несколько лет наметилось движение к отказу от разделяемых сред передачи данных в локальных сетях и переходу к применению активных коммутаторов, к которым конечные узлы присоединяются индивидуальными линиями связи. В чистом виде такой подход предлагается в технологии ATM (Asynchronous Transfer Mode), а в технологиях, носящих традиционные названия с приставкой switched (коммутируемый): switched Ethernet, switched Token Ring, switched FDDI, обычно используется смешанный подход, сочетающий разделяемые и индивидуальные среды передачи данных. Чаще всего конечные узлы соединяются в небольшие разделяемые сегменты с помощью повторителей, а сегменты соединяются друг с другом с помощью индивидуальных коммутируемых связей.

Существует и достаточно заметная тенденция к использованию в традиционных технологиях так называемой микросегментации, когда даже конечные узлы сразу

соединяются с коммутатором индивидуальными каналами. Такие сети получаются дороже разделяемых или смешанных, но производительность их выше.

При использовании коммутаторов у традиционных технологий появился новый режим работы - *полнодуплексный (full-duplex)*. В разделяемом сегменте станции всегда работают в *полудуплексном режиме (half-duplex)*, так как в каждый момент времени сетевой адаптер станции либо передает свои данные, либо принимает чужие, но никогда не делает это одновременно. Это справедливо для всех технологий локальных сетей, так как разделяемые среды поддерживаются не только классическими технологиями локальных сетей Ethernet, Token Ring, FDDI, но и всеми новыми - Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet.

В полнодуплексном режиме сетевой адаптер может одновременно передавать свои данные в сеть и принимать из сети чужие данные. Такой режим несложно обеспечивается при прямом соединении с мостом/коммутатором или маршрутизатором, так как вход и выход каждого порта такого устройства работают независимо друг от друга, каждый со своим буфером кадров.

Сегодня каждая технология локальных сетей приспособлена для работы как в полудуплексном, так и полнодуплексном режимах. В этих режимах ограничения, накладываемые на общую длину сети, существенно отличаются, так что одна и та же технология может позволять строить весьма различные сети в зависимости от выбранного режима работы (который зависит от того, какие устройства используются для соединения узлов - повторители или коммутаторы). Например, технология Fast Ethernet позволяет для полудуплексного режима строить сети диаметром не более 200 метров, а для полнодуплексного режима ограничений на диаметр сети не существует. Поэтому при сравнении различных технологий необходимо обязательно принимать во внимание возможность их работы в двух режимах. В данной главе изучается в основном полудуплексный режим работы протоколов, а полнодуплексный режим рассматривается в следующей главе, совместно с изучением коммутаторов.

Несмотря на появление новых технологий, классические протоколы локальных сетей Ethernet и Token Ring по прогнозам специалистов будут повсеместно использоваться еще по крайней мере лет 5-10, в связи с чем знание их деталей необходимо для успешного применения современной коммуникационной аппаратуры. Кроме того, некоторые современные высокопроизводительные технологии, такие как Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, в значительной степени сохраняют преемственность со своими предшественниками. Это еще раз подтверждает важность изучения классических протоколов локальных сетей, естественно, наряду с изучением новых технологий.

3.1.2. Структура стандартов IEEE 802.X

В 1980 году в институте IEEE был организован комитет 802 по стандартизации локальных сетей, в результате работы которого было принято семейство стандартов IEEE 802-х, которые содержат рекомендации по проектированию нижних уровней локальных сетей. Позже результаты работы этого комитета легли в основу комплекса международных стандартов ISO 8802-1...5. Эти стандарты были созданы на основе очень распространенных фирменных стандартов сетей Ethernet, ArcNet и Token Ring.

Помимо IEEE в работе по стандартизации протоколов локальных сетей принимали участие и другие организации. Так, для сетей, работающих на оптоволокне, американским

институтом по стандартизации ANSI был разработан стандарт FDDI, обеспечивающий скорость передачи данных 100 Мб/с. Работы по стандартизации протоколов ведутся также ассоциацией ECMA, которой приняты стандарты ECMA-80, 81, 82 для локальной сети типа Ethernet и впоследствии стандарты ECMA-89,90 по методу передачи маркера.

Стандарты семейства IEEE 802.X охватывают только два нижних уровня семи-уровневой модели OSI - физический и канальный. Это связано с тем, что именно эти уровни в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей. Старшие же уровни, начиная с сетевого, в значительной степени имеют общие черты как для локальных, так и для глобальных сетей.

Специфика локальных сетей также нашла свое отражение в разделении канального уровня на два подуровня, которые часто называют также уровнями. Канальный уровень (Data Link Layer) делится в локальных сетях на два подуровня:

- логической передачи данных (Logical Link Control, LLC);
- управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).

Уровень MAC появился из-за существования в локальных сетях разделяемой среды передачи данных. Именно этот уровень обеспечивает корректное совместное использование общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение той или иной станции сети. После того как доступ к среде получен, ею может пользоваться более высокий уровень - уровень LLC, организующий передачу логических единиц данных, кадров информации, с различным уровнем качества транспортных услуг. В современных локальных сетях получили распространение несколько протоколов уровня MAC, реализующих различные алгоритмы доступа к разделяемой среде. Эти протоколы полностью определяют специфику таких технологий, как Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Уровень LLC отвечает за передачу кадров данных между узлами с различной степенью надежности, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Именно через уровень LLC сетевой протокол запрашивает у канального уровня нужную ему транспортную операцию с нужным качеством. На уровне LLC существует несколько режимов работы, отличающихся наличием или отсутствием на этом уровне процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения, то есть отличающихся качеством транспортных услуг этого уровня.

Протоколы уровней MAC и LLC взаимно независимы - каждый протокол уровня MAC может применяться с любым протоколом уровня LLC, и наоборот.

Стандарты IEEE 802 имеют достаточно четкую структуру, приведенную на рис. 3.1:

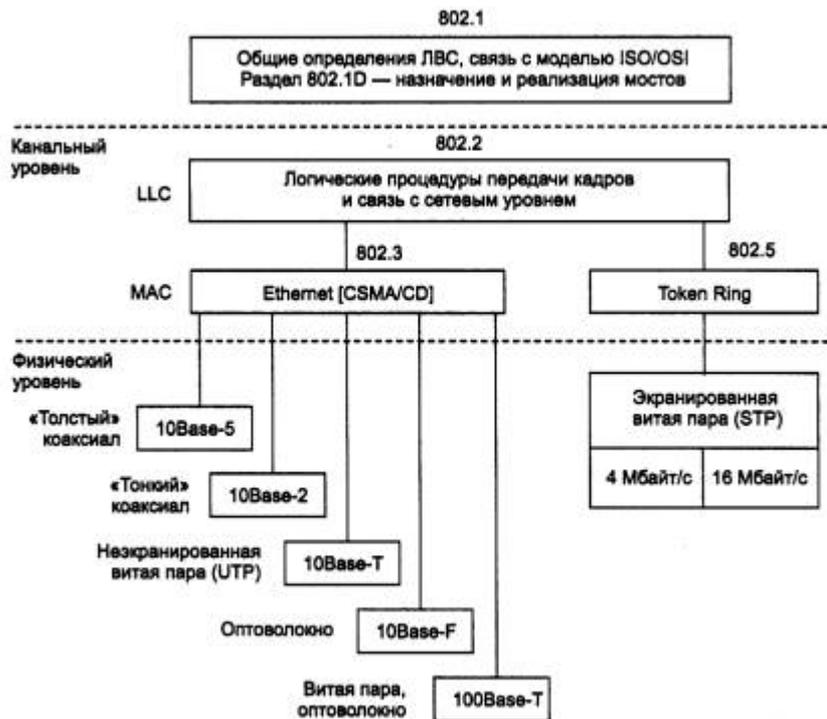


Рис. 3.1. Структура стандартов IEEE 802.X

Эта структура появилась в результате большой работы, проведенной комитетом 802 по выделению в разных фирменных технологиях общих подходов и общих функций, а также согласованию стилей их описания. В результате канальный уровень был разделен на два упомянутых подуровня. Описание каждой технологии разделено на две части: описание уровня MAC и описание физического уровня. Как видно из рисунка, практически у каждой технологии единственному протоколу уровня MAC соответствует несколько вариантов протоколов физического уровня (на рисунке в целях экономии места приведены только технологии Ethernet и Token Ring, но все сказанное справедливо также и для остальных технологий, таких как ArcNet, FDDI, 100VG-AnyLAN).

Над канальным уровнем всех технологий изображен общий для них протокол LLC, поддерживающий несколько режимов работы, но независимый от выбора конкретной технологии. Стандарт LLC курирует подкомитет 802.2. Даже технологии, стандартизованные не в рамках комитета 802, ориентируются на использование протокола LLC, определенного стандартом 802.2, например протокол FDDI, стандартизованный ANSI.

Особняком стоят стандарты, разрабатываемые подкомитетом 802.1. Эти стандарты носят общий для всех технологий характер. В подкомитете 802.1 были разработаны общие определения локальных сетей и их свойств, определена связь трех уровней модели IEEE 802 с моделью OSI. Но наиболее практически важными являются стандарты 802.1, которые описывают взаимодействие между собой различных технологий, а также стандарты по построению более сложных сетей на основе базовых топологий. Эта группа стандартов носит общее название стандартов межсетевого взаимодействия (internetworking). Сюда входят такие важные стандарты, как стандарт 802. ID, описывающий логику работы моста/коммутатора, стандарт 802.1H, определяющий работу транслирующего моста, который может без маршрутизатора объединять сети Ethernet и FDDI, Ethernet и Token Ring и т. п. Сегодня набор стандартов, разработанных

подкомитетом 802.1, продолжает расти. Например, недавно он пополнился важным стандартом 802.1Q, определяющим способ построения виртуальных локальных сетей VLAN в сетях на основе коммутаторов.

Стандарты 802.3,802.4,802.5 и 802.12 описывают технологии локальных сетей, которые появились в результате улучшений фирменных технологий, легших в их основу. Так, основу стандарта 802.3 составила технология Ethernet, разработанная компаниями Digital, Intel и Xerox (или Ethernet DIX), стандарт 802.4 появился как обобщение технологии ArcNet компании Datapoint Corporation, а стандарт 802.5 в основном соответствует технологии Token Ring компании IBM.

Исходные фирменные технологии и их модифицированные варианты - стандарты 802.x в ряде случаев долгие годы существовали параллельно. Например, технология ArcNet так до конца не была приведена в соответствие со стандартом 802.4 (теперь это делать поздно, так как где-то примерно с 1993 года производство оборудования ArcNet было свернуто). Расхождения между технологией Token Ring и стандартом 802.5 тоже периодически возникают, так как компания IBM регулярно вносит усовершенствования в свою технологию и комитет 802.5 отражает эти усовершенствования в стандарте с некоторым запозданием. Исключение составляет технология Ethernet. Последний фирменный стандарт Ethernet DIX был принят в 1980 году, и с тех пор никто больше не предпринимал попыток фирменного развития Ethernet. Все новшества в семействе технологий Ethernet вносятся только в результате принятия открытых стандартов комитетом 802.3.

Более поздние стандарты изначально разрабатывались не одной компанией, а группой заинтересованных компаний, а потом передавались в соответствующий подкомитет IEEE 802 для утверждения. Так произошло с технологиями Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet. Группа заинтересованных компаний образовывала сначала небольшое объединение, а затем по мере развития работ к нему присоединялись другие компании, так что процесс принятия стандарта носил открытый характер.

Сегодня комитет 802 включает следующий ряд подкомитетов, в который входят как уже упомянутые, так и некоторые другие:

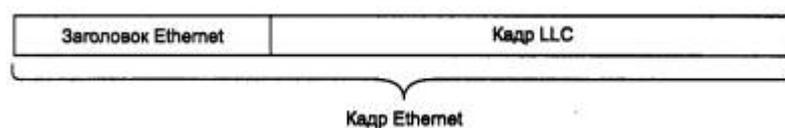
- 802.1 - Internetworking - объединение сетей;
- 802.2 - Logical Link Control, LLC - управление логической передачей данных;
- 802.3 - Ethernet с методом доступа CSMA/CD;
- 802.4 - Token Bus LAN - локальные сети с методом доступа Token Bus;
- 802.5 - Token Ring LAN - локальные сети с методом доступа 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.

Выводы

- При организации взаимодействия узлов в локальных сетях основная роль отводится классическим технологиям Ethernet, Token Ring, FDDI, разработанным более 15 лет назад и основанным на использовании разделяемых сред.
- Разделяемые среды поддерживаются не только классическими технологиями локальных сетей Ethernet, Token Ring, FDDI, но и новыми - Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet.
- Современной тенденцией является частичный или полный отказ от разделяемых сред: соединение узлов индивидуальными связями (например, в технологии ATM), широкое использование коммутируемых связей и микросегментации. Еще одна важная тенденция - появление полнодуплексного режима работы практически для всех технологий локальных сетей.
- Комитет IEEE 802.X разрабатывает стандарты, которые содержат рекомендации для проектирования нижних уровней локальных сетей - физического и канального. Специфика локальных сетей нашла свое отражение в разделении канального уровня на два подуровня - LLC и MAC.
- Стандарты подкомитета 802.1 носят общий для всех технологий характер и постоянно пополняются. Наряду с определением локальных сетей и их свойств, стандартами межсетевое взаимодействие, описанием логики работы моста/коммутатора к результатам работы комитета относятся и стандартизация сравнительно новой технологии виртуальных локальных сетей VLAN.
- Подкомитет 802.2 разработал и поддерживает стандарт LLC. Стандарты 802.3, 802.4, 802.5 описывают технологии локальных сетей, которые появились в результате улучшений фирменных технологий, легших в их основу, соответственно Ethernet, ArcNet, Token Ring.
- Более поздние стандарты изначально разрабатывались не одной компанией, а группой заинтересованных компаний, а потом передавались в соответствующий подкомитет IEEE 802 для утверждения.

3.2. Протокол LLC уровня управления логическим каналом (802.2)

Протокол LLC обеспечивает для технологий локальных сетей нужное качество услуг транспортной службы, передавая свои кадры либо дейтаграммным способом, либо с помощью процедур с установлением соединения и восстановлением кадров. Протокол LLC занимает уровень между сетевыми протоколами и протоколами уровня MAC. Протоколы сетевого уровня передают через межуровневый интерфейс данные для протокола LLC - свой пакет (например, пакет IP, IPX или NetBEUI), адресную информацию об узле назначения, а также требования к качеству транспортных услуг, которое протокол LLC должен обеспечить. Протокол LLC помещает пакет протокола верхнего уровня в свой кадр, который дополняется необходимыми служебными полями. Далее через межуровневый интерфейс протокол LLC передает свой кадр вместе с адресной информацией об узле назначения соответствующему протоколу уровня MAC, который упаковывает кадр LLC в свой кадр (например, кадр Ethernet).



В основу протокола LLC положен протокол HDLC (High-level Data Link Control Procedure), являющийся стандартом ISO. Собственно стандарт HDLC представляет собой

обобщение нескольких близких стандартов, характерных для различных технологий: протокола LAP-B сетей X.25 (стандарта, широко распространенного в территориальных сетях), LAP-D, используемого в сетях ISDN, LAP-M, работающего в современных модемах. В спецификации IEEE 802.2 также имеется несколько небольших отличий от стандарта HDLC.

Первоначально в фирменных технологиях подуровень LLC не выделялся в самостоятельный подуровень, да и его функции растворялись в общих функциях протокола канального уровня. Из-за больших различий в функциях протоколов фирменных технологий, которые можно отнести к уровню LLC, на уровне LLC пришлось ввести три типа процедур. Протокол сетевого уровня может обращаться к одной из этих процедур.

3.2.1. Три типа процедур уровня LLC

В соответствии со стандартом 802.2 уровень управления логическим каналом LLC предоставляет верхним уровням три типа процедур:

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

Этот набор процедур является общим для всех методов доступа к среде, определенных стандартами 802.3 - 802.5, а также стандартом FDDI и стандартом 802.12 на технологию 100VG-AnyLAN.

Процедура без установления соединения и без подтверждения LLC1 дает пользователю средства для передачи данных с минимумом издержек. Это дейтаграммный режим работы. Обычно этот вид процедуры используется, когда такие функции, как восстановление данных после ошибок и упорядочивание данных, выполняются протоколами вышележащих уровней, поэтому нет нужды дублировать их на уровне LLC.

Процедура с установлением соединений и подтверждением LLC2 дает пользователю возможность установить логическое соединение перед началом передачи любого блока данных и, если это требуется, выполнить процедуры восстановления после ошибок и упорядочивание потока этих блоков в рамках установленного соединения. Протокол LLC2 во многом аналогичен протоколам семейства HDLC (LAP-B, LAP-D, LAP-M), которые применяются в глобальных сетях для обеспечения надежной передачи кадров на зашумленных линиях. Протокол LLC2 работает в режиме скользящего окна.

В некоторых случаях (например, при использовании сетей в системах реального времени, управляющих промышленными объектами), когда временные издержки установления логического соединения перед отправкой данных неприемлемы, а подтверждение о корректности приема переданных данных необходимо, базовая процедура без установления соединения и без подтверждения не подходит. Для таких случаев предусмотрена дополнительная процедура, называемая процедурой без установления соединения, но с подтверждением LLC3.

Использование одного из трех режимов работы уровня LLC зависит от стратегии разработчиков конкретного стека протоколов. Например, в стеке TCP/IP уровень LLC всегда работает в режиме LLC1, выполняя простую работу извлечения из кадра и

демультиплексирования пакетов различных протоколов - IP, ARP, RARP. Аналогично используется уровень LLC стеком IPX/SPX.

А вот стек Microsoft/IBM, основанный на протоколе NetBIOS/NetBEUI, часто использует режим LLC2. Это происходит тогда, когда сам протокол NetBIOS/NetBEUI должен работать в режиме с восстановлением потерянных и искаженных данных. В этом случае эта работа перепоручается уровню LLC2. Если же протокол NetBIOS/NetBEUI работает в дейтаграммном режиме, то протокол LLC работает в режиме LLC1.

Режим LLC2 используется также стеком протоколов SNA в том случае, когда на нижнем уровне применяется технология Token Ring.

3.2.2. Структура кадров LLC. Процедура с восстановлением кадров LLC2

По своему назначению все кадры уровня LLC (называемые в стандарте 802.2 блоками данных - Protocol Data Unit, PDU) подразделяются на три типа - информационные, управляющие и нумерованные.

- *Информационные кадры (Information)* предназначены для передачи информации в процедурах с установлением логического соединения LLC2 и должны обязательно содержать поле информации. В процессе передачи информационных блоков осуществляется их нумерация в режиме скользящего окна.
- *Управляющие кадры (Supervisory)* предназначены для передачи команд и ответов в процедурах с установлением логического соединения LLC2, в том числе запросов на повторную передачу искаженных информационных блоков.
- *Нумерованные кадры (Unnumbered)* предназначены для передачи нумерованных команд и ответов, выполняющих в процедурах без установления логического соединения передачу информации, идентификацию и тестирование LLC-уровня, а в процедурах с установлением логического соединения LLC2 - установление и разъединение логического соединения, а также информирование об ошибках. Все типы кадров уровня LLC имеют единый формат:

| | | | | | |
|----------|--|---|----------------------------|---------------|----------|
| Флаг | Адрес точки входа службы назначения (DSAP) | Адрес точки входа службы источника (SSAP) | Управляющее поле (Control) | Данные (Data) | Флаг |
| 01111110 | | | | | 01111110 |

Кадр LLC обрамляется двумя однобайтовыми полями «Флаг», имеющими значение 01111110. Флаги используются на уровне MAC для определения границ кадра LLC. В соответствии с многоуровневой структурой протоколов стандартов IEEE 802, кадр LLC вкладывается в кадр уровня MAC: кадр Ethernet, Token Ring, FDDI и т. д. При этом флаги кадра LLC отбрасываются.

Кадр LLC содержит поле данных и заголовок, который состоит из трех полей:

- адрес точки входа службы назначения (Destination Service Access Point, DSAP);
- адрес точки входа службы источника (Source Service Access Point, SSAP);
- управляющее поле (Control).

Поле данных кадра LLC предназначено для передачи по сети пакетов протоколов вышележащих уровней - сетевых протоколов IP, IPX, AppleTalk, DECnet, в редких случаях - прикладных протоколов, когда те вкладывают свои сообщения непосредственно в кадры

канального уровня. Поле данных может отсутствовать в управляющих кадрах и некоторых нумерованных кадрах.

Адресные поля DSAP и SSAP занимают по 1 байту. Они позволяют указать, какая служба верхнего уровня пересылает данные с помощью этого кадра. Программному обеспечению узлов сети при получении кадров канального уровня необходимо распознать, какой протокол вложил свой пакет в поле данных поступившего кадра, чтобы передать извлеченный из кадра пакет нужному протоколу верхнего уровня для последующей обработки. Для идентификации этих протоколов вводятся так называемые адреса точки входа службы (Service Access Point, SAP). Значения адресов SAP приписываются протоколам в соответствии со стандартом 802.2. Например, для протокола IP значение SAP равно 0x6, для протокола NetBIOS - 0xF0. Для одних служб определена только одна точка входа и, соответственно, только один SAP, а для других - несколько, когда адреса DSAP и SSAP совпадают. Например, если в кадре LLC значения DSAP и SSAP содержат код протокола IPX, то обмен кадрами осуществляется между двумя IPX-модулями, выполняющимися в разных узлах. Но в некоторых случаях в кадре LLC указываются различающиеся DSAP и SSAP. Это возможно только в тех случаях, когда служба имеет несколько адресов SAP, что может быть использовано протоколом узла отправителя в специальных целях, например для уведомления узла получателя о переходе протокола-отправителя в некоторый специфический режим работы. Этим свойством протокола LLC часто пользуется протокол NetBEUI.

Поле управления (1 или 2 байта) имеет сложную структуру при работе в режиме LLC2 и достаточно простую структуру при работе в режиме LLC1 (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Структура поля управления

В режиме LLC1 используется только один тип кадра - ненумерованный. У этого кадра поле управления имеет длину в один байт. Все подполя поля управления ненумерованных кадров принимают нулевые значения, так что значимыми остаются только первые два бита поля, используемые как признак типа кадра. Учитывая, что в протоколе Ethernet при записи реализован обратный порядок бит в байте, то запись поля управления кадра LLC1, вложенного в кадр протокола Ethernet, имеет значение 0x03 (здесь и далее префикс 0x обозначает шестнадцатеричное представление).

В режиме LLC2 используются все три типа кадров. В этом режиме кадры делятся на команды и ответы на эти команды. Бит P/F (Poll/Final) имеет следующее значение: в командах он называется битом Poll и требует, чтобы на команду был дан ответ, а в ответах он называется битом Final и говорит о том, что ответ состоит из одного кадра.

Ненумерованные кадры используются на начальной стадии взаимодействия двух узлов, а именно стадии установления соединения по протоколу LLC2. Поле M ненумерованных кадров определяет несколько типов команд, которыми пользуются два узла на этапе установления соединения. Ниже приведены примеры некоторых команд.

- *Установить сбалансированный асинхронный расширенный режим (SABME)*. Эта команда является запросом на установление соединения. Она является одной из команд полного набора команд такого рода протокола HDLC. Расширенный режим означает использование двухбайтных полей управления для кадров остальных двух типов.
- *Ненумерованное подтверждение (UA)*. Служит для подтверждения установления или разрыва соединения.
- *Сброс соединения (REST)*. Запрос на разрыв соединения.

После установления соединения данные и положительные квитанции начинают передаваться в информационных кадрах. Логический канал протокола LLC2 является дуплексным, так что данные могут передаваться в обоих направлениях. Если поток дуплексный, то положительные квитанции на кадры также доставляются в информационных кадрах. Если же потока кадров в обратном направлении нет или же нужно передать отрицательную квитанцию, то используются супервизорные кадры.

В информационных кадрах имеется поле N(S) для указания номера отправленного кадра, а также поле N(R) для указания номера кадра, который приемник ожидает получить от передатчика следующим. При работе протокола LLC2 используется скользящее окно размером в 127 кадров, а для их нумерации циклически используется 128 чисел, от 0 до 127.

Приемник всегда помнит номер последнего кадра, принятого от передатчика, и поддерживает переменную с указанным номером кадра, который он ожидает принять от передатчика следующим. Обозначим его через V(R). Именно это значение передается в поле N(R) кадра, посылаемого передатчику. Если в ответ на этот кадр приемник принимает кадр, в котором номер посланного кадра N(S) совпадает с номером ожидаемого кадра V(R), то такой кадр считается корректным (если, конечно, корректна его контрольная сумма). Если приемник принимает кадр с номером N(S), неравным V(R), то этот кадр отбрасывается и посылается отрицательная квитанция *Отказ (REJ)* с номером V(R). При приеме отрицательной квитанции передатчик обязан повторить передачу кадра с номером V(R), а также всех кадров с большими номерами, которые он уже успел отослать, пользуясь механизмом окна в 127 кадров.

В состав супервизорных кадров входят следующие:

- *Отказ (REJect)*;
- *Приемник не готов (Receiver Not Ready, RNR)*;
- *Приемник готов (Receiver Ready, RR)*.

Команда RR с номером N(R) часто используется как положительная квитанция, когда поток данных от приемника к передатчику отсутствует, а команда RNR - для замедления потока кадров, поступающих на приемник. Это может быть необходимо, если приемник не успевает обработать поток кадров, присылаемых ему с большой скоростью за счет механизма окна. Получение кадра RNR требует от передатчика полной приостановки передачи, до получения кадра RR. С помощью этих кадров осуществляется управление потоком данных, что особенно важно для коммутируемых сетей, в которых нет разделяемой среды, автоматически тормозящей работу передатчика за счет того, что новый кадр нельзя передать, пока приемник не закончил прием предыдущего.

Выводы

- Протокол LLC обеспечивает для технологий локальных сетей нужное качество транспортной службы, передавая свои кадры либо дейтаграммным способом, либо с помощью процедур с установлением соединения и восстановлением кадров.
- LLC предоставляет верхним уровням три типа процедур: процедуру без установления соединения и без подтверждения; процедуру с установлением соединения и подтверждением; процедуру без установления соединения, но с подтверждением.
- Логический канал протокола LLC2 является дуплексным, так что данные могут передаваться в обоих направлениях.
- Протокол LLC в режиме с установлением соединения использует алгоритм скользящего окна.
- *Протокол LLC с помощью управляющих кадров имеет возможность регулировать поток данных, поступающих от узлов сети. Это особенно важно для коммутируемых сетей, в которых нет разделяемой среды, автоматически тормозящей работу передатчика при высокой загрузке сети.*

3.3. Технология Ethernet (802.3)

Ethernet - это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей. Общее количество сетей, работающих по протоколу Ethernet в настоящее время, оценивается в 5 миллионов, а количество компьютеров с установленными сетевыми адаптерами Ethernet - в 50 миллионов.

Когда говорят Ethernet, то под этим обычно понимают любой из вариантов этой технологии. В более узком смысле Ethernet - это сетевой стандарт, основанный на экспериментальной сети Ethernet Network, которую фирма Xerox разработала и реализовала в 1975 году. Метод доступа был опробован еще раньше: во второй половине 60-х годов в радиосети Гавайского университета использовались различные варианты случайного доступа к общей радиосреде, получившие общее название Aloha. В 1980 году фирмы DEC, Intel и Xerox совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля, который стал последней версией фирменного стандарта Ethernet. Поэтому фирменную версию стандарта Ethernet называют стандартом Ethernet DIX или Ethernet II.

На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3, который во многом совпадает со своим предшественником, но некоторые различия все же имеются. В то время как в стандарте IEEE 802.3 различаются уровни MAC и LLC, в оригинальном Ethernet оба эти уровня объединены в единый канальный уровень, в Ethernet DIX определяется протокол тестирования конфигурации (Ethernet Configuration Test Protocol), который отсутствует в IEEE 802.3. Несколько отличается и формат кадра, хотя минимальные и максимальные размеры кадров в этих стандартах совпадают. Часто для того, чтобы отличить Ethernet, определенный стандартом IEEE, и фирменный Ethernet DIX, первый называют технологией 802.3, а за фирменным оставляют название Ethernet без дополнительных обозначений.

В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 имеет различные модификации - 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB.

В 1995 году был принят стандарт Fast Ethernet, который во многом не является самостоятельным стандартом, о чем говорит и тот факт, что его описание просто является дополнительным разделом к основному стандарту 802,3 - разделом 802.3ч. Аналогично,

принятый в 1998 году стандарт Gigabit Ethernet описан в разделе 802.3z основного документа.

Для передачи двоичной информации по кабелю для всех вариантов физического уровня технологии Ethernet, обеспечивающих пропускную способность 10 Мбит/с, используется манчестерский код.

Все виды стандартов Ethernet (в том числе Fast Ethernet и Gigabit Ethernet) используют один и тот же метод разделения среды передачи данных - метод CSMA/CD.

3.3.1. Метод доступа CSMA/CD

В сетях Ethernet используется метод доступа к среде передачи данных, называемый методом коллективного доступа с опознаванием несущей и обнаружением коллизий (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD).

Этот метод применяется исключительно в сетях с логической общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Одновременно все компьютеры сети имеют возможность немедленно (с учетом задержки распространения сигнала по физической среде) получить данные, которые любой из компьютеров начал передавать на общую шину (рис. 3.3). Простота схемы подключения - это один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet. Говорят, что кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме коллективного доступа (Multiply Access, MA).



Рис. 3.3. Метод случайного доступа CSMA/CD

Этапы доступа к среде

Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры определенной структуры и снабжаются уникальным адресом станции назначения.

Чтобы получить возможность передавать кадр, станция должна убедиться, что разделяемая среда свободна. Это достигается прослушиванием основной гармоники сигнала, которая также называется несущей частотой (carrier-sense, CS). Признаком незанятости среды является отсутствие на ней несущей частоты, которая при манчестерском способе кодирования равна 5-10 МГц, в зависимости от последовательности единиц и нулей, передаваемых в данный момент.

Если среда свободна, то узел имеет право начать передачу кадра. Этот кадр изображен на рис. 3.3 первым. Узел 1 обнаружил, что среда свободна, и начал передавать свой кадр. В классической сети Ethernet на коаксиальном кабеле сигналы передатчика узла 1 распространяются в обе стороны, так что все узлы сети их получают. Кадр данных всегда сопровождается *преамбулой (preamble)*, которая состоит из 7 байт, состоящих из значений 10101010, и 8-го байта, равного 10101011. Преамбула нужна для вхождения приемника в побитовый и побайтовый синхронизм с передатчиком.

Все станции, подключенные к кабелю, могут распознать факт передачи кадра, и та станция, которая узнает собственный адрес в заголовках кадра, записывает его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные, передает их вверх по своему стеку, а затем посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции источника содержится в исходном кадре, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.

Узел 2 во время передачи кадра узлом 1 также пытался начать передачу своего кадра, однако обнаружил, что среда занята - на ней присутствует несущая частота, - поэтому узел 2 вынужден ждать, пока узел 1 не прекратит передачу кадра.

После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать технологическую паузу (Inter Packet Gap) в 9,6 мкс. Эта пауза, называемая также межкадровым интервалом, нужна для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние, а также для предотвращения монопольного захвата среды одной станцией. После окончания технологической паузы узлы имеют право начать передачу своего кадра, так как среда свободна. Из-за задержек распространения сигнала по кабелю не все узлы строго одновременно фиксируют факт окончания передачи кадра узлом 1.

В приведенном примере узел 2 дождался окончания передачи кадра узлом 1, сделал паузу в 9,6 мкс и начал передачу своего кадра.

Возникновение коллизии

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общей среде. Механизм прослушивания среды и пауза между кадрами не гарантируют от возникновения такой ситуации, когда две или более станции одновременно решают, что среда свободна, и начинают передавать свои кадры. Говорят, что при этом происходит *коллизия (collision)*, так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле и происходит искажение информации - методы кодирования, используемые в Ethernet, не позволяют выделять сигналы каждой станции из общего сигнала.

ПРИМЕЧАНИЕ Заметим, что этот факт отражен в составляющей «Base(band)», присутствующей в названиях всех физических протоколов технологии Ethernet (например, 10Base-2, 10Base-T и т. п.). Baseband network означает сеть с немодулированной передачей, в которой сообщения пересылаются в цифровой форме по единственному каналу, без частотного деления.

Коллизия - это нормальная ситуация в работе сетей Ethernet. В примере, изображенном на рис. 3.4, коллизия произошла из-за одновременной передачи данных узлами 3 и У. Для возникновения коллизии не обязательно, чтобы несколько станций начали передачу абсолютно одновременно, такая ситуация маловероятна. Гораздо вероятней, что коллизия возникает из-за того, что один узел начинает передачу раньше другого, но до второго узла сигналы первого просто не успевают дойти к тому времени, когда второй узел решает начать передачу своего кадра. То есть коллизии - это следствие распределенного характера сети.

Чтобы корректно обработать коллизия, все станции одновременно наблюдают за возникающими на кабеле сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется *обнаружение коллизии (collision detection, CD)*. Для увеличения вероятности скорейшего обнаружения коллизии всеми станциями сети станция, которая обнаружила коллизия, прерывает передачу своего кадра (в произвольном месте, возможно, и не на границе байта) и усиливает ситуацию коллизии посылкой в сеть специальной последовательности из 32 бит, называемой *jam-последовательностью*.

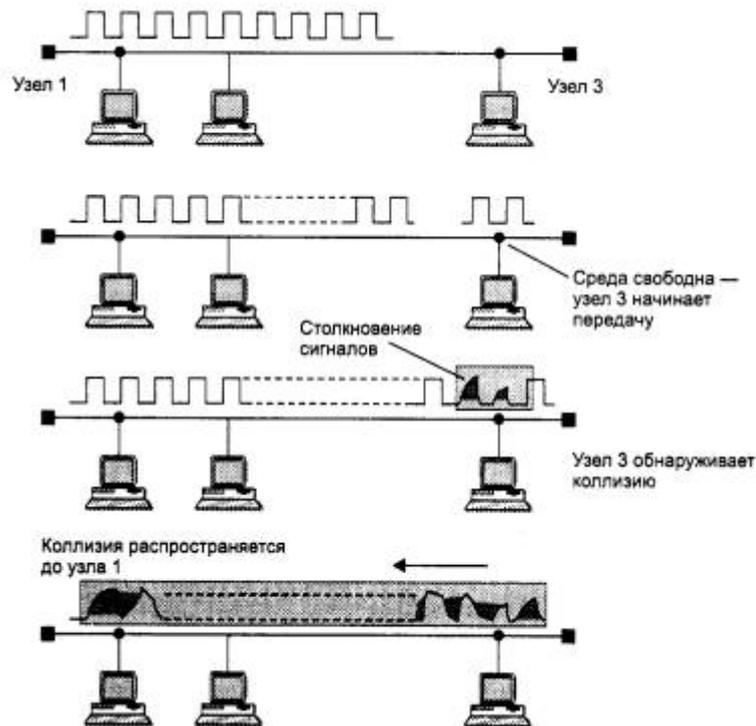


Рис. 3.4. Схема возникновения и распространения коллизии

После этого обнаружившая коллизия передающая станция обязана прекратить передачу и сделать паузу в течение короткого случайного интервала времени. Затем она может снова предпринять попытку захвата среды и передачи кадра. Случайная пауза выбирается по следующему алгоритму:

Пауза = L *(интервал отсрочки),

где интервал отсрочки равен 512 битовым интервалам (в технологии Ethernet принято все интервалы измерять в битовых интервалах; битовый интервал обозначается как bt и

соответствует времени между появлением двух последовательных бит данных на кабеле; для скорости 10 Мбит/с величина битового интервала равна 0,1 мкс или 100 нс);

L представляет собой целое число, выбранное с равной вероятностью из диапазона $[0, 2^N]$, где N - номер повторной попытки передачи данного кадра: 1,2,..., 10.

После 10-й попытки интервал, из которого выбирается пауза, не увеличивается. Таким образом, случайная пауза может принимать значения от 0 до 52,4 мс.

Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизию, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.

Из описания метода доступа видно, что он носит вероятностный характер, и вероятность успешного получения в свое распоряжение общей среды зависит от загруженности сети, то есть от интенсивности возникновения в станциях потребности в передаче кадров. При разработке этого метода в конце 70-х годов предполагалось, что скорость передачи данных в 10 Мбит/с очень высока по сравнению с потребностями компьютеров во взаимном обмене данными, поэтому загрузка сети будет всегда небольшой. Это предположение остается иногда справедливым и по сей день, однако уже появились приложения, работающие в реальном масштабе времени с мультимедийной информацией, которые очень загружают сегменты Ethernet. При этом коллизии возникают гораздо чаще. При значительной интенсивности коллизий полезная пропускная способность сети Ethernet резко падает, так как сеть почти постоянно занята повторными попытками передачи кадров. Для уменьшения интенсивности возникновения коллизий нужно либо уменьшить трафик, сократив, например, количество узлов в сегменте или заменив приложения, либо повысить скорость протокола, например перейти на Fast Ethernet.

Следует отметить, что метод доступа CSMA/CD вообще не гарантирует станции, что она когда-либо сможет получить доступ к среде. Конечно, при небольшой загрузке сети вероятность такого события невелика, но при коэффициенте использования сети, приближающемся к 1, такое событие становится очень вероятным. Этот недостаток метода случайного доступа - плата за его чрезвычайную простоту, которая сделала технологию Ethernet самой недорогой. Другие методы доступа - маркерный доступ сетей Token Ring и FDDI, метод Demand Priority сетей 100VG-AnyLAN - свободны от этого недостатка.

Время двойного оборота и распознавание коллизий

Четкое распознавание коллизий всеми станциями сети является необходимым условием корректной работы сети Ethernet. Если какая-либо передающая станция не распознает коллизию и решит, что кадр данных ею передан верно, то этот кадр данных будет утерян. Из-за наложения сигналов при коллизии информация кадра исказится, и он будет отбракован принимающей станцией (возможно, из-за несовпадения контрольной суммы). Скорее всего, искаженная информация будет повторно передана каким-либо протоколом верхнего уровня, например транспортным или прикладным, работающим с установлением соединения. Но повторная передача сообщения протоколами верхних уровней произойдет через значительно более длительный интервал времени (иногда даже через несколько секунд) по сравнению с микросекундными интервалами, которыми оперирует протокол Ethernet. Поэтому если коллизии не будут надежно распознаваться узлами сети Ethernet, то это приведет к заметному снижению полезной пропускной способности данной сети.

Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение:

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

где T_{\min} - время передачи кадра минимальной длины, а PDV - время, за которое сигнал коллизии успевает распространиться до самого дальнего узла сети. Так как в худшем случае сигнал должен пройти дважды между наиболее удаленными друг от друга станциями сети (в одну сторону проходит неискаженный сигнал, а на обратном пути распространяется уже искаженный коллизией сигнал), то это время называется *временем двойного оборота (Path Delay Value, PDV)*.

При выполнении этого условия передающая станция должна успевать обнаружить коллизию, которую вызвал переданный ее кадр, еще до того, как она закончит передачу этого кадра.

Очевидно, что выполнение этого условия зависит, с одной стороны, от длины минимального кадра и пропускной способности сети, а с другой стороны, от длины кабельной системы сети и скорости распространения сигнала в кабеле (для разных типов кабеля эта скорость несколько отличается).

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе узлов сети коллизии всегда четко распознавались. При выборе параметров, конечно, учитывалось и приведенное выше соотношение, связывающее между собой минимальную длину кадра и максимальное расстояние между станциями в сегменте сети.

В стандарте Ethernet принято, что минимальная длина поля данных кадра составляет 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 определено ограничение на расстояние между станциями.

Итак, в 10-мегабитном Ethernet время передачи кадра минимальной длины равно 575 битовых интервалов, следовательно, время двойного 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 это время сигнал должен пройти по линии связи дважды, расстояние между двумя узлами не должно быть больше 6 635 м. В стандарте величина этого расстояния выбрана существенно меньше, с учетом других, более строгих ограничений.

Одно из таких ограничений связано с предельно допустимым затуханием сигнала. Для обеспечения необходимой мощности сигнала при его прохождении между наиболее удаленными друг от друга станциями сегмента кабеля максимальная длина непрерывного сегмента толстого коаксиального кабеля с учетом вносимого им затухания выбрана в 500 м. Очевидно, что на кабеле в 500 м условия распознавания коллизий будут выполняться с большим запасом для кадров любой стандартной длины, в том числе и 72 байт (время двойного оборота по кабелю 500 м составляет всего 43,3 битовых интервала). Поэтому минимальная длина кадра могла бы быть установлена еще меньше. Однако разработчики технологии не стали уменьшать минимальную длину кадра, имея в виду многосегментные сети, которые строятся из нескольких сегментов, соединенных повторителями.

Повторители увеличивают мощность передаваемых с сегмента на сегмент сигналов, в результате затухание сигналов уменьшается и можно использовать сеть гораздо большей

длины, состоящую из нескольких сегментов. В коаксиальных реализациях Ethernet разработчики ограничили максимальное количество сегментов в сети пятью, что в свою очередь ограничивает общую длину сети 2500 метрами. Даже в такой многосегментной сети условие обнаружения коллизий по-прежнему выполняется с большим запасом (сравним полученное из условия допустимого затухания расстояние в 2500 м с вычисленным выше максимально возможным по времени распространения сигнала расстоянием 6635 м). Однако в действительности временной запас является существенно меньше, поскольку в многосегментных сетях сами повторители вносят в распространение сигнала дополнительную задержку в несколько десятков битовых интервалов. Естественно, небольшой запас был сделан также для компенсации отклонений параметров кабеля и повторителей.

В результате учета всех этих и некоторых других факторов было тщательно подобрано соотношение между минимальной длиной кадра и максимально возможным расстоянием между станциями сети, которое обеспечивает надежное распознавание коллизий. Это расстояние называют также максимальным диаметром сети.

С увеличением скорости передачи кадров, что имеет место в новых стандартах, базирующихся на том же методе доступа CSMA/CD, например Fast Ethernet, максимальное расстояние между станциями сети уменьшается пропорционально увеличению скорости передачи. В стандарте Fast Ethernet оно составляет около 210 м, а в стандарте Gigabit Ethernet оно было бы ограничено 25 метрами, если бы разработчики стандарта не предприняли некоторых мер по увеличению минимального размера пакета.

В табл. 3.1 приведены значения основных параметров процедуры передачи кадра стандарта 802.3, которые не зависят от реализации физической среды. Важно отметить, что каждый вариант физической среды технологии Ethernet добавляет к этим ограничениям свои, часто более строгие ограничения, которые также должны выполняться и которые будут рассмотрены ниже.

Таблица 3.1. Параметры уровня MAC Ethernet

| Параметры | Значения |
|---|---------------------------|
| Битовая скорость | 10 Мбит/с |
| Интервал отсрочки | 512 битовых интервала |
| Межкадровый интервал (IPG) | 9,6 мкс |
| Максимальное число попыток передачи | 16 |
| Максимальное число возрастания диапазона паузы | 10 |
| Длина jam-последовательности | 32 бита |
| Максимальная длина кадра (без преамбулы) | 1518 байт |
| Минимальная длина кадра (без преамбулы) | 64 байт (512 бит) |
| Длина преамбулы | 64 бит |
| Минимальная длина случайной паузы после коллизии | 0 битовых интервалов |
| Максимальная длина случайной паузы после коллизии | 524 000 битовых интервала |
| Максимальное расстояние между станциями сети | 2500 м |
| Максимальное число станций в сети | 1024 |

3.3.2. Максимальная производительность сети Ethernet

Количество обрабатываемых кадров Ethernet в секунду часто указывается производителями мостов/коммутаторов и маршрутизаторов как основная характеристика производительности этих устройств. В свою очередь, интересно знать чистую

максимальную пропускную способность сегмента Ethernet в кадрах в секунду в идеальном случае, когда в сети нет коллизий и нет дополнительных задержек, вносимых мостами и маршрутизаторами. Такой показатель помогает оценить требования к производительности коммуникационных устройств, так как в каждый порт устройства не может поступать больше кадров в единицу времени, чем позволяет это сделать соответствующий протокол.

Для коммуникационного оборудования наиболее тяжелым режимом является обработка кадров минимальной длины. Это объясняется тем, что на обработку каждого кадра мост, коммутатор или маршрутизатор тратит примерно одно и то же время, связанное с просмотром таблицы продвижения пакета, формированием нового кадра (для маршрутизатора) и т. п. А количество кадров минимальной длины, поступающих на устройство в единицу времени, естественно больше, чем кадров любой другой длины. Другая характеристика производительности коммуникационного оборудования - бит в секунду - используется реже, так как она не говорит о том, какого размера кадры при этом обрабатывало устройство, а на кадрах максимального размера достичь высокой производительности, измеряемой в битах в секунду гораздо легче.

Используя параметры, приведенные в табл. 3.1, рассчитаем максимальную производительность сегмента Ethernet в таких единицах, как число переданных кадров (пакетов) минимальной длины в секунду.

ПРИМЕЧАНИЕ При указании пропускной способности сетей термины кадр и пакет обычно используются как синонимы. Соответственно, аналогичными являются и единицы измерения производительности frames-per-second, fps и packets-per-second, pps.

Для расчета максимального количества кадров минимальной длины, проходящих по сегменту Ethernet, заметим, что размер кадра минимальной длины вместе с преамбулой составляет 72 байт или 576 бит (рис. 3.5.), поэтому на его передачу затрачивается 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.

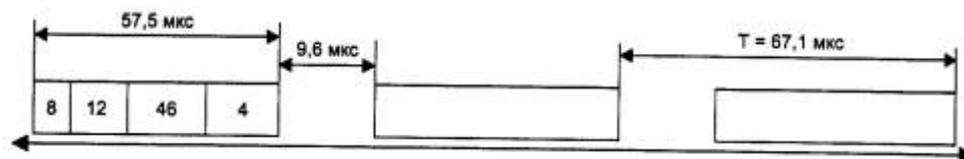


Рис. 3.5. К расчету пропускной способности протокола Ethernet

Естественно, что наличие в сегменте нескольких узлов снижает эту величину за счет ожидания доступа к среде, а также за счет коллизий, приводящих к необходимости повторной передачи кадров.

Кадры максимальной длины технологии Ethernet имеют поле длины 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.

Теперь рассчитаем, какой максимальной полезной пропускной способностью в бит в секунду обладают сегменты Ethernet при использовании кадров разного размера.

Под *полезной пропускной способностью протокола* понимается скорость передачи пользовательских данных, которые переносятся полем данных кадра. Эта пропускная способность всегда меньше номинальной битовой скорости протокола Ethernet за счет нескольких факторов:

- служебной информации кадра;
- межкадровых интервалов (IPG);
- ожидания доступа к среде.

Для кадров минимальной длины полезная пропускная способность равна:

$$C_{\Pi} = 14880 * 46 * 8 = 5,48 \text{ Мбит/с.}$$

Это намного меньше 10 Мбит/с, но следует учесть, что кадры минимальной длины используются в основном для передачи квитанций, так что к передаче собственно данных файлов эта скорость отношения не имеет.

Для кадров максимальной длины полезная пропускная способность равна:

$$C_{\Pi} = 813 * 1500 * 8 = 9,76 \text{ Мбит/с,}$$

что весьма близко к номинальной скорости протокола.

Еще раз подчеркнем, что такой скорости можно достигнуть только в том случае, когда двум взаимодействующим узлам в сети Ethernet другие узлы не мешают, что бывает крайне редко,

При использовании кадров среднего размера с полем данных в 512 байт пропускная способность сети составит 9,29 Мбит/с, что тоже достаточно близко к предельной пропускной способности в 10 Мбит/с.

ВНИМАНИЕ Отношение текущей пропускной способности сети к ее максимальной пропускной способности называется *коэффициентом использования сети (network utilization)*. При этом при определении текущей пропускной способности принимается во внимание передача по сети любой информации, как пользовательской, так и служебной. Коэффициент является важным показателем для технологий разделяемых сред, так как при случайном характере метода доступа высокое значение коэффициента использования часто говорит о низкой полезной пропускной способности сети (то есть скорости передачи пользовательских данных) - слишком много времени узлы тратят на процедуру получения доступа и повторные передачи кадров после коллизий.

При отсутствии коллизий и ожидания доступа коэффициент использования сети зависит от размера поля данных кадра и имеет максимальное значение 0,976 при передаче кадров максимальной длины. Очевидно, что в реальной сети Ethernet среднее значение коэффициента использования сети может значительно отличаться от этой величины. Более сложные случаи определения пропускной способности сети с учетом ожидания доступа и обработки коллизий будут рассмотрены ниже.

3.3.3. Форматы кадров технологии Ethernet

Стандарт технологии Ethernet, описанный в документе IEEE 802.3, дает описание единственного формата кадра уровня MAC. Так как в кадр уровня MAC должен вкладываться кадр уровня LLC, описанный в документе IEEE 802.2, то по стандартам IEEE в сети Ethernet может использоваться только единственный вариант кадра канального уровня, заголовок которого является комбинацией заголовков MAC и LLC подуровней.

Тем не менее на практике в сетях Ethernet на канальном уровне используются кадры 4-х различных форматов (типов). Это связано с длительной историей развития технологии Ethernet, насчитывающей период существования до принятия стандартов IEEE 802, когда подуровень LLC не выделялся из общего протокола и, соответственно, заголовок LLC не применялся.

Консорциум трех фирм Digital, Intel и Xerox в 1980 году представил на рассмотрение комитету 802.3 свою фирменную версию стандарта Ethernet (в которой был, естественно, описан определенный формат кадра) в качестве проекта международного стандарта, но комитет 802.3 принял стандарт, отличающийся в некоторых деталях от предложения DIX. Отличия касались и формата кадра, что породило существование двух различных типов кадров в сетях Ethernet.

Еще один формат кадра появился в результате усилий компании Novell по ускорению работы своего стека протоколов в сетях Ethernet.

И наконец, четвертый формат кадра стал результатом деятельности комитета 802.2 по приведению предыдущих форматов кадров к некоторому общему стандарту.

Различия в форматах кадров могут приводить к несовместимости в работе аппаратуры и сетевого программного обеспечения, рассчитанного на работу только с одним стандартом кадра Ethernet. Однако сегодня практически все сетевые адаптеры, драйверы сетевых адаптеров, мосты/коммутаторы и маршрутизаторы умеют работать со всеми используемыми на практике форматами кадров технологии Ethernet, причем распознавание типа кадра выполняется автоматически.

Ниже приводится описание всех четырех типов кадров Ethernet (здесь под кадром понимается весь набор полей, которые относятся к канальному уровню, то есть поля MAC и LLC уровней). Один и тот же тип кадра может иметь разные названия, поэтому ниже для каждого типа кадра приведено по несколько наиболее употребительных названий:

- кадр 802.3/LLC (кадр 802.3/802.2 или кадр Novell 802.2);
- кадр Raw 802.3 (или кадр Novell 802.3);
- кадр Ethernet DIX (или кадр Ethernet II);
- кадр Ethernet SNAP.

Форматы всех этих четырех типов кадров Ethernet приведены на рис. 3.6.

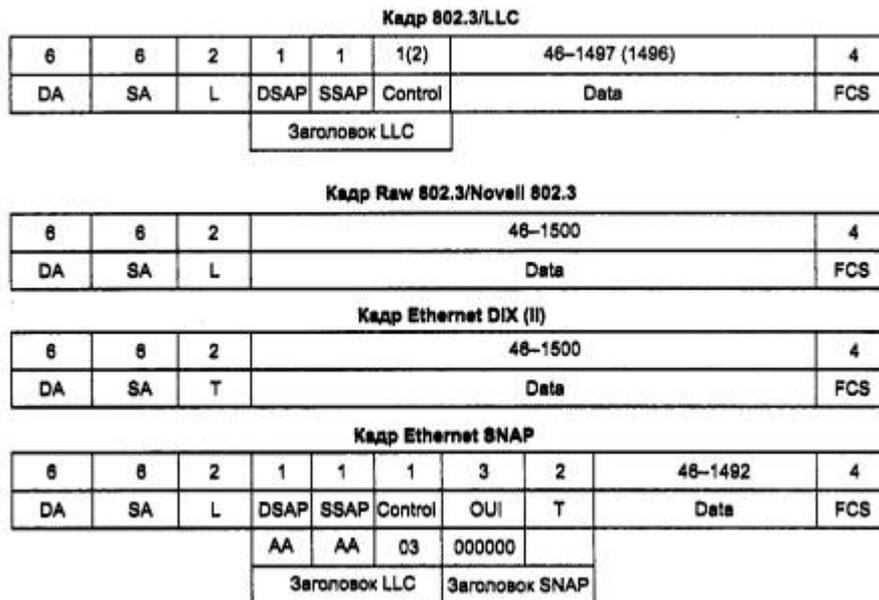


Рис. 3.6. Форматы кадров Ethernet

Кадр 802.3/LLC

Заголовок кадра 802.3/LLC является результатом объединения полей заголовков кадров, определенных в стандартах IEEE 802.3 и 802.2.

Стандарт 802.3 определяет восемь полей заголовка (рис. 3.6; поле преамбулы и начальный ограничитель кадра на рисунке не показаны).

- *Поле преамбулы (Preamble)* состоит из семи синхронизирующих байт 10101010. При манчестерском кодировании эта комбинация представляется в физической среде периодическим волновым сигналом с частотой 5 МГц.
- *Начальный ограничитель кадра (Start-of-frame-delimiter, SFD)* состоит из одного байта 10101011. Появление этой комбинации бит является указанием на то, что следующий байт - это первый байт заголовка кадра.
- *Адрес назначения (Destination Address, DA)* может быть длиной 2 или 6 байт. На практике всегда используются адреса из 6 байт. Первый бит старшего байта адреса назначения является признаком того, является адрес индивидуальным или групповым. Если он равен 0, то адрес является *индивидуальным (unicast)*, а если 1, то это *групповой адрес (multicast)*. Групповой адрес может предназначаться всем узлам сети или же определенной группе узлов сети. Если адрес состоит из всех единиц, то есть имеет шестнадцатеричное представление 0*FFFFFFFFFFFF, то он предназначается всем узлам сети и называется *широковещательным адресом (broadcast)*. В остальных случаях групповой адрес связан только с теми узлами, которые сконфигурированы (например, вручную) как члены группы, номер которой указан в групповом адресе. Второй бит старшего байта адреса определяет способ назначения адреса - централизованный или локальный. Если этот бит равен 0 (что бывает почти всегда в стандартной аппаратуре Ethernet), то адрес назначен централизованно, с помощью комитета IEEE. Комитет IEEE распределяет между производителями оборудования так называемые организационно уникальные

идентификаторы (Organizationally Unique Identifier, OUI). Этот идентификатор помещается в 3 старших байта адреса (например, идентификатор 000081 определяет компанию Bay Networks). За уникальность младших 3-х байт адреса отвечает производитель оборудования. Двадцать четыре бита, отводимые производителю для адресации интерфейсов его продукции, позволяют выпустить 16 миллионов интерфейсов под одним идентификатором организации. Уникальность централизованно распределяемых адресов распространяется на все основные технологии локальных сетей - Ethernet, Token Ring, FDDI и т. д.

ВНИМАНИЕ В стандартах IEEE Ethernet младший бит байта изображается в самой левой позиции поля, а старший бит - в самой правой. Этот нестандартный способ отображения порядка бит в байте соответствует порядку передачи бит в линию связи передатчиком Ethernet. В стандартах других организаций, например RFC IETF, ITU-T, ISO, используется традиционное представление байта, когда младший бит считается самым правым битом байта, а старший - самым левым. При этом порядок следования байтов остается традиционным. Поэтому при чтении стандартов, опубликованных этими организациями, а также чтении данных, отображаемых на экране операционной системой или анализатором протоколов, значения каждого байта кадра Ethernet нужно зеркально отобразить, чтобы получить правильное представление о значении разрядов этого байта в соответствии с документами IEEE. Например, групповой адрес, имеющийся в нотации IEEE вид 1000 0000 0000 0000 1010 0111 1111 0000 0000 0000 0000 0000 или в шестнадцатеричной записи 80-00-A7-F0-00-00, будет, скорее всего, отображен анализатором протоколов в традиционном виде как 01-00-5E-0F-00-00.

-
- *Адрес источника (Source Address, SA)* - это 2- или 6-байтовое поле, содержащее адрес узла - отправителя кадра. Первый бит адреса всегда имеет значение 0.
 - *Длина (Length, L)* - 2-байтовое поле, которое определяет длину поля данных в кадре.
 - *Поле данных (Data)* может содержать от 0 до 1500 байт. Но если длина поля меньше 46 байт, то используется следующее поле - поле заполнения, - чтобы дополнить кадр до минимально допустимого значения в 46 байт.
 - *Поле заполнения (Padding)* состоит из такого количества байт заполнителей, которое обеспечивает минимальную длину поля данных в 46 байт. Это обеспечивает корректную работу механизма обнаружения коллизий. Если длина поля данных достаточна, то поле заполнения в кадре не появляется.
 - *Поле контрольной суммы (Frame Check Sequence, FCS)* состоит из 4 байт, содержащих контрольную сумму. Это значение вычисляется по алгоритму CRC-32. После получения кадра рабочая станция выполняет собственное вычисление контрольной суммы для этого кадра, сравнивает полученное значение со значением поля контрольной суммы и, таким образом, определяет, не искажен ли полученный кадр.

Кадр 802.3 является кадром MAC-подуровня, поэтому в соответствии со стандартом 802.2 в его поле данных вкладывается кадр подуровня LLC с удаленными флагами начала и конца кадра. Формат кадра LLC был описан выше. Так как кадр LLC имеет заголовок

длиной 3 (в режиме LLC1) или 4 байт (в режиме LLC2), то максимальный размер поля данных уменьшается до 1497 или 1496 байт.

Кадр Raw 802.3/Novell 802.3

Кадр Raw 8023, называемый также кадром *Novell 8023*, представлен на рис. 3.6. Из рисунка видно, что это кадр подуровня MAC стандарта 802.3, но без вложенного кадра подуровня LLC. Компания Novell долгое время не использовала служебные поля кадра LLC в своей операционной системе NetWare из-за отсутствия необходимости идентифицировать тип информации, вложенной в поле данных, - там всегда находился пакет протокола IPX, долгое время бывшего единственным протоколом сетевого уровня в ОС NetWare.

Теперь, когда необходимость идентификации протокола верхнего уровня появилась, компания Novell стала использовать возможность инкапсуляции в кадр подуровня MAC кадра LLC, то есть использовать стандартные кадры 802.3/LLC. Такой кадр компания обозначает теперь в своих операционных системах как кадр 802.2, хотя он является комбинацией заголовков 802.3 и 802.2.

Кадр Ethernet DIX/Ethernet II

Кадр Ethernet DIX, называемым также кадром *Ethernet II*, имеет структуру (см. рис. 3.6), совпадающую со структурой кадра Raw 802.3. Однако 2-байтовое поле *Длина(Б)* кадра Raw 802.3 в кадре *Ethernet DIX* используется в качестве поля типа протокола. Это поле, теперь получившее название *Type (Т)* или *EtherType*, предназначено для тех же целей, что и поля DSAP и SSAP кадра LLC - для указания типа протокола верхнего уровня, вложившего свой пакет в поле данных этого кадра.

В то время как коды протоколов в полях SAP имеют длину в один байт, в поле *Type* для кода протокола отводятся 2 байта. Поэтому один и тот же протокол в поле SAP и поле *Type* будет кодироваться в общем случае разными числовыми значениями. Например, протокол IP имеет код 2048_{10} ($0*0800$) для поля *Ether-Type* и значение 6 для поля SAP. Значения кодов протоколов для поля *Ether-Type* появились раньше значений SAP, так как фирменная версия Ethernet DIX существовала до появления стандарта 802.3, и ко времени распространения оборудования 802.3 уже стали стандартами де-факто для многих аппаратных и программных продуктов. Так как структуры кадров Ethernet DIX и Raw 802.3 совпадают, то поле длины/типа часто в документации обозначают как поле L/T.

Кадр Ethernet SNAP

Для устранения разнобоя в кодировках типов протоколов, сообщения которых вложены в поле данных кадров Ethernet, комитетом 802.2 была проведена работа по дальнейшей стандартизации кадров Ethernet. В результате появился кадр Ethernet SNAP (SNAP - SubNetwork Access Protocol, протокол доступа к подсетям). Кадр Ethernet SNAP (см. рис. 3.6) представляет собой расширение кадра 802.3/LLC за счет введения дополнительного заголовка протокола SNAP, состоящего из двух полей: OUI и *Type*. Поле *Type* состоит из 2-х байт и повторяет по формату и назначению поле *Type* кадра Ethernet II (то есть в нем используются те же значения кодов протоколов). Поле OUI (Organizationally Unique Identifier) определяет идентификатор организации, которая контролирует коды протоколов в поле *Type*. С помощью заголовка SNAP достигнута совместимость с кодами протоколов в кадрах Ethernet II, а также создана универсальная схема кодирования

протоколов. Коды протоколов для технологий 802 контролирует IEEE, которая имеет OUI, равный 000000. Если в будущем потребуются другие коды протоколов для какой-либо новой технологии, для этого достаточно указать другой идентификатор организации, назначающей эти коды, а старые значения кодов останутся в силе (в сочетании с другим идентификатором OUI).

Так как SNAP представляет собой протокол, вложенный в протокол LLC, то в полях DSAP и SSAP записывается код 0xAA, отведенный для протокола SNAP. Поле Control заголовка LLC устанавливается в 0x03, что соответствует использованию нумерованных кадров.

Заголовок SNAP является дополнением к заголовку LLC, поэтому он допустим не только в кадрах Ethernet, но и в кадрах протоколов других технологий 802. Например, протокол IP всегда использует структуру заголовков LLC/SNAP при инкапсуляции в кадры всех протоколов локальных сетей: FDDI, Token Ring, 100VG-AnyLAN, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.

Правда, при передаче пакетов IP через сети Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet протокол IP использует кадры Ethernet DIX.

Использование различных типов кадров Ethernet

Автоматическое распознавание типов кадров Ethernet выполняется достаточно несложно. Для кодирования типа протокола в поле EtherType указываются значения, превышающие значение максимальной длины поля данных, равное 1500, поэтому кадры Ethernet II легко отличить от других типов кадров по значению поля L/T. Дальнейшее распознавание типа кадра проводится по наличию или отсутствию полей LLC. Поля LLC могут отсутствовать только в том случае, если за полем длины идет начало пакета IPX, а именно 2-байтовое поле контрольной суммы пакета, которое всегда заполняется единицами, что дает значение в 255 байт. Ситуация, когда поля DSAP и SSAP одновременно содержат такие значения, возникнуть не может, поэтому наличие двух байт 255 говорит о том, что это кадр Raw 802.3. В остальных случаях дальнейший анализ проводится в зависимости от значений полей DSAP и SSAP. Если они равны 0*AA, то это кадр Ethernet SNAP, а если нет, то 802.3/LLC.

В табл. 3.2 приведены данные о том, какие типы кадров Ethernet обычно поддерживают реализации популярных протоколов сетевого уровня.

Таблица 3.2. Типы кадров Ethernet, поддерживающие реализации популярных протоколов сетевого уровня .

| Тип кадра | Сетевые протоколы |
|----------------|-----------------------------|
| Ethernet II | IPX, IP, AppleTalk Phase I |
| Ethernet 802.3 | IPX |
| Ethernet 802.2 | IPX, FTAM |
| Ethernet SNAP | IPX, IP, AppleTalk Phase II |

3.3.4. Спецификации физической среды Ethernet

Исторически первые сети технологии Ethernet были созданы на коаксиальном кабеле диаметром 0,5 дюйма. В дальнейшем были определены и другие спецификации физического уровня для стандарта Ethernet, позволяющие использовать различные среды передачи данных. Метод доступа CSMA/CD и все временные параметры остаются одними и теми же для любой спецификации физической среды технологии Ethernet 10 Мбит/с.

Физические спецификации технологии Ethernet на сегодняшний день включают следующие среды передачи данных.

- 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 (Unshielded Twisted Pair, UTP). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом - не более 100 м.
- 10Base-F - волоконно-оптический кабель. Топология аналогична топологии стандарта 10Base-T. Имеется несколько вариантов этой спецификации - FOIRL (расстояние до 1000 м), 10Base-FL (расстояние до 2000 м), 10Base-FB (расстояние до 2000 м).

Число 10 в указанных выше названиях обозначает битовую скорость передачи данных этих стандартов - 10 Мбит/с, а слово Base - метод передачи на одной базовой частоте 10 МГц (в отличие от методов, использующих несколько несущих частот, которые называются Broadband - широкополосными). Последний символ в названии стандарта физического уровня обозначает тип кабеля.

Стандарт 10Base-5

Стандарт 10Base-5 в основном соответствует экспериментальной сети Ethernet фирмы Xerox и может считаться классическим Ethernet. Он использует в качестве среды передачи данных коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, диаметром центрального медного провода 2,17 мм и внешним диаметром около 10 мм («толстый» Ethernet). Такими характеристиками обладают кабели марок RG-SHRG-II.

Различные компоненты сети, состоящей из трех сегментов, соединенных повторителями, выполненной на толстом коаксиале, показаны на рис. 3.7.

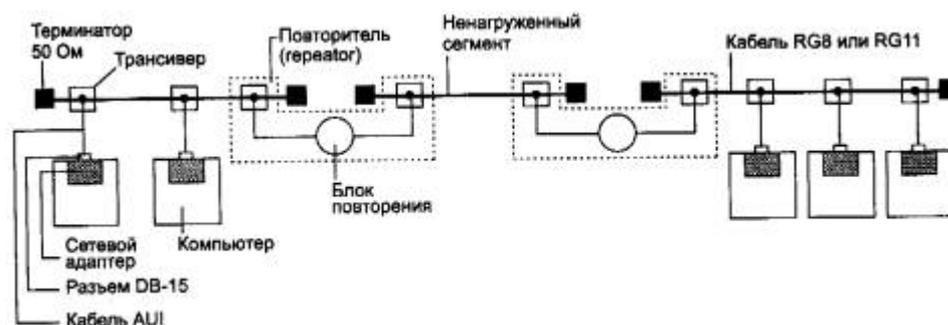


Рис. 3.7. Компоненты физического уровня сети стандарта 10 Base-5, состоящей из трех сегментов

Кабель используется как моноканал для всех станций. Сегмент кабеля имеет максимальную длину 500 м (без повторителей) и должен иметь на концах согласующие *терминаторы* сопротивлением 50 Ом, поглощающие распространяющиеся по кабелю сигналы и препятствующие возникновению отраженных сигналов. При отсутствии терминаторов («заглушек») в кабеле возникают стоячие волны, так что одни узлы получают мощные сигналы, а другие - настолько слабые, что их прием становится невозможным.

Станция должна подключаться к кабелю при помощи приемопередатчика - *трансивера* (*transmitter+Teceiver = transceiver*). Трансивер устанавливается непосредственно на кабеле и питается от сетевого адаптера компьютера. Трансивер может подсоединяться к кабелю как методом прокалывания, обеспечивающим непосредственный физический контакт, так и бесконтактным методом.

Трансивер соединяется с сетевым адаптером интерфейсным кабелем *A VI (Attachment Unit Interface)* длиной до 50 м, состоящим из 4 витых пар (адаптер должен иметь разъем AUI). Наличие стандартного интерфейса между трансивером и остальной частью сетевого адаптера очень полезно при переходе с одного типа кабеля на другой. Для этого достаточно только заменить Трансивер, а остальная часть сетевого адаптера остается неизменной, так как она отрабатывает протокол уровня MAC. При этом необходимо только, чтобы новый Трансивер (например, Трансивер для витой пары) поддерживал стандартный интерфейс AUI. Для присоединения к интерфейсу AUI используется разъем DB-15.

Допускается подключение к одному сегменту не более 100 трансиверов, причем расстояние между подключениями трансиверов не должно быть меньше 2,5 м. На кабеле имеется разметка через каждые 2,5 м, которая обозначает точки подключения трансиверов. При подсоединении компьютеров в соответствии с разметкой влияние стоячих волн в кабеле на сетевые адаптеры сводится к минимуму.

Трансивер - это часть сетевого адаптера, которая выполняет следующие функции:

- прием и передача данных с кабеля на кабель;
- определение коллизий на кабеле;
- электрическая развязка между кабелем и остальной частью адаптера;
- защита кабеля от некорректной работы адаптера.

Последнюю функцию иногда называют «*контролем болтливости*», что является буквальным переводом соответствующего английского термина (*jabber control*). При возникновении неисправностей в адаптере может возникнуть ситуация, когда на кабель будет непрерывно выдаваться последовательность случайных сигналов. Так как кабель - это общая среда для всех станций, то работа сети будет заблокирована одним неисправным адаптером. Чтобы этого не случилось, на выходе передатчика ставится схема, которая проверяет время передачи кадра. Если максимально возможное время передачи пакета превышает (с некоторым запасом), то эта схема просто отсоединяет выход передатчика от кабеля. Максимальное время передачи кадра (вместе с преамбулой) равно 1221 мкс, а время jabber- контроля устанавливается равным 4000 мкс (4 мс).

Упрощенная структурная схема трансивера показана на рис. 3.8. Передатчик и приемник присоединяются к одной точке кабеля с помощью специальной схемы, например трансформаторной, позволяющей организовать одновременную передачу и прием сигналов с кабеля.

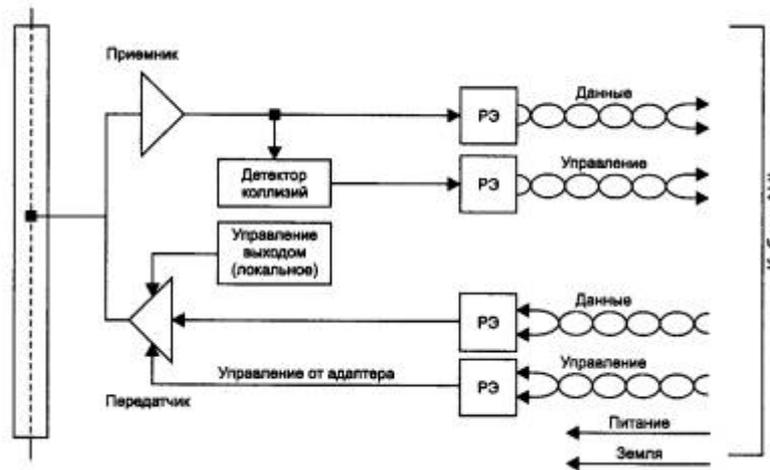


Рис. 3.8. Структурная схема трансивера

Детектор коллизий определяет наличие коллизии в коаксиальном кабеле по повышенному уровню постоянной составляющей сигналов. Если постоянная составляющая превышает определенный порог (около 1,5 В), значит, на кабель работает более одного передатчика. Развязывающие элементы (РЭ) обеспечивают гальваническую развязку трансивера от остальной части сетевого адаптера и тем самым защищают адаптер и компьютер от значительных перепадов напряжения, возникающих на кабеле при его повреждении.

Стандарт 10Base-5 определяет возможность использования в сети специального устройства - *повторителя (repeater)*. Повторитель служит для объединения в одну сеть нескольких сегментов кабеля и увеличения тем самым общей длины сети. Повторитель принимает сигналы из одного сегмента кабеля и побитно синхронно повторяет их в другом сегменте, улучшая форму и мощность импульсов, а также синхронизируя импульсы. Повторитель состоит из двух (или нескольких) трансиверов, которые присоединяются к сегментам кабеля, а также блока повторения со своим тактовым генератором. Для лучшей синхронизации передаваемых бит повторитель задерживает передачу нескольких первых бит преамбулы кадра, за счет чего увеличивается задержка передачи кадра с сегмента на сегмент, а также несколько уменьшается межкадровый интервал IPG.

Стандарт разрешает использование в сети не более 4 повторителей и, соответственно, не более 5 сегментов кабеля. При максимальной длине сегмента кабеля в 500 м это дает максимальную длину сети 10Base-5 в 2500 м. Только 3 сегмента из 5 могут быть нагруженными, то есть такими, к которым подключаются конечные узлы. Между нагруженными сегментами должны быть ненагруженные сегменты, так что максимальная конфигурация сети представляет собой два нагруженных крайних сегмента, которые соединяются ненагруженными сегментами еще с одним центральным нагруженным сегментом. На рис. 3.7 был приведен пример сети Ethernet, состоящей из трех сегментов, объединенных двумя повторителями. Крайние сегменты являются нагруженными, а промежуточный - ненагруженным.

Правило применения повторителей в сети Ethernet 10Base-5 носит название «правило 5-4-3». 5 сегментов, 4 повторителя, 3 нагруженных сегмента. Ограниченное число повторителей объясняется дополнительными задержками распространения сигнала, которые они вносят. Применение повторителей увеличивает время двойного распространения сигнала, которое для надежного распознавания коллизий не должно превышать время передачи кадра минимальной длины, то есть кадра в 72 байт или 576 бит.

Каждый повторитель подключается к сегменту одним своим трансивером, поэтому к нагруженным сегментам можно подключить не более 99 узлов. Максимальное число конечных узлов в сети 10Base-5 таким образом составляет $99 \cdot 3 = 297$ узлов.

К *достоинствам* стандарта 10Base-5 относятся:

- хорошая защищенность кабеля от внешних воздействий;
- сравнительно большое расстояние между узлами;
- возможность простого перемещения рабочей станции в пределах длины кабеля AUI. *Недостатками* 10Base-5 являются:
- высокая стоимость кабеля;
- сложность его прокладки из-за большой жесткости;
- потребность в специальном инструменте для заделки кабеля;
- останов работы всей сети при повреждении кабеля или плохом соединении;
- необходимость заранее предусмотреть подводку кабеля ко всем возможным местам установки компьютеров.

Стандарт 10Base-2

Стандарт 10Base-2 использует в качестве передающей среды коаксиальный кабель с диаметром центрального медного провода 0,89 мм и внешним диаметром около 5 мм («тонкий» Ethernet). Кабель имеет волновое сопротивление 50 Ом. Такими характеристиками обладают кабели марок RG-58 /U, RG-58 A/U, RG-58 C/U.

Максимальная длина сегмента без повторителей составляет 185 м, сегмент должен иметь на концах согласующие терминаторы 50 Ом. Тонкий коаксиальный кабель дешевле толстого, из-за чего сети 10Base-2 иногда называют сетями Cheapernet (от cheaper - более дешевый). Но за дешевизну кабеля приходится расплачиваться качеством - «тонкий» коаксиал обладает худшей помехозащищенностью, худшей механической прочностью и более узкой полосой пропускания.

Станции подключаются к кабелю с помощью высокочастотного BNC T-коннектора, который представляет собой тройник, один отвод которого соединяется с сетевым адаптером, а два других - с двумя концами разрыва кабеля. Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту, - 30. Минимальное расстояние между станциями - 1 м. Кабель «тонкого» коаксиала имеет разметку для подключения узлов с шагом в 1 м.

Стандарт 10Base-2 также предусматривает использование повторителей, применение которых также должно соответствовать «правилу 5-4-3». В этом случае сеть будет иметь максимальную длину в $5 \cdot 185 = 925$ м. Очевидно, что это ограничение является более сильным, чем общее ограничение в 2500 метров.

ВНИМАНИЕ Для построения корректной сети Ethernet нужно соблюсти много ограничений, причем некоторые из них относятся к одним и тем же параметрам сети - например, максимальная длина или максимальное количество компьютеров в сети должны удовлетворять одновременно нескольким разным условиям. Корректная сеть Ethernet должна соответствовать всем требованиям, но на практике нужно удовлетворить только наиболее жесткие. Так, если в сети Ethernet не должно быть более 1024 узлов, а стандарт 10Base-2 ограничивает число нагруженных сегментов тремя, то общее количество узлов в сети 10Base-2 не должно превышать $29 \cdot 3 = 87$. Менее жесткое ограничение в 1024 конечных узла в сети 10Base-2 никогда не достигается.

Стандарт 10Base-2 очень близок к стандарту 10Base-5. Но трансиверы в нем объединены с сетевыми адаптерами за счет того, что более гибкий тонкий коаксиальный кабель может быть подведен непосредственно к выходному разъему платы сетевого адаптера, установленной в шасси компьютера. Кабель в данном случае «висит» на сетевом адаптере, что затрудняет физическое перемещение компьютеров.

Типичный состав сети стандарта 10Base-2, состоящей из одного сегмента кабеля, показан на рис. 3.9.

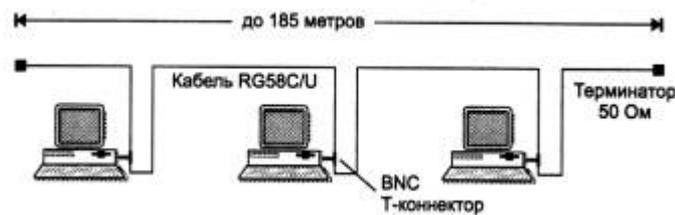


Рис. 3.9. Сеть стандарта 10Base-2

Реализация этого стандарта на практике приводит к наиболее простому решению для кабельной сети, так как для соединения компьютеров требуются только сетевые адаптеры, T-коннекторы и терминаторы 50 Ом. Однако этот вид кабельных соединений наиболее сильно подвержен авариям и сбоям: кабель более восприимчив к помехам, чем «толстый» коаксиал, в моноканале имеется большое количество механических соединений (каждый T-коннектор дает три механических соединения, два из которых имеют жизненно важное значение для всей сети), пользователи имеют доступ к разъемам и могут нарушить целостность моноканала. Кроме того, эстетика и эргономичность этого решения оставляют желать лучшего, так как от каждой станции через T-коннектор отходят два довольно заметных провода, которые под столом часто образуют моток кабеля - запас, необходимый на случай даже небольшого перемещения рабочего места.

Общим недостатком стандартов 10Base-5 и 10Base-2 является отсутствие оперативной информации о состоянии моноканала. Повреждение кабеля обнаруживается сразу же (сеть перестает работать), но для поиска отказавшего отрезка кабеля необходим специальный прибор - кабельный тестер.

Стандарт 10Base-T

Стандарт принят в 1991 году, как дополнение к существующему набору стандартов Ethernet, и имеет обозначение 802.3L

Сети 10Base-T используют в качестве среды две *неэкранированные витые пары* (Unshielded Twisted Pair, UTP). Многопарный кабель на основе неэкранированной витой пары категории 3 (категория определяет полосу пропускания кабеля, величину перекрестных наводок NEXT и некоторые другие параметры его качества) телефонные компании уже достаточно давно использовали для подключения телефонных аппаратов внутри зданий. Этот кабель носит также название Voice Grade, говорящее о том, что он предназначен для передачи голоса.

Идея приспособить этот популярный вид кабеля для построения 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 бы минимальными по сравнению с сетями Ethernet на коаксиале. Это удалось, поэтому переход на витую пару требует только замены трансивера сетевого адаптера или порта маршрутизатора, а метод доступа и все протоколы канального уровня остались теми же, что и в сетях Ethernet на коаксиале.

Конечные узлы соединяются по топологии «точка-точка» со специальным устройством - многопортовым повторителем с помощью двух витых пар. Одна витая пара требуется для передачи данных от станции к повторителю (выход T_x сетевого адаптера), а другая - для передачи данных от повторителя к станции (вход R_x сетевого адаптера). На рис. 3.10 показан пример трехпортового повторителя. Повторитель принимает сигналы от одного из конечных узлов и синхронно передает их на все свои остальные порты, кроме того, с которого поступили сигналы.

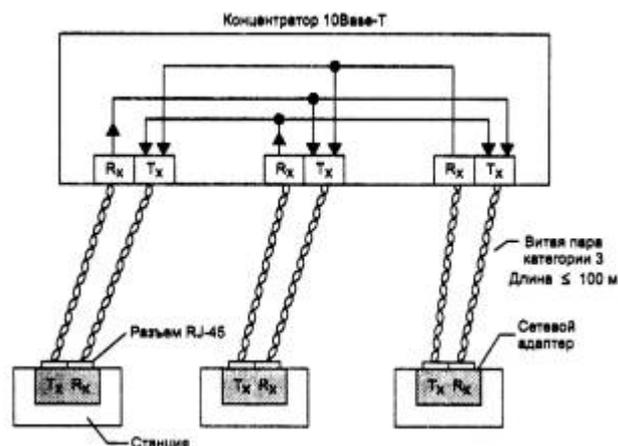


Рис. 3.10. Сеть стандарта 10Base-T: T_x - передатчик; R_x - приемник

Многопортовые повторители в данном случае обычно называются концентраторами (англоязычные термины - hub или concentrator). Концентратор осуществляет функции повторителя сигналов на всех отрезках витых пар, подключенных к его портам, так что образуется единая среда передачи данных - логический моноканал (логическая общая шина). Повторитель обнаруживает коллизию в сегменте в случае одновременной передачи сигналов по нескольким своим R_x - входам и посылает jam-последовательность на все свои T_x - выходы. Стандарт определяет битовую скорость передачи данных 10 Мбит/с и

максимальное расстояние отрезка витой пары между двумя непосредственно связанными узлами (станциями и концентраторами) не более 100 м при наличии витой пары качества не ниже категории 3. Это расстояние определяется полосой пропускания витой пары - на длине 100 м она позволяет передавать данные со скоростью 10 Мбит/с при использовании манчестерского кода.

Концентраторы 10Base-T можно соединять друг с другом с помощью тех же портов, которые предназначены для подключения конечных узлов. При этом нужно позаботиться о том, чтобы передатчик и приемник одного порта были соединены соответственно с приемником и передатчиком другого порта.

Для обеспечения синхронизации станций при реализации процедур доступа CSMA/CD и надежного распознавания станциями коллизий в стандарте определено максимально число концентраторов между любыми двумя станциями сети, а именно 4. Это правило носит название «правила 4-х хабов» и оно заменяет «правило 5-4-3», применяемое к коаксиальным сетям. При создании сети 10Base-T с большим числом станций концентраторы можно соединять друг с другом иерархическим способом, образуя древовидную структуру (рис. 3.11).

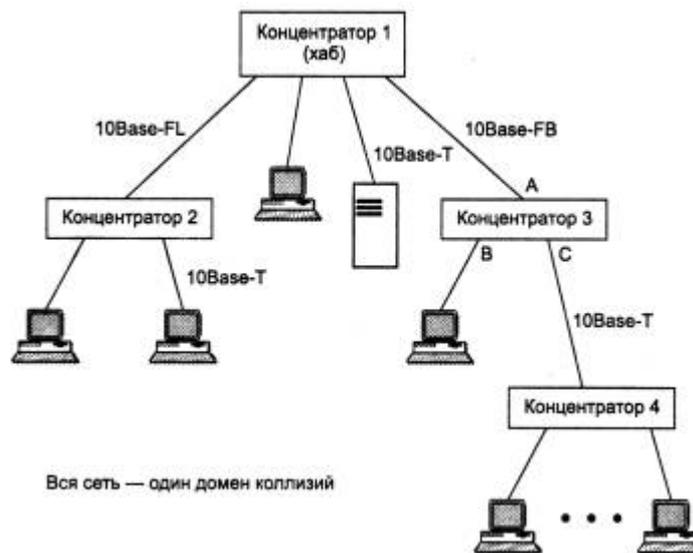


Рис. 3.11. Иерархическое соединение концентраторов Ethernet

ВНИМАНИЕ Петлевидное соединение концентраторов в стандарте 10Base-T запрещено, так как оно приводит к некорректной работе сети. Это требование означает, что в сети 10Base-T не разрешается создавать параллельные каналы связи между критически важными концентраторами для резервирования связей на случай отказа порта, концентратора или кабеля. Резервирование связей возможно только за счет перевода одной из параллельных связей в неактивное (заблокированное) состояние.

Общее количество станций в сети 10Base-T не должно превышать общего предела в 1024, и для данного типа физического уровня это количество действительно можно достичь. Для этого достаточно создать двухуровневую иерархию концентраторов, расположив на

нижнем уровне достаточное количество концентраторов с общим количеством портов 1024 (рис. 3.12). Конечные узлы нужно подключить к портам концентраторов нижнего уровня. Правило 4-х хабов при этом выполняется - между любыми конечными узлами будет ровно 3 концентратора.



Рис. 3.12. Схема с максимальным количеством станций

Максимальная длина сети в 2500 м здесь понимается как максимальное расстояние между любыми двумя конечными узлами сети (часто применяется также термин «максимальный диаметр сети»). Очевидно, что если между любыми двумя узлами сети не должно быть больше 4-х повторителей, то максимальный диаметр сети 10Base-T составляет $5 \cdot 100 = 500$ м.

Сети, построенные на основе стандарта 10Base-T, обладают по сравнению с коаксиальными вариантами Ethernet многими преимуществами. Эти преимущества связаны с разделением общего физического кабеля на отдельные кабельные отрезки, подключенные к центральному коммуникационному устройству. И хотя логически эти отрезки по-прежнему образуют общую разделяемую среду, их физическое разделение позволяет контролировать их состояние и отключать в случае обрыва, короткого замыкания или неисправности сетевого адаптера на индивидуальной основе. Это обстоятельство существенно облегчает эксплуатацию больших сетей Ethernet, так как концентратор обычно автоматически выполняет такие функции, уведомляя при этом администратора сети о возникшей проблеме.

В стандарте 10Base-T определена процедура тестирования физической работоспособности двух отрезков витой пары, соединяющих трансивер конечного узла и порт повторителя. Эта процедура называется *тестом связности (link test)*, и она основана на передаче каждые 16 мс специальных импульсов J и K манчестерского кода между передатчиком и приемником каждой витой пары. Если тест не проходит, то порт блокируется и отключает проблемный узел от сети. Так как коды J и K являются запрещенными при передаче кадров, то тестовые последовательности не влияют на работу алгоритма доступа к среде.

Появление между конечными узлами активного устройства, которое может контролировать работу узлов и изолировать от сети некорректно работающие, является главным преимуществом технологии 10Base-T по сравнению со сложными в эксплуатации коаксиальными сетями. Благодаря концентраторам сеть Ethernet приобрела некоторые черты отказоустойчивой системы.

Оптоволоконный Ethernet

В качестве среды передачи данных 10 мегабитный Ethernet использует оптическое волокно. Оптоволоконные стандарты в качестве основного типа кабеля рекомендуют достаточно дешевое многомодовое оптическое волокно, обладающее полосой пропускания 500-800 МГц при длине кабеля 1 км. Допустимо и более дорогое одномодовое оптическое волокно с полосой пропускания в несколько гигагерц, но при этом нужно применять специальный тип трансивера.

Функционально сеть Ethernet на оптическом кабеле состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T - сетевых адаптеров, многопортового повторителя и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом повторителя. Как и в случае витой пары, для соединения адаптера с повторителем *используются два* оптоволоконка - одно соединяет выход T_x адаптера со входом R_x повторителя, а другое - вход R_x адаптера с выходом T_x повторителя.

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) представляет собой первый стандарт комитета 802.3 для использования оптоволоконка в сетях Ethernet. Он гарантирует длину оптоволоконной связи между повторителями до 1 км при общей длине сети не более 2500 м. Максимальное число повторителей между любыми узлами сети - 4. Максимального диаметра в 2500 м здесь достичь можно, хотя максимальные отрезки кабеля между всеми 4 повторителями, а также между повторителями и конечными узлами недопустимы - иначе получится сеть длиной 5000 м.

Стандарт 10Base-FL представляет собой незначительное улучшение стандарта FOIRL. Увеличена мощность передатчиков, поэтому максимальное расстояние между узлом и концентратором увеличилось до 2000 м. Максимальное число повторителей между узлами осталось равным 4, а максимальная длина сети - 2500 м.

Стандарт 10Base-FB предназначен только для соединения повторителей. Конечные узлы не могут использовать этот стандарт для присоединения к портам концентратора. Между узлами сети можно установить до 5 повторителей 10Base-FB при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м.

Повторители, соединенные по стандарту 10Base-FB, при отсутствии кадров для передачи постоянно обмениваются специальными последовательностями сигналов, отличающимися от сигналов кадров данных, для поддержания синхронизации. Поэтому они вносят меньшие задержки при передаче данных из одного сегмента в другой, и это является главной причиной, по которой количество повторителей удалось увеличить до 5. В качестве специальных сигналов используются манчестерские коды J и K в следующей последовательности: J-J-K-K-J-J-... Эта последовательность порождает импульсы частоты 2,5 МГц, которые и поддерживают синхронизацию приемника одного концентратора с передатчиком другого. Поэтому стандарт 10Base-FB имеет также название *синхронный Ethernet*.

Как и в стандарте 10Base-T, оптоволоконные стандарты Ethernet разрешают соединять концентраторы только в древовидные иерархические структуры. Любые петли между портами концентраторов не допускаются.

Домен коллизий

В технологии Ethernet, независимо от применяемого стандарта физического уровня, существует понятие домена коллизий.

Домен коллизий (collision domain) - это часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла. Сеть Ethernet, построенная на повторителях, всегда образует один домен коллизий. Домен коллизий соответствует одной разделяемой среде. Мосты, коммутаторы и маршрутизаторы делят сеть Ethernet на несколько доменов коллизий.

Приведенная на рис. 3.11 сеть представляет собой один домен коллизий. Если, например, столкновение кадров произошло в концентраторе 4, то в соответствии с логикой работы концентраторов 10Base-T сигнал коллизии распространится по всем портам всех концентраторов.

Если же вместо концентратора 3 поставить в сеть мост, то его порт С, связанный с концентратором 4, воспримет сигнал коллизии, но не передаст его на свои остальные порты, так как это не входит в его обязанности. Мост просто обработает ситуацию коллизии средствами порта С, который подключен к общей среде, где эта коллизия возникла. Если коллизия возникла из-за того, что мост пытался передать через порт С кадр в концентратор 4, то, зафиксировав сигнал коллизии, порт С приостановит передачу кадра и попытается передать его повторно через случайный интервал времени. Если порт С принимал в момент возникновения коллизии кадр, то он просто отбросит полученное начало кадра и будет ожидать, когда узел, передававший кадр через концентратор 4, не сделает повторную попытку передачи. После успешного принятия данного кадра в свой буфер мост передаст его на другой порт в соответствии с таблицей продвижения, например на порт А. Все события, связанные с обработкой коллизий портом С, для остальных сегментов сети, которые подключены к другим портам моста, останутся просто неизвестными.

Узлы, образующие один домен коллизий, работают синхронно, как единая распределенная электронная схема.

Общие характеристики стандартов Ethernet 10 Мбит/с

В табл. 3.3 и 3.4 сведены основные ограничения и характеристики стандартов Ethernet.

Таблица 3.3. Общие ограничения для всех стандартов Ethernet

| | |
|--|-----------------------------|
| Номинальная пропускная способность | 10 Мбит/с |
| Максимальное число станций в сети | 1024 |
| Максимальное расстояние между узлами в сети | 2500 м (в 10Base-FB 2750 м) |
| Максимальное число коаксиальных сегментов в сети | 5 |

Таблица 3.4. 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) |

3.3.5. Методика расчета конфигурации сети Ethernet

Соблюдение многочисленных ограничений, установленных для различных стандартов физического уровня сетей Ethernet, гарантирует корректную работу сети (естественно, при исправном состоянии всех элементов физического уровня).

Наиболее часто приходится проверять ограничения, связанные с длиной отдельного сегмента кабеля, а также количеством повторителей и общей длиной сети. Правила «5-4-3» для коаксиальных сетей и «4-х хабов» для сетей на основе витой пары и оптоволоконна не только дают гарантии работоспособности сети, но и оставляют большой «запас прочности» сети. Например, если посчитать время двойного оборота в сети, состоящей из 4-х повторителей 10Base-5 и 5-ти сегментов максимальной длины 500 м, то окажется, что оно составляет 537 битовых интервала. А так как время передачи кадра минимальной длины, состоящего вместе с преамбулой 72 байт, равно 575 битовым интервалам, то видно, что разработчики стандарта Ethernet оставили 38 битовых интервала в качестве запаса для надежности. Тем не менее комитет 802.3 говорит, что и 4 дополнительных битовых интервала создают достаточный запас надежности.

Комитет IEEE 802.3 приводит исходные данные о задержках, вносимых повторителями и различными средами передачи данных, для тех специалистов, которые хотят самостоятельно рассчитывать максимальное количество повторителей и максимальную общую длину сети, не довольствуясь теми значениями, которые приведены в правилах «5-4-3» и «4-х хабов». Особенно такие расчеты полезны для сетей, состоящих из смешанных кабельных систем, например коаксиала и оптоволоконна, на которые правила о количестве повторителей не рассчитаны. При этом максимальная длина каждого отдельного физического сегмента должна строго соответствовать стандарту, то есть 500 м для «толстого» коаксиала, 100 м для витой пары и т.д.

Чтобы сеть Ethernet, состоящая из сегментов различной физической природы, работала корректно, необходимо выполнение четырех основных условий:

- количество станций в сети не более 1024;

- максимальная длина каждого физического сегмента не более величины, определенной в соответствующем стандарте физического уровня;
- время двойного оборота сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не более 575 битовых интервала;
- сокращение межкадрового интервала IPG (Path Variability Value, PV) при прохождении последовательности кадров через все повторители должно быть не больше, чем 49 битовых интервала. Так как при отправке кадров конечные узлы обеспечивают начальное межкадровое расстояние в 96 битовых интервала, то после прохождения повторителя оно должно быть не меньше, чем $96 - 49 = 47$ битовых интервала.

Соблюдение этих требований обеспечивает корректность работы сети даже в случаях, когда нарушаются простые правила конфигурирования, определяющие максимальное количество повторителей и общую длину сети в 2500 м.

Расчет PDV

Для упрощения расчетов обычно используются справочные данные IEEE, содержащие значения задержек распространения сигналов в повторителях, приемопередатчиках и различных физических средах. В табл. 3.5 приведены данные, необходимые для расчета значения PDV для всех физических стандартов сетей Ethernet. Битовый интервал обозначен как bt.

Таблица 3.5. Данные для расчета значения PDV

| Тип сегмента | База левого сегмента, bt | База промежуточного сегмента, bt | База правого сегмента, bt | Задержка среды на 1 м, bt | Максимальная длина сегмента, м |
|--------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 10Base-5 | 11,8 | 46,5 | 169,5 | 0,0866 | 500 |
| 10Base-2 | 11,8 | 46,5 | 169,5 | 0,1026 | 185 |
| 10Base-T | 15,3 | 42,0 | 165,0 | 0,113 | 100 |
| 10Base-FB | — | 24,0 | — | 0,1 | 2000 |
| 10Base-FL | 12,3 | 33,5 | 156,5 | 0,1 | 2000 |
| FOIRL | 7,8 | 29,0 | 152,0 | 0,1 | 1000 |
| AUI (> 2 м) | 0 | 0 | 0 | 0,1026 | 2+48 |

Комитет 802.3 старался максимально упростить выполнение расчетов, поэтому данные, приведенные в таблице, включают сразу несколько этапов прохождения сигнала. Например, задержки, вносимые повторителем, состоят из задержки входного трансивера, задержки блока повторения и задержки выходного трансивера. Тем не менее в таблице все эти задержки представлены одной величиной, названной базой сегмента. Чтобы не нужно было два раза складывать задержки, вносимые кабелем, в таблице даются удвоенные величины задержек для каждого типа кабеля.

В таблице используются также такие понятия, как левый сегмент, правый сегмент и промежуточный сегмент. Поясним эти термины на примере сети, приведенной на рис. 3.13. Левым сегментом называется сегмент, в котором начинается путь сигнала от выхода передатчика (выход T_x на рис. 3.10) конечного узла. На примере это сегмент 1. Затем сигнал проходит через промежуточные сегменты 2-5 и доходит до приемника (вход R_x на рис. 3.10) наиболее удаленного узла наиболее удаленного сегмента 6, который называется

правым. Именно здесь в худшем случае происходит столкновение кадров и возникает коллизия, что, и подразумевается в таблице.

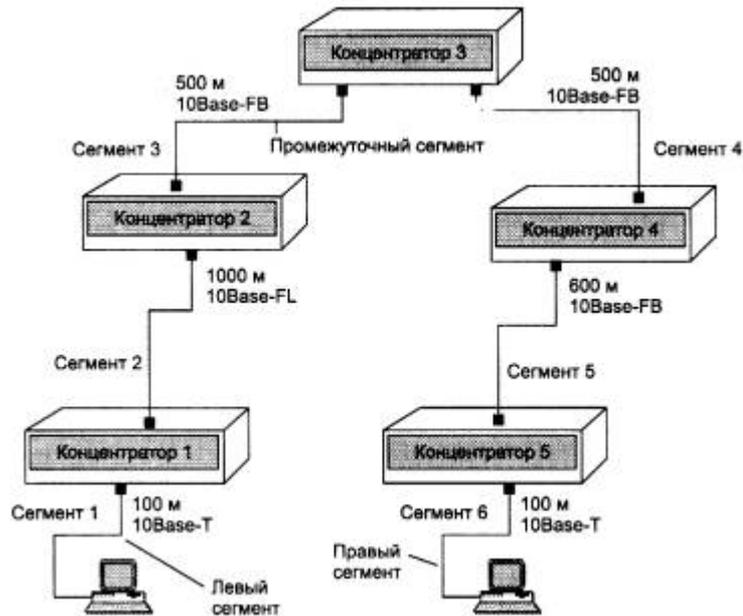


Рис. 3.13. Пример сети Ethernet, состоящей из сегментов различных физических стандартов

С каждым сегментом связана постоянная задержка, названная базой, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный или правый). База правого сегмента, в котором возникает коллизия, намного превышает базу левого и промежуточных сегментов.

Кроме этого, с каждым сегментом связана задержка распространения сигнала вдоль кабеля сегмента, которая зависит от длины сегмента и вычисляется путем умножения времени распространения сигнала по одному метру кабеля (в битовых интервалах) на длину кабеля в метрах.

Расчет заключается в вычислении задержек, вносимых каждым отрезком кабеля (приведенная в таблице задержка сигнала на 1 м кабеля умножается на длину сегмента), а затем суммировании этих задержек с базами левого, промежуточных и правого сегментов. Общее значение PDV не должно превышать 575.

Так как левый и правый сегменты имеют различные величины базовой задержки, то в случае различных типов сегментов на удаленных краях сети необходимо выполнить расчеты дважды: один раз принять в качестве левого сегмента сегмент одного типа, а во второй - сегмент другого типа. Результатом можно считать максимальное значение PDV. В нашем примере крайние сегменты сети принадлежат к одному типу - стандарту 10Base-T, поэтому двойной расчет не требуется, но если бы они были сегментами разного типа, то в первом случае нужно было бы принять в качестве левого сегмента между станцией и концентратором 1, а во втором считать левым сегмент между станцией и концентратором 5.

Приведенная на рисунке сеть в соответствии с правилом 4-х хабов не является корректной - в сети между узлами сегментов 1 и 6 имеется 5 хабов, хотя не все сегменты являются

сегментами 10Base-FB. Кроме того, общая длина сети равна 2800 м, что нарушает правило 2500 м. Рассчитаем значение PDV для нашего примера.

Левый сегмент 1/ 15,3 (база) + 100 * 0,113= 26,6.

Промежуточный сегмент 2/33,5 + 1000 * 0,1 = 133,5.

Промежуточный сегмент 3/ 24 + 500 * 0,1 = 74,0.

Промежуточный сегмент 4/24 + 500 * 0,1 = 74,0.

Промежуточный сегмент 5/ 24 + 600 * 0,1 = 84,0.

Правый сегмент 6/165 + 100 * 0,113 = 176,3.

Сумма всех составляющих дает значение PDV, равное 568,4.

Так как значение PDV меньше максимально допустимой величины 575, то эта сеть проходит по критерию времени двойного оборота сигнала несмотря на то, что ее общая длина составляет больше 2500 м, а количество повторителей - больше 4-х.

Расчет PW

Чтобы признать конфигурацию сети корректной, нужно рассчитать также уменьшение межкадрового интервала повторителями, то есть величину PW.

Для расчета PW также можно воспользоваться значениями максимальных величин уменьшения межкадрового интервала при прохождении повторителей различных физических сред, рекомендованными IEEE и приведенными в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Сокращение межкадрового интервала повторителями

| Тип сегмента | Передающий сегмент, bt | Промежуточный сегмент, bt |
|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| 10Base-5 или 10Base-2 | 16 | 11 |
| 10Base-FB | — | 2 |
| 10Base-FL | 10,5 | 8 |
| 10Base-T | 10,5 | 8 |

В соответствии с этими данными рассчитаем значение PVV для нашего примера.

Левый сегмент 1 10Base-T: сокращение в 10,5 bt.

Промежуточный сегмент 2 10Base-FL: 8.

Промежуточный сегмент 3 10Base-FB: 2.

Промежуточный сегмент 4 10Base-FB: 2.

Промежуточный сегмент 5 10Base-FB: 2.

Сумма этих величин дает значение PW , равное 24,5, что меньше предельного значения в 49 битовых интервала.

В результате приведенная в примере сеть соответствует стандартам Ethernet по всем параметрам, связанным и с длинами сегментов, и с количеством повторителей.

Выводы

- Ethernet - это самая распространенная на сегодняшний день технология локальных сетей. В широком смысле Ethernet - это целое семейство технологий, включающее различные фирменные и стандартные варианты, из которых наиболее известны фирменный вариант Ethernet DIX, 10-мегабитные варианты стандарта IEEE 802.3, а также новые высокоскоростные технологии Fast Ethernet и Gigabit Ethernet. Почти все виды технологий Ethernet используют один и тот же метод разделения среды передачи данных - метод случайного доступа CSMA/CD, который определяет облик технологии в целом.
- В узком смысле Ethernet - это 10-мегабитная технология, описанная в стандарте IEEE 802.3.
- Важным явлением в сетях Ethernet является коллизия - ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общей среде. Наличие коллизий - это неотъемлемое свойство сетей Ethernet, являющееся следствием принятого случайного метода доступа. Возможность четкого распознавания коллизий обусловлена правильным выбором параметров сети, в частности соблюдением соотношения между минимальной длиной кадра и максимально возможным диаметром сети.
- 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.
- Максимально возможная пропускная способность сегмента Ethernet в кадрах в секунду достигается при передаче кадров минимальной длины и составляет 14 880 кадр/с. При этом полезная пропускная способность сети составляет всего 5,48 Мбит/с, что лишь ненамного превышает половину номинальной пропускной способности - 10 Мбит/с.
- 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.
- При отсутствии коллизий и ожидания доступа *коэффициент использования* сети зависит от размера поля данных кадра и имеет максимальное значение 0,96.
- Технология Ethernet поддерживает 4 разных типа кадров, которые имеют общий формат адресов узлов. Существуют формальные признаки, по которым сетевые адаптеры автоматически распознают тип кадра.
- В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 определяет различные спецификации: 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB. Для каждой спецификации определяются тип кабеля, максимальные длины непрерывных отрезков кабеля, а также правила использования повторителей для увеличения диаметра сети: правило «5-4-3» для коаксиальных вариантов сетей, и правило «4-х хабов» для витой пары и оптоволокна.
- Для «смешанной» сети, состоящей из физических сегментов различного типа, полезно проводить расчет общей длины сети и допустимого количества

повторителей. Комитет IEEE 802.3 приводит исходные данные для таких расчетов, в которых указываются задержки, вносимые повторителями различных спецификаций физической среды, сетевыми адаптерами и сегментами кабеля.

3.4. Технология Token Ring (802.5)

3.4.1. Основные характеристики технологии

Сети Token Ring, так же как и сети Ethernet, характеризует разделяемая среда передачи данных, которая в данном случае состоит из отрезков кабеля, соединяющих все станции сети в кольцо. Кольцо рассматривается как общий разделяемый ресурс, и для доступа к нему требуется не случайный алгоритм, как в сетях Ethernet, а детерминированный, основанный на передаче станциям права на использование кольца в определенном порядке. Это право передается с помощью кадра специального формата, называемого *маркером* или *токеном (token)*.

Технология Token Ring была разработана компанией IBM в 1984 году, а затем передана в качестве проекта стандарта в комитет IEEE 802, который на ее основе принял в 1985 году стандарт 802.5. Компания IBM использует технологию Token Ring в качестве своей основной сетевой технологии для построения локальных сетей на основе компьютеров различных классов - мэйнфреймов, мини-компьютеров и персональных компьютеров. В настоящее время именно компания IBM является основным законодателем моды технологии Token Ring, производя около 60 % сетевых адаптеров этой технологии.

Сети Token Ring работают с двумя битовыми скоростями - 4 и 16 Мбит/с. Смешение станций, работающих на различных скоростях, в одном кольце не допускается. Сети Token Ring, работающие со скоростью 16 Мбит/с, имеют некоторые усовершенствования в алгоритме доступа по сравнению со стандартом 4 Мбит/с.

Технология Token Ring является более сложной технологией, чем Ethernet. Она обладает свойствами отказоустойчивости. В сети Token Ring определены процедуры контроля работы сети, которые используют обратную связь кольцеобразной структуры - посланный кадр всегда возвращается в станцию - отправитель. В некоторых случаях обнаруженные ошибки в работе сети устраняются автоматически, например может быть восстановлен потерянный маркер. В других случаях ошибки только фиксируются, а их устранение выполняется вручную обслуживающим персоналом.

Для контроля сети одна из станций выполняет роль так называемого *активного монитора*. Активный монитор выбирается во время инициализации кольца как станция с максимальным значением MAC-адреса. Если активный монитор выходит из строя, процедура инициализации кольца повторяется и выбирается новый активный монитор. Чтобы сеть могла обнаружить отказ активного монитора, последний в работоспособном состоянии каждые 3 секунды генерирует специальный кадр своего присутствия. Если этот кадр не появляется в сети более 7 секунд, то остальные станции сети начинают процедуру выборов нового активного монитора.

3.4.2. Маркерный метод доступа к разделяемой среде

В сетях с *маркерным методом доступа* (а к ним, кроме сетей Token Ring, относятся сети FDDI, а также сети, близкие к стандарту 802.4, - ArcNet, сети производственного

назначения MAP) право на доступ к среде передается циклически от станции к станции по логическому кольцу.

В сети Token Ring кольцо образуется отрезками кабеля, соединяющими соседние станции. Таким образом, каждая станция связана со своей предшествующей и последующей станцией и может непосредственно обмениваться данными только с ними. Для обеспечения доступа станций к физической среде по кольцу циркулирует кадр специального формата и назначения - маркер. В сети Token Ring любая станция всегда непосредственно получает данные только от одной станции - той, которая является предыдущей в кольце. Такая станция называется *ближайшим активным соседом, расположенным выше по потоку (данных) - Nearest Active Upstream Neighbor, NAUN*. Передачу же данных станция всегда осуществляет своему ближайшему соседу вниз по потоку данных.

Получив маркер, станция анализирует его и при отсутствии у нее данных для передачи обеспечивает его продвижение к следующей станции. Станция, которая имеет данные для передачи, при получении маркера изымает его из кольца, что дает ей право доступа к физической среде и передачи своих данных. Затем эта станция выдает в кольцо кадр данных установленного формата последовательно по битам. Переданные данные проходят по кольцу всегда в одном направлении от одной станции к другой. Кадр снабжен адресом назначения и адресом источника.

Все станции кольца ретранслируют кадр побитно, как повторители. Если кадр проходит через станцию назначения, то, распознав свой адрес, эта станция копирует кадр в свой внутренний буфер и вставляет в кадр признак подтверждения приема. Станция, выдавшая кадр данных в кольцо, при обратном его получении с подтверждением приема изымает этот кадр из кольца и передает в сеть новый маркер для обеспечения возможности другим станциям сети передавать данные. Такой алгоритм доступа применяется в сетях Token Ring со скоростью работы 4 Мбит/с, описанных в стандарте 802.5.

На рис. 3.14 описанный алгоритм доступа к среде иллюстрируется временной диаграммой. Здесь показана передача пакета А в кольце, состоящем из 6 станций, от станции 1 к станции 3. После прохождения станции назначения 3 в пакете А устанавливаются два признака - признак распознавания адреса и признак копирования пакета в буфер (что на рисунке отмечено звездочкой внутри пакета). После возвращения пакета в станцию 1 отправитель распознает свой пакет по адресу источника и удаляет пакет из кольца. Установленные станцией 3 признаки говорят станции-отправителю о том, что пакет дошел до адресата и был успешно скопирован им в свой буфер.

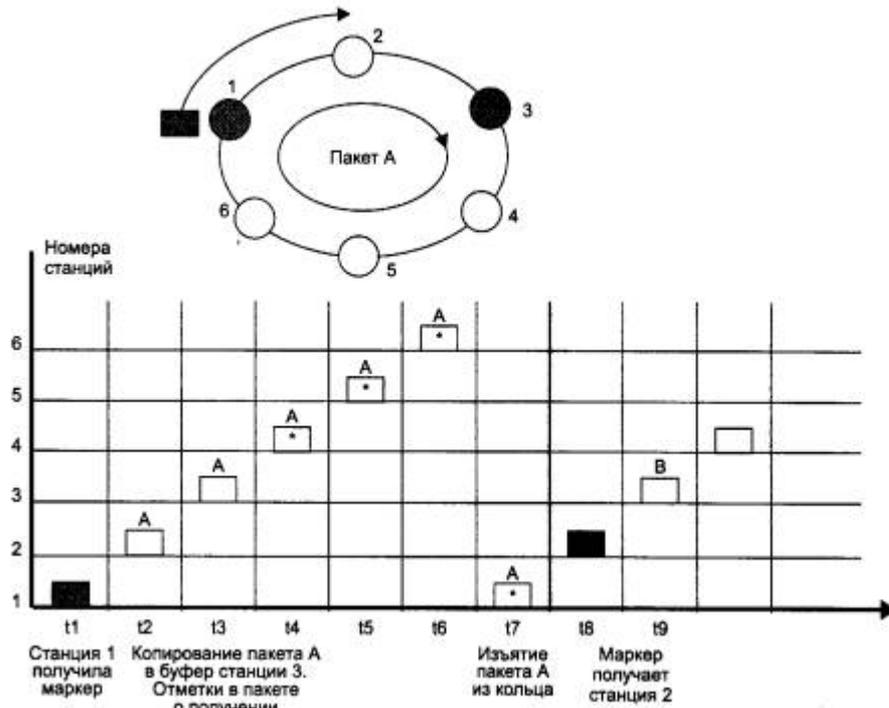


Рис. 3.14. Принцип маркерного доступа

Время владения разделяемой средой в сети Token Ring ограничивается *временем удержания маркера (token holding time)*, после истечения которого станция обязана прекратить передачу собственных данных (текущий кадр разрешается завершить) и передать маркер далее по кольцу. Станция может успеть передать за время удержания маркера один или несколько кадров в зависимости от размера кадров и величины времени удержания маркера. Обычно время удержания маркера по умолчанию равно 10 мс, а максимальный размер кадра в стандарте 802.5 не определен. Для сетей 4 Мбит/с он обычно равен 4 Кбайт, а для сетей 16 Мбит/с - 16 Кбайт. Это связано с тем, что за время удержания маркера станция должна успеть передать хотя бы один кадр. При скорости 4 Мбит/с за время 10 мс можно передать 5000 байт, а при скорости 16 Мбит/с - соответственно 20 000 байт. Максимальные размеры кадра выбраны с некоторым запасом.

В сетях Token Ring 16 Мбит/с используется также несколько другой алгоритм доступа к кольцу, называемый алгоритмом *раннего освобождения маркера (Early Token Release)*. В соответствии с ним станция передает маркер следующей станции сразу же после окончания передачи последнего бита кадра, не дожидаясь возвращения по кольцу этого кадра с битом подтверждения приема. В этом случае пропускная способность кольца используется более эффективно, так как по кольцу одновременно продвигаются кадры нескольких станций. Тем не менее свои кадры в каждый момент времени может генерировать только одна станция - та, которая в данный момент владеет маркером доступа. Остальные станции в это время только повторяют чужие кадры, так что принцип деления кольца во времени сохраняется, ускоряется только процедура передачи владения кольцом.

Для различных видов сообщений, передаваемым кадрам, могут назначаться различные *приоритеты*: от 0 (низший) до 7 (высший). Решение о приоритете конкретного кадра принимает передающая станция (протокол Token Ring получает этот параметр через межуровневые интерфейсы от протоколов верхнего уровня, например прикладного).

Маркер также всегда имеет некоторый уровень текущего приоритета. Станция имеет право захватить переданный ей маркер только в том случае, если приоритет кадра, который она хочет передать, выше (или равен) приоритета маркера. В противном случае станция обязана передать маркер следующей по кольцу станции.

За наличие в сети маркера, причем единственной его копии, отвечает активный монитор. Если активный монитор не получает маркер в течение длительного времени (например, 2,6 с), то он порождает новый маркер.

3.4.3. Форматы кадров Token Ring

В Token Ring существуют три различных формата кадров:

- маркер;
- кадр данных;
- прерывающая последовательность.

Маркер

Кадр маркера состоит из трех полей, каждое длиной в один байт.

- *Начальный ограничитель (Start Delimiter, SD)* появляется в начале маркера, а также в начале любого кадра, проходящего по сети. Поле представляет собой следующую уникальную последовательность символов манчестерского кода: JK0JK000. Поэтому начальный ограничитель нельзя спутать ни с какой битовой последовательностью внутри кадра.
- *Управление доступом (Access Control)* состоит из четырех подполей: PPP, T, M и RRR, где PPP - биты приоритета, T - бит маркера, M - бит монитора, RRR - резервные биты приоритета. Бит T, установленный в 1, указывает на то, что данный кадр является маркером доступа. Бит монитора устанавливается в 1 активным монитором и в 0 любой другой станцией, передающей маркер или кадр. Если активный монитор видит маркер или кадр, содержащий бит монитора со значением 1, то активный монитор знает, что этот кадр или маркер уже однажды обошел кольцо и не был обработан станциями. Если это кадр, то он удаляется из кольца. Если это маркер, то активный монитор передает его дальше по кольцу. Использование полей приоритетов будет рассмотрено ниже.
- *Конечный ограничитель (End Delimeter, ED)* - последнее поле маркера. Так же как и поле начального ограничителя, это поле содержит уникальную последовательность манчестерских кодов JK1JK1, а также два однобитовых признака: I и E. Признак I (Intermediate) показывает, является ли кадр последним в серии кадров (1-0) или промежуточным (1-1). Признак E (Error) - это признак ошибки. Он устанавливается в 0 станцией-отправителем, и любая станция кольца, через которую проходит кадр, должна установить этот признак в 1, если она обнаружит ошибку по контрольной сумме или другую некорректность кадра.

Кадр данных и прерывающая последовательность

Кадр данных включает те же три поля, что и маркер, и имеет кроме них еще несколько дополнительных полей. Таким образом, кадр данных состоит из следующих полей:

- начальный ограничитель (Start Delimiter, SD);

- управление кадром (Frame Control, PC);
- адрес назначения (Destination Address, DA);
- адрес источника (Source Address, SA);
- данные (INFO);
- контрольная сумма (Frame Check Sequence, PCS);
- конечный ограничитель (End Delimiter, ED);
- статус кадра (Frame Status, FS).

Кадр данных может переносить либо служебные данные для управления кольцом (данные MAC-уровня), либо пользовательские данные (LLC-уровня). Стандарт Token Ring определяет 6 типов управляющих кадров MAC-уровня. Поле FC определяет тип кадра (MAC или LLC), и если он определен как MAC, то поле также указывает, какой из шести типов кадров представлен данным кадром.

Назначение этих шести типов кадров описано ниже.

- Чтобы удостовериться, что ее адрес уникальный, станция, когда впервые присоединяется к кольцу, посылает кадр *Тест дублирования адреса (Duplicate Address Test, DAT)*.
- Чтобы сообщить другим станциям, что он работоспособен, активный монитор периодически посылает в кольцо кадр *Существует активный монитор (Active Monitor Present, AMP)*.
- Кадр *Существует резервный монитор (Standby Monitor Present, SMP)* отправляется любой станцией, не являющейся активным монитором.
- Резервный монитор отправляет кадр *Маркер заявки (Claim Token, CT)*, когда подозревает, что активный монитор отказал, затем резервные мониторы договариваются между собой, какой из них станет новым активным монитором.
- Станция отправляет кадр *Сигнал (Beacon, BCN)* в случае возникновения серьезных сетевых проблем, таких как обрыв кабеля, обнаружение станции, передающей кадры без ожидания маркера, выход станции из строя. Определяя, какая станция отправляет кадр сигнала, диагностирующая программа (ее существование и функции не определяются стандартами Token Ring) может локализовать проблему. Каждая станция периодически передает кадры BCN до тех пор, пока не примет кадр BCN от своего предыдущего (NAUN) соседа. В результате в кольце только одна станция продолжает передавать кадры BCN - та, у которой имеются проблемы с предыдущим соседом. В сети Token Ring каждая станция знает MAC - адрес своего предыдущего соседа, поэтому Beacon-процедура приводит к выявлению адреса некорректно работающей станции.
- Кадр *Очистка (Purge, PRG)* используется новым активным монитором для того, чтобы перевести все станции в исходное состояние и очистить кольцо от всех ранее посланных кадров.

В стандарте 802.5 используются адреса той же структуры, что и в стандарте 802.3. Адреса назначения и источника могут иметь длину либо 2, либо 6 байт. Первый бит адреса назначения определяет групповой или индивидуальный адрес как для 2-байтовых, так и для 6-байтовых адресов. Второй бит в 6-байтовых адресах говорит о том, назначен адрес локально или глобально. Адрес, состоящий из всех единиц, является ширококвещательным.

Адрес источника имеет тот же размер и формат, что и адрес назначения. Однако признак группового адреса используется в нем особым способом. Так как адрес источника не

может быть групповым, то наличие единицы в этом разряде говорит о том, что в кадре имеется специальное *поле маршрутной информации (Routing Information Field, RIF)*. Эта информация требуется при работе мостов, связывающих несколько колец Token Ring, в режиме маршрутизации от источника.

Поле данных INFO кадра может содержать данные одного из описанных управляющих кадров уровня MAC или пользовательские данные, упакованные в кадр уровня LLC. Это поле, как уже отмечалось, не имеет определенной стандартом максимальной длины, хотя существуют практические ограничения на его размер, основанные на временных соотношениях между временем удержания маркера и временем передачи кадра.

Поле статуса FS имеет длину 1 байт и содержит 4 резервных бита и 2 подполя: бит распознавания адреса A и бит копирования кадра C. Так как это поле не сопровождается вычисляемой суммой CRC, то используемые биты для надежности дублируются: поле статуса FS имеет вид ACxxACxx. Если бит распознавания адреса не установлен во время получения кадра, это означает, что станция назначения больше не присутствует в сети (возможно, вследствие неполадок, а возможно, станция находится в другом кольце, связанном с данным с помощью моста). Если оба бита опознавания адреса и копирования кадра установлены и бит обнаружения ошибки также установлен, то исходная станция знает, что ошибка случилась после того, как этот кадр был корректно получен.

Прерывающая последовательность состоит из двух байтов, содержащих начальный и конечный ограничители. Прерывающая последовательность может появиться в любом месте потока битов и сигнализирует о том, что текущая передача кадра или маркера отменяется.

Приоритетный доступ к кольцу

Каждый кадр данных или маркер имеет приоритет, устанавливаемый битами приоритета (значение от 0 до 7, причем 7 - наивысший приоритет). Станция может воспользоваться маркером, если только у нее есть кадры для передачи с приоритетом равным или большим, чем приоритет маркера. Сетевой адаптер станции с кадрами, у которых приоритет ниже, чем приоритет маркера, не может захватить маркер, но может поместить наибольший приоритет своих ожидающих передачи кадров в резервные биты маркера, но только в том случае, если записанный в резервных битах приоритет ниже его собственного. В результате в резервных битах приоритета устанавливается наивысший приоритет станции, которая пытается получить доступ к кольцу, но не может этого сделать из-за высокого приоритета маркера.

Станция, сумевшая захватить маркер, передает свои кадры с приоритетом маркера, а затем передает маркер следующему соседу. При этом она переписывает значение резервного приоритета в поле приоритета маркера, а резервный приоритет обнуляется. Поэтому при следующем проходе маркера по кольцу его захватит станция, имеющая наивысший приоритет.

При инициализации кольца основной и резервный приоритет маркера устанавливаются в 0.

Хотя механизм приоритетов в технологии Token Ring имеется, но он начинает работать только в том случае, когда приложение или прикладной протокол решают его использовать. Иначе все станции будут иметь равные права доступа к кольцу, что в

основном и происходит на практике, так как большая часть приложений этим механизмом не пользуется. Это связано с тем, что приоритеты кадров поддерживаются не во всех технологиях, например в сетях Ethernet они отсутствуют, поэтому приложение будет вести себя по-разному, в зависимости от технологии нижнего уровня, что нежелательно. В современных сетях приоритетность обработки кадров обычно обеспечивается коммутаторами или маршрутизаторами, которые поддерживают их независимо от используемых протоколов канального уровня.

3.4.4. Физический уровень технологии Token Ring

Стандарт Token Ring фирмы IBM изначально предусматривал построение связей в сети с помощью концентраторов, называемых MAU (Multistation Access Unit) или MSAU (Multi-Station Access Unit), то есть устройствами многостанционного доступа (рис. 3.15). Сеть Token Ring может включать до 260 узлов.

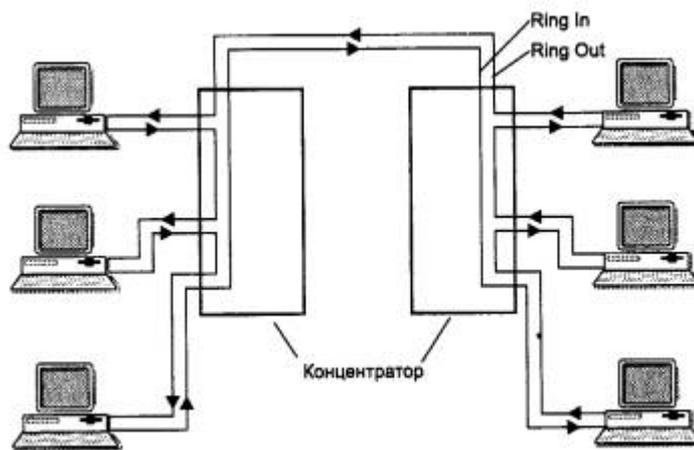


Рис. 3.15. Физическая конфигурация сети Token Ring

Концентратор Token Ring может быть активным или пассивным. Пассивный концентратор просто соединяет порты внутренними связями так, чтобы станции, подключаемые к этим портам, образовали кольцо. Ни усиление сигналов, ни их ресинхронизацию пассивный MSAU не выполняет. Такое устройство можно считать простым кроссовым блоком за одним исключением - MSAU обеспечивает обход какого-либо порта, когда присоединенный к этому порту компьютер выключают. Такая функция необходима для обеспечения связности кольца вне зависимости от состояния подключенных компьютеров. Обычно обход порта выполняется за счет релейных схем, которые питаются постоянным током от сетевого адаптера, а при выключении сетевого адаптера нормально замкнутые контакты реле соединяют вход порта с его выходом.

Активный концентратор выполняет функции регенерации сигналов и поэтому иногда называется повторителем, как в стандарте Ethernet.

Возникает вопрос - если концентратор является пассивным устройством, то каким образом обеспечивается качественная передача сигналов на большие расстояния, которые возникают при включении в сеть нескольких сот компьютеров? Ответ состоит в том, что роль усилителя сигналов в этом случае берет на себя каждый сетевой адаптер, а роль ресинхронизирующего блока выполняет сетевой адаптер активного монитора кольца. Каждый сетевой адаптер Token Ring имеет блок повторения, который умеет

регенерировать и ресинхронизировать сигналы, однако последнюю функцию выполняет в кольце только блок повторения активного монитора.

Блок ресинхронизации состоит из 30-битного буфера, который принимает манчестерские сигналы с несколько искаженными за время оборота по кольцу интервалами следования. При максимальном количестве станций в кольце (260) вариация задержки циркуляции бита по кольцу может достигать 3-битовых интервалов. Активный монитор «вставляет» свой буфер в кольцо и синхронизирует битовые сигналы, выдавая их на выход с требуемой частотой.

В общем случае сеть Token Ring имеет комбинированную звездно-кольцевую конфигурацию. Конечные узлы подключаются к MSAU по топологии звезды, а сами MSAU объединяются через специальные порты Ring In (RI) и Ring Out (RO) для образования магистрального физического кольца.

Все станции в кольце должны работать на одной скорости - либо 4 Мбит/с, либо 16 Мбит/с. Кабели, соединяющие станцию с концентратором, называются ответвительными (lobe cable), а кабели, соединяющие концентраторы, - магистральными (trunk cable).

Технология Token Ring позволяет использовать для соединения конечных станций и концентраторов различные типы кабеля: STP Type I, UTP Type 3, UTP Type 6, а также волоконно-оптический кабель.

При использовании экранированной витой пары STP Type 1 из номенклатуры кабельной системы IBM в кольцо допускается объединять до 260 станций при длине ответвительных кабелей до 100 метров, а при использовании неэкранированной витой пары максимальное количество станций сокращается до 72 при длине ответвительных кабелей до 45 метров.

Расстояние между пассивными MSAU может достигать 100 м при использовании кабеля STP Type 1 и 45 м при использовании кабеля UTP Type 3. Между активными MSAU максимальное расстояние увеличивается соответственно до 730 м или 365 м в зависимости от типа кабеля.

Максимальная длина кольца Token Ring составляет 4000 м. Ограничения на максимальную длину кольца и количество станций в кольце в технологии Token Ring не являются такими жесткими, как в технологии Ethernet. Здесь эти ограничения во многом связаны со временем оборота маркера по кольцу (но не только - есть и другие соображения, диктующие выбор ограничений). Так, если кольцо состоит из 260 станций, то при времени удержания маркера в 10 мс маркер вернется в активный монитор в худшем случае через 2,6 с, а это время как раз составляет тайм-аут контроля оборота маркера. В принципе, все значения тайм-аутов в сетевых адаптерах узлов сети Token Ring можно настраивать, поэтому можно построить сеть Token Ring с большим количеством станций и с большей длиной кольца.

Существует большое количество аппаратуры для сетей Token Ring, которая улучшает некоторые стандартные характеристики этих сетей: максимальную длину сети, расстояние между концентраторами, надежность (путем использования двойных колец).

Недавно компания IBM предложила новый вариант технологии Token Ring, названный High-Speed Token Ring, HSTR. Эта технология поддерживает битовые скорости в 100 и 155 Мбит/с, сохраняя основные особенности технологии Token Ring 16 Мбит/с.

Выводы

- Технология Token Ring развивается в основном компанией IBM и имеет также статус стандарта IEEE 802.5, который отражает наиболее важные усовершенствования, вносимые в технологию IBM.
- В сетях Token Ring используется маркерный метод доступа, который гарантирует каждой станции получение доступа к разделяемому кольцу в течение времени оборота маркера. Из-за этого свойства этот метод иногда называют детерминированным.
- 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.
- Сети Token Ring работают на двух скоростях: 4 и 16 Мбит/с и могут использовать 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.
- Технология Token Ring обладает элементами отказоустойчивости. За счет обратной связи кольца 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, а если она не помогает, то для локализации неисправного участка кабеля или неисправной станции используется процедура beaconding.
- Максимальный размер поля данных кадра Token Ring зависит от скорости работы кольца. Для скорости 4 Мбит/с он равен около 5000 байт, а при скорости 16 Мбит/с - около 16 Кбайт. Минимальный размер поля данных кадра не определен, то есть может быть равен 0.
- В сети Token Ring станции в кольцо объединяют с помощью концентраторов, называемых MSAU. Пассивный концентратор MSAU выполняет роль кроссовой панели, которая соединяет выход предыдущей станции в кольце со входом последующей. Максимальное расстояние от станции до MSAU - 100 м для STP и 45 м для UTP.
- Активный монитор выполняет в кольце также роль повторителя - он ресинхронизирует сигналы, проходящие по кольцу.
- Кольцо может быть построено на основе активного концентратора MSAU, который в этом случае называют повторителем.
- 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.

3.5. Технология FDDI

Технология *FDDI (Fiber Distributed Data Interface)*- оптоволоконный интерфейс распределенных данных - это первая технология локальных сетей, в которой средой передачи данных является волоконно-оптический кабель. Работы по созданию технологий и устройств для использования волоконно-оптических каналов в локальных сетях начались в 80-е годы, вскоре после начала промышленной эксплуатации подобных каналов в территориальных сетях. Проблемная группа X3T9.5 института ANSI разработала в период с 1986 по 1988 гг. начальные версии стандарта FDDI, который обеспечивает передачу кадров со скоростью 100 Мбит/с по двойному волоконно-оптическому кольцу длиной до 100 км.

3.5.1. Основные характеристики технологии

Технология FDDI во многом основывается на технологии Token Ring, развивая и совершенствуя ее основные идеи. Разработчики технологии FDDI ставили перед собой в качестве наиболее приоритетных следующие цели:

- повысить битовую скорость передачи данных до 100 Мбит/с;
- повысить отказоустойчивость сети за счет стандартных процедур восстановления ее после отказов различного рода - повреждения кабеля, некорректной работы узла, концентратора, возникновения высокого уровня помех на линии и т. п.;
- максимально эффективно использовать потенциальную пропускную способность сети как для асинхронного, так и для синхронного (чувствительного к задержкам) трафика.

Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Наличие двух колец - это основной способ повышения отказоустойчивости в сети FDDI, и узлы, которые хотят воспользоваться этим повышенным потенциалом надежности, должны быть подключены к обоим кольцам.

В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля только первичного (Primary) кольца, этот режим назван режимом *Thru* - «сквозным» или «транзитным». Вторичное кольцо (Secondary) в этом режиме не используется.

В случае какого-либо вида отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ узла), первичное кольцо объединяется со вторичным (рис. 3.16), вновь образуя единое кольцо. Этот режим работы сети называется *Wrap*, то есть «свертывание» или «сворачивание» колец. Операция свертывания производится средствами концентраторов и/или сетевых адаптеров FDDI. Для упрощения этой процедуры данные по первичному кольцу всегда передаются в одном направлении (на диаграммах это направление изображается против часовой стрелки), а по вторичному - в обратном (изображается по часовой стрелке). Поэтому при образовании общего кольца из двух колец передатчики станций по-прежнему остаются подключенными к приемникам соседних станций, что позволяет правильно передавать и принимать информацию соседними станциями.



Рис. 3.16. Реконфигурация колец FDDI при отказе

В стандартах FDDI много внимания отводится различным процедурам, которые позволяют определить наличие отказа в сети, а затем произвести необходимую реконфигурацию. Сеть FDDI может полностью восстанавливать свою работоспособность

в случае единичных отказов ее элементов. При множественных отказах сеть распадается на несколько не связанных сетей. Технология FDDI дополняет механизмы обнаружения отказов технологии Token Ring механизмами реконфигурации пути передачи данных в сети, основанными на наличии резервных связей, обеспечиваемых вторым кольцом.

Кольца в сетях FDDI рассматриваются как общая разделяемая среда передачи данных, поэтому для нее определен специальный метод доступа. Этот метод очень близок к методу доступа сетей Token Ring и также называется методом маркерного (или токенового) кольца - token ring.

Отличия метода доступа заключаются в том, что время удержания маркера в сети FDDI не является постоянной величиной, как в сети Token Ring. Это время зависит от загрузки кольца - при небольшой загрузке оно увеличивается, а при больших перегрузках может уменьшаться до нуля. Эти изменения в методе доступа касаются только асинхронного трафика, который не критичен к небольшим задержкам передачи кадров. Для синхронного трафика время удержания маркера по-прежнему остается фиксированной величиной. Механизм приоритетов кадров, аналогичный принятому в технологии Token Ring, в технологии FDDI отсутствует. Разработчики технологии решили, что деление трафика на 8 уровней приоритетов избыточно и достаточно разделить трафик на два класса - асинхронный и синхронный, последний из которых обслуживается всегда, даже при перегрузках кольца.

В остальном пересылка кадров между станциями кольца на уровне MAC полностью соответствует технологии Token Ring. Станции FDDI применяют алгоритм раннего освобождения маркера, как и сети Token Ring со скоростью 16 Мбит/с.

Адреса уровня MAC имеют стандартный для технологий IEEE 802 формат. Формат кадра FDDI близок к формату кадра Token Ring, основные отличия заключаются в отсутствии полей приоритетов. Признаки распознавания адреса, копирования кадра и ошибки позволяют сохранить имеющиеся в сетях Token Ring процедуры обработки кадров станцией-отправителем, промежуточными станциями и станцией-получателем.

На рис. 3.17 приведено соответствие структуры протоколов технологии FDDI семиуровневой модели OSI. FDDI определяет протокол физического уровня и протокол подуровня доступа к среде (MAC) канального уровня. Как и во многих других технологиях локальных сетей, в технологии FDDI используется протокол подуровня управления каналом данных LLC, определенный в стандарте IEEE 802.2. Таким образом, несмотря на то что технология FDDI была разработана и стандартизована институтом ANSI, а не комитетом IEEE, она полностью вписывается в структуру стандартов 802.

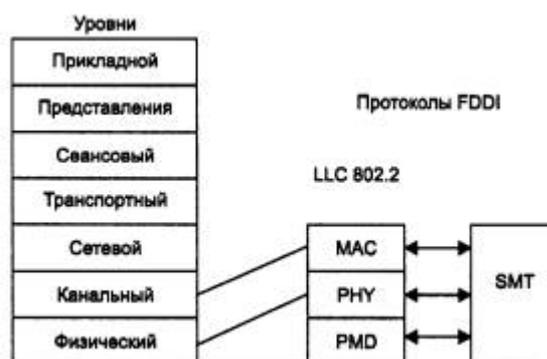


Рис. 3.17. Структура протоколов технологии FDDI

Отличительной особенностью технологии FDDI является уровень управления станцией - *Station Management (SMT)*. Именно уровень SMT выполняет все функции по управлению и мониторингу всех остальных уровней стека протоколов FDDI. В управлении кольцом принимает участие каждый узел сети FDDI. Поэтому все узлы обмениваются специальными кадрами SMT для управления сетью.

Отказоустойчивость сетей FDDI обеспечивается протоколами и других уровней: с помощью физического уровня устраняются отказы сети по физическим причинам, например из-за обрыва кабеля, а с помощью уровня MAC - логические отказы сети, например потеря нужного внутреннего пути передачи маркера и кадров данных между портами концентратора.

3.5.2. Особенности метода доступа FDDI

Для передачи синхронных кадров станция всегда имеет право захватить маркер при его поступлении. При этом время удержания маркера имеет заранее заданную фиксированную величину.

Если же станции кольца FDDI нужно передать асинхронный кадр (тип кадра определяется протоколами верхних уровней), то для выяснения возможности *захвата маркера при его очередном* поступлении станция должна измерить интервал времени, который прошел с момента предыдущего прихода маркера. Этот интервал называется *временем оборота маркера (Token Rotation Time, TRT)*. Интервал TRT сравнивается с другой величиной - *максимально допустимым временем оборота маркера по кольцу T_{Org}* . Если в технологии Token Ring максимально допустимое время оборота маркера является фиксированной величиной (2,6 с из расчета 260 станций в кольце), то в технологии FDDI станции договариваются о величине T_{Org} во время инициализации кольца. Каждая станция может предложить свое значение T_{Org} , в результате для кольца устанавливается минимальное из предложенных станциями времен. Это позволяет учитывать потребности приложений, работающих на станциях. Обычно синхронным приложениям (приложениям реального времени) нужно чаще передавать данные в сеть небольшими порциями, а асинхронным приложениям лучше получать доступ к сети реже, но большими порциями. Предпочтение отдается станциям, передающим синхронный трафик.

Таким образом, при очередном поступлении маркера для передачи асинхронного кадра сравнивается фактическое время оборота маркера TRT с максимально возможным T_{Org} . Если кольцо не перегружено, то маркер приходит раньше, чем истекает интервал T_{Org} , то есть $TRT < T_{Org}$. В этом случае станции разрешается захватить маркер и передать свой кадр (или кадры) в кольцо. Время удержания маркера TRT равно разности $T_{Org} - TRT$, и в течение этого времени станция передает в кольцо столько асинхронных кадров, сколько успеет.

Если же кольцо перегружено и маркер опоздал, то интервал TRT будет больше T_{Org} . В этом случае станция не имеет права захватить маркер для асинхронного кадра. Если все станции в сети хотят передавать только асинхронные кадры, а маркер сделал оборот по кольцу слишком медленно, то все станции пропускают маркер в режиме повторения, маркер быстро делает очередной оборот и на следующем цикле работы станции уже имеют право захватить маркер и передать свои кадры.

Метод доступа FDDI для асинхронного трафика является адаптивным и хорошо регулирует временные перегрузки сети.

3.5.3. Отказоустойчивость технологии FDDI

Для обеспечения отказоустойчивости в стандарте FDDI предусмотрено создание двух оптоволоконных колец - первичного и вторичного. В стандарте FDDI допускаются два вида подсоединения станций к сети. Одновременное подключение к первичному и вторичному кольцам называется двойным подключением - Dual Attachment, DA. Подключение только к первичному кольцу называется одиночным подключением - Single Attachment, SA.

В стандарте FDDI предусмотрено наличие в сети конечных узлов - станций (Station), а также концентраторов (Concentrator). Для станций и концентраторов допустим любой вид подключения к сети - как одиночный, так и двойной. Соответственно такие устройства имеют соответствующие названия: SAS (Single Attachment Station), DAS (Dual Attachment Station), SAC (Single Attachment Concentrator) и DAC (Dual Attachment Concentrator).

Обычно концентраторы имеют двойное подключение, а станции - одинарное, как это показано на рис. 3.18, хотя это и не обязательно. Чтобы устройства легче было правильно присоединять к сети, их разъемы маркируются. Разъемы типа А и В должны быть у устройств с двойным подключением, разъем М (Master) имеется у концентратора для одиночного подключения станции, у которой ответный разъем должен иметь тип S (Slave).

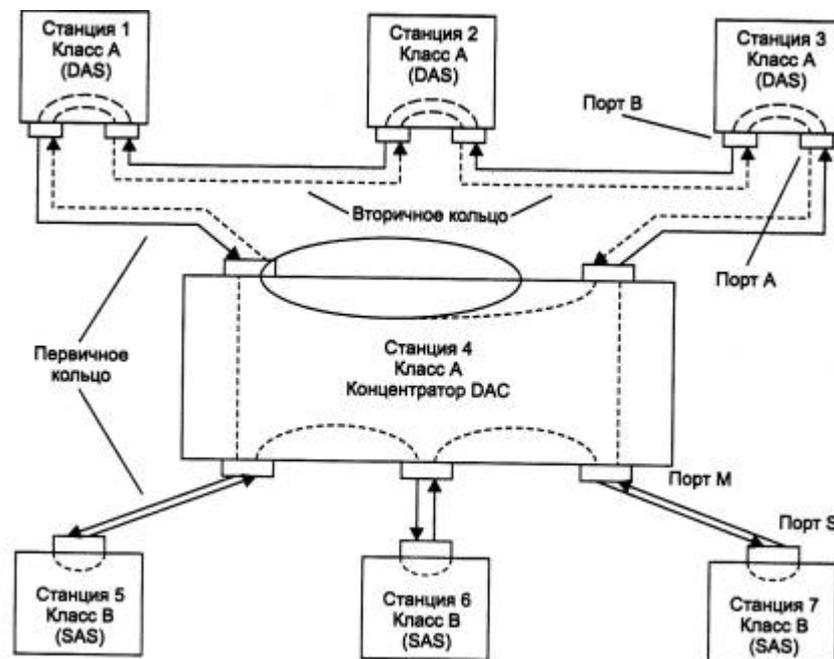


Рис. 3.18. Подключение узлов к кольцам FDDI

В случае однократного обрыва кабеля между устройствами с двойным подключением сеть FDDI сможет продолжить нормальную работу за счет автоматической реконфигурации внутренних путей передачи кадров между портами концентратора (рис. 3.19). Двукратный обрыв кабеля приведет к образованию двух изолированных сетей FDDI. При обрыве кабеля, идущего к станции с одиночным подключением, она становится отрезанной от

сети, а кольцо продолжает работать за счет реконфигурации внутреннего пути в концентраторе - порт М, к которому была подключена данная станция, будет исключен из общего пути.

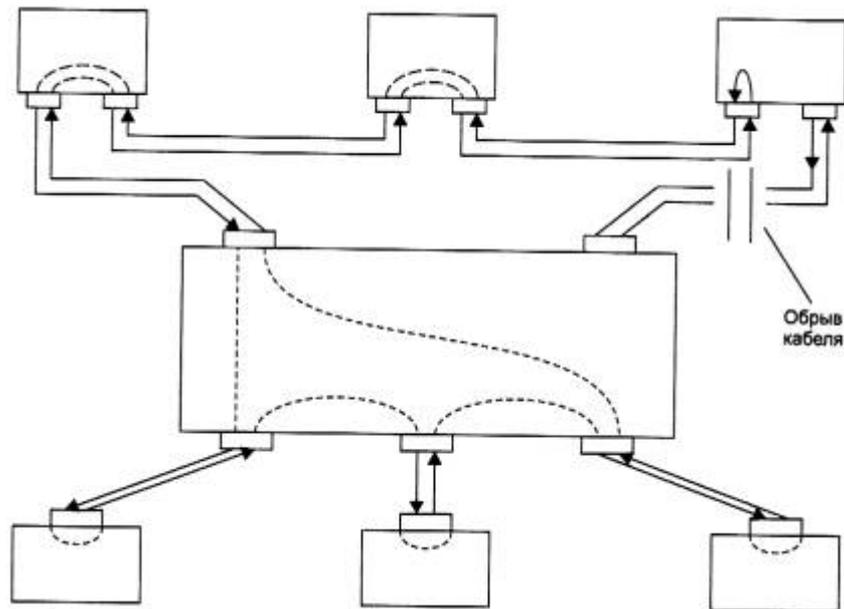


Рис. 3.19. Реконфигурация сети FDDI при обрыве провода

Для сохранения работоспособности сети при отключении питания в станциях с двойным подключением, то есть станциях DAS, последние должны быть оснащены оптическими обходными переключателями (Optical Bypass Switch), которые создают обходной путь для световых потоков при исчезновении питания, которое они получают от станции.

И наконец, станции DAS или концентраторы DAC можно подключать к двум портам М одного или двух концентраторов, создавая древовидную структуру с основными и резервными связями. По умолчанию порт В поддерживает основную связь, а порт А - резервную. Такая конфигурация называется подключением Dual Homing

Отказоустойчивость поддерживается за счет постоянного слежения уровня SMT концентраторов и станций за временными интервалами циркуляции маркера и кадров, а также за наличием физического соединения между соседними портами в сети. В сети FDDI нет выделенного активного монитора - все станции и концентраторы равноправны, и при обнаружении отклонений от нормы они начинают процесс повторной инициализации сети, а затем и ее реконфигурации.

Реконфигурация внутренних путей в концентраторах и сетевых адаптерах выполняется специальными оптическими переключателями, которые перенаправляют световой луч и имеют достаточно сложную конструкцию.

3.5.4. Физический уровень технологии FDDI

В технологии FDDI для передачи световых сигналов по оптическим волокнам реализовано логическое кодирование 4В/5В в сочетании с физическим кодированием

NRZI. Эта схема приводит к передаче по линии связи сигналов с тактовой частотой 125 МГц.

Так как из 32 комбинаций 5-битных символов для кодирования исходных 4-битных символов нужно только 16 комбинаций, то из оставшихся 16 выбрано несколько кодов, которые используются как служебные. К наиболее важным служебным символам относится символ Idle - простой, который постоянно передается между портами в течение пауз между передачей кадров данных. За счет этого станции и концентраторы сети FDDI имеют постоянную информацию о состоянии физических соединений своих портов. В случае отсутствия потока символов Idle фиксируется отказ физической связи и производится реконфигурация внутреннего пути концентратора или станции, если это возможно.

При первоначальном соединении кабелем двух узлов их порты сначала выполняют процедуру установления физического соединения. В этой процедуре используются последовательности служебных символов кода 4В/5В, с помощью которых создается некоторый язык команд физического уровня. Эти команды позволяют портам выяснить друг у друга типы портов (А, В, М или S) и решить, корректно ли данное соединение (например, соединение S-S является некорректным и т. п.). Если соединение корректно, то далее выполняется тест качества канала при передаче символов кодов 4В/5В, а затем проверяется работоспособность уровня MAC соединенных устройств путем передачи нескольких кадров MAC. Если все тесты прошли успешно, то физическое соединение считается установленным. Работу по установлению физического соединения контролирует протокол управления станцией SMT.

Физический уровень разделен на два подуровня: независимый от среды подуровень РНУ (Physical) и зависящий от среды подуровень PMD (Physical Media Dependent) (см. рис. 3.17).

Технология FDDI в настоящее время поддерживает два подуровня PMD: для волоконно-оптического кабеля и для неэкранированной витой пары категории 5. Последний стандарт появился позже оптического и носит название TP-PMD.

Оптоволоконный подуровень PMD обеспечивает необходимые средства для передачи данных от одной станции к другой по оптическому волокну. Его спецификация определяет:

- использование в качестве основной физической среды многомодового волоконно-оптического кабеля 62,5/125 мкм;
- требования к мощности оптических сигналов и максимальному затуханию между узлами сети. Для стандартного многомодового кабеля эти требования приводят к предельному расстоянию между узлами в 2 км, а для одномодового кабеля расстояние увеличивается до 10-40 км в зависимости от качества кабеля;
- требования к оптическим обходным переключателям (optical bypass switches) и оптическим приемопередатчикам;
- параметры оптических разъемов MIC (Media Interface Connector), их маркировку;
- использование для передачи света с длиной волны в 1300 нм;
- представление сигналов в оптических волокнах в соответствии с методом NRZI.

Подуровень TP-PMD определяет возможность передачи данных между станциями по витой паре в соответствии с методом физического кодирования MLT-3, использующего

два уровня потенциала: +V и -V для представления данных в кабеле. Для получения равномерного по мощности спектра сигнала данные перед физическим кодированием проходят через скремблер. Максимальное расстояние между узлами в соответствии со стандартом TP-PMD равно 100 м.

Максимальная общая длина кольца FDDI составляет 100 километров, максимальное число станций с двойным подключением в кольце - 500.

3.5.5. Сравнение FDDI с технологиями Ethernet и Token Ring

В табл. 3.7 представлены результаты сравнения технологии FDDI с технологиями Ethernet и Token Ring.

Таблица 3.7. Характеристики технологий FDDI, Ethernet, Token Ring

| 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, незэкранированная витая пара категории 5 | Толстый коаксиал, тонкий коаксиал, витая пара категории 3, оптоволокно | Экранированная и незэкранированная 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 незэкранированной витой пары |
| Тактирование и восстановление после отказов | Распределенная реализация тактирования и восстановления после отказов | Не определены | Активный монитор |

Технология FDDI разрабатывалась для применения в ответственных участках сетей - на магистральных соединениях между крупными сетями, например сетями зданий, а также для подключения к сети высокопроизводительных серверов. Поэтому главным для разработчиков было обеспечить высокую скорость передачи данных, отказоустойчивость на уровне протокола и большие расстояния между узлами сети. Все эти цели были достигнуты. В результате технология FDDI получилась качественной, но весьма дорогой. Даже появление более дешевого варианта для витой пары не намного снизило стоимость подключения одного узла к сети FDDI. Поэтому практика показала, что основной областью применения технологии FDDI стали магистрали сетей, состоящих из нескольких

зданий, а также сети масштаба крупного города, то есть класса MAN. Для подключения клиентских компьютеров и даже небольших серверов технология оказалась слишком дорогой. А поскольку оборудование FDDI выпускается уже около 10 лет, значительного снижения его стоимости ожидать не приходится.

В результате сетевые специалисты с начала 90-х годов стали искать пути создания сравнительно недорогих и в то же время высокоскоростных технологий, которые бы так же успешно работали на всех этажах корпоративной сети, как это делали в 80-е годы технологии Ethernet и Token Ring.

Выводы

- Технология FDDI первой использовала волоконно-оптический кабель в локальных сетях, а также работу на скорости 100 Мбит/с.
- Существует значительная преемственность между технологиями Token Ring и FDDI: для обеих характерны кольцевая топология и маркерный метод доступа.
- Технология FDDI является наиболее отказоустойчивой технологией локальных сетей. При однократных отказах кабельной системы или станции сеть, за счет «сворачивания» двойного кольца в одинарное, остается вполне работоспособной.
- Маркерный метод доступа FDDI работает по-разному для синхронных и асинхронных кадров (тип кадра определяет станция). Для передачи синхронного кадра станция всегда может захватить пришедший маркер на фиксированное время. Для передачи асинхронного кадра станция может захватить маркер только в том случае, когда маркер выполнил оборот по кольцу достаточно быстро, что говорит об отсутствии перегрузок кольца. Такой метод доступа, во-первых, отдает предпочтение синхронным кадрам, а во-вторых, регулирует загрузку кольца, притормаживая передачу несрочных асинхронных кадров.
- В качестве физической среды технология FDDI использует волоконно-оптические кабели и UTP категории 5 (этот вариант физического уровня называется TP-PMD).
- Максимальное количество станций двойного подключения в кольце - 500, максимальный диаметр двойного кольца - 100 км. Максимальные расстояния между соседними узлами для многомодового кабеля равны 2 км, для витой пары UTP категории 5-100 м, а для одномодового оптоволокна зависят от его качества.

3.6. Fast Ethernet и 100VG - AnyLAN как развитие технологии Ethernet

Классический 10-мегабитный Ethernet устраивал большинство пользователей на протяжении около 15 лет. Однако в начале 90-х годов начала ощущаться его недостаточная пропускная способность. Для компьютеров на процессорах Intel 80286 или 80386 с шинами ISA (8 Мбайт/с) или EISA (32 Мбайт/с) пропускная способность сегмента Ethernet составляла 1/8 или 1/32 канала «память-диск», и это хорошо согласовывалось с соотношением объемов данных, обрабатываемых локально, и данных, передаваемых по сети. Для более мощных клиентских станций с шиной PCI (133 Мбайт/с) эта доля упала до 1/133, что было явно недостаточно. Поэтому многие сегменты 10-мегабитного Ethernet стали перегруженными, реакция серверов в них значительно упала, а частота возникновения коллизий существенно возросла, еще более снижая полезную пропускную способность.

Назрела необходимость в разработке «нового» Ethernet, то есть технологии, которая была бы такой же эффективной по соотношению цена/качество при производительности 100 Мбит/с. В результате поисков и исследований специалисты разделились на два лагеря, что в конце концов привело к появлению двух новых технологий - Fast Ethernet и 100VG-AnyLAN. Они отличаются степенью преемственности с классическим Ethernet.

В 1992 году группа производителей сетевого оборудования, включая таких лидеров технологии Ethernet, как SynOptics, 3Com и ряд других, образовали некоммерческое объединение Fast Ethernet Alliance для разработки стандарта новой технологии, которая должна была в максимально возможной степени сохранить особенности технологии Ethernet.

Второй лагерь возглавили компании Hewlett-Packard и AT&T, которые предложили воспользоваться удобным случаем для устранения некоторых известных недостатков технологии Ethernet. Через некоторое время к этим компаниям присоединилась компания IBM, которая внесла свой вклад предложением обеспечить в новой технологии некоторую совместимость с сетями Token Ring.

В комитете 802 института IEEE в это же время была сформирована исследовательская группа для изучения технического потенциала новых высокоскоростных технологий. За период с конца 1992 года и по конец 1993 года группа IEEE изучила 100-мегабитные решения, предложенные различными производителями. Наряду с предложениями Fast Ethernet Alliance группа рассмотрела также и высокоскоростную технологию, предложенную компаниями Hewlett-Packard и AT&T.

В центре дискуссий была проблема сохранения случайного метода доступа CSMA/CD. Предложение Fast Ethernet Alliance сохраняло этот метод и тем самым обеспечивало преемственность и согласованность сетей 10 Мбит/с и 100 Мбит/с. Коалиция HP и AT&T, которая имела поддержку значительно меньшего числа производителей в сетевой индустрии, чем Fast Ethernet Alliance, предложила совершенно новый метод доступа, названный *Demand Priority* - приоритетный доступ по требованию. Он существенно менял картину поведения узлов в сети, поэтому не смог вписаться в технологию Ethernet и стандарт 802.3, и для его стандартизации был организован новый комитет IEEE 802.12.

Осенью 1995 года обе технологии стали стандартами IEEE. Комитет IEEE 802.3 принял спецификацию Fast Ethernet в качестве стандарта 802.3и, который не является самостоятельным стандартом, а представляет собой дополнение к существующему стандарту 802.3 в виде глав с 21 по 30. Комитет 802.12 принял технологию 100VG-AnyLAN, которая использует новый метод доступа Demand Priority и поддерживает кадры двух форматов - Ethernet и Token Ring.

3.6.1. Физический уровень технологии Fast Ethernet

Все отличия технологии Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне (рис. 3.20). Уровни MAC и LLC в Fast Ethernet остались абсолютно теми же, и их описывают прежние главы стандартов 802.3 и 802.2. Поэтому рассматривая технологию Fast Ethernet, мы будем изучать только несколько вариантов ее физического уровня.

Более сложная структура физического уровня технологии Fast Ethernet вызвана тем, что в ней используются три варианта кабельных систем:

- волоконно-оптический многомодовый кабель, используются два волокна;
- витая пара категории 5, используются две пары;
- витая пара категории 3, используются четыре пары.

Коаксиальный кабель, давший миру первую сеть Ethernet, в число разрешенных сред передачи данных новой технологии Fast Ethernet не попал. Это общая тенденция многих новых технологий, поскольку на небольших расстояниях витая пара категории 5 позволяет передавать данные с той же скоростью, что и коаксиальный кабель, но сеть получается более дешевой и удобной в эксплуатации. На больших расстояниях оптическое волокно обладает гораздо более широкой полосой пропускания, чем коаксиал, а стоимость сети получается ненамного выше, особенно если учесть высокие затраты на поиск и устранение неисправностей в крупной кабельной коаксиальной системе.

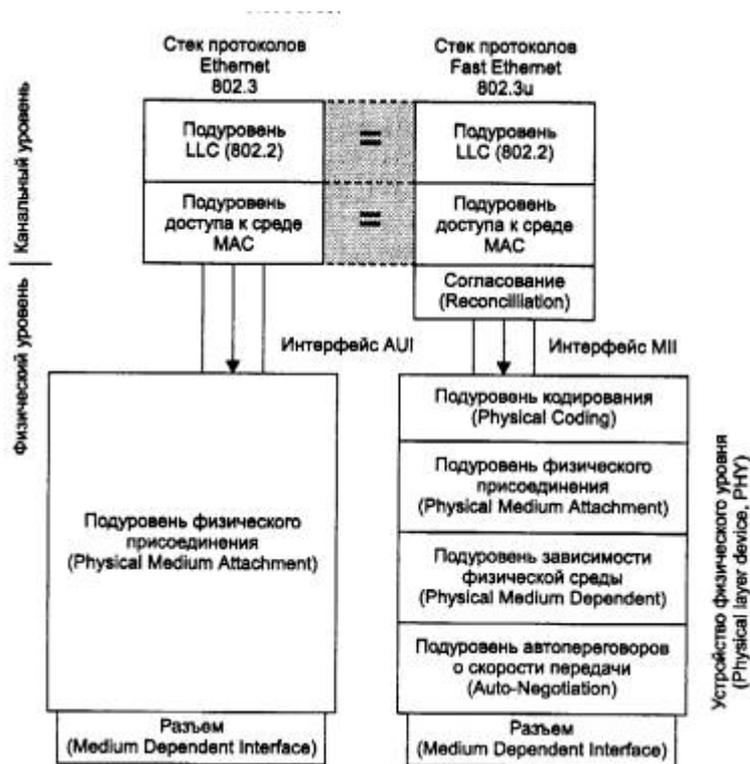


Рис. 3.20. Отличия технологии Fast Ethernet от технологии Ethernet

Отказ от коаксиального кабеля привел к тому, что сети Fast Ethernet всегда имеют иерархическую древовидную структуру, построенную на концентраторах, как и сети 10Base-T/10Base-F. Основным отличием конфигураций сетей Fast Ethernet является сокращение диаметра сети примерно до 200 м, что объясняется уменьшением времени передачи кадра минимальной длины в 10 раз за счет увеличения скорости передачи в 10 раз по сравнению с 10-мегабитным Ethernet.

Тем не менее это обстоятельство не очень препятствует построению крупных сетей на технологии Fast Ethernet. Дело в том, что середина 90-х годов отмечена не только широким распространением недорогих высокоскоростных технологий, но и бурным развитием локальных сетей на основе коммутаторов. При использовании коммутаторов протокол Fast Ethernet может работать в полнодуплексном режиме, в котором нет ограничений на общую длину сети, а остаются только ограничения на длину физических сегментов, соединяющих соседние устройства (адаптер - коммутатор или коммутатор - коммутатор). Поэтому при создании магистралей локальных сетей большой

протяженности технология Fast Ethernet также активно, применяется, но только в полнодуплексном варианте, совместно с коммутаторами.

В данном разделе рассматривается полудуплексный вариант работы технологии Fast Ethernet, который полностью соответствует определению метода доступа, описанному в стандарте 802.3. Особенности полнодуплексного режима Fast Ethernet описаны в главе 4.

По сравнению с вариантами физической реализации Ethernet (а их насчитывается шесть), в Fast Ethernet отличия каждого варианта от других глубже - меняется как количество проводников, так и методы кодирования. А так как физические варианты Fast Ethernet создавались одновременно, а не эволюционно, как для сетей Ethernet, то имелась возможность детально определить те подуровни физического уровня, которые не изменяются от варианта к варианту, и те подуровни, которые специфичны для каждого варианта физической среды.

Официальный стандарт 802.3и установил три различных спецификации для физического уровня Fast Ethernet и дал им следующие названия (рис. 3.21):

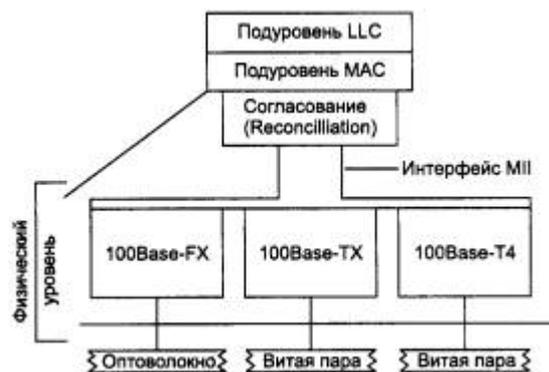


Рис. 3.21. Структура физического уровня Fast Ethernet

- 100Base-TX для двухпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 5 или экранированной витой паре STP Type 1;
- 100Base-T4 для четырехпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 3, 4 или 5;
- 100Base-FX для многомодового оптоволоконного кабеля, используются два волокна.

Для всех трех стандартов справедливы следующие утверждения и характеристики.

- Форматы кадров технологии Fast Ethernet отличаются от форматов кадров технологий 10-мегабитного Ethernet.
- Межкадровый интервал (IPG) равен 0,96 мкс, а битовый интервал равен 10 нс. Все временные параметры алгоритма доступа (интервал отсрочки, время передачи кадра минимальной длины и т. п.), измеренные в битовых интервалах, остались прежними, поэтому изменения в разделы стандарта, касающиеся уровня MAC, не вносились.
- Признаком свободного состояния среды является передача по ней символа Idle соответствующего избыточного кода (а не отсутствие сигналов, как в стандартах Ethernet 10 Мбит/с). Физический уровень включает три элемента:
 - уровень согласования (reconciliation sublayer);

- независимый от среды интерфейс (Media Independent Interface, MiI);
- устройство физического уровня (Physical layer device, PLY).

Уровень согласования нужен для того, чтобы уровень MAC, рассчитанный на интерфейс AUI, смог работать с физическим уровнем через интерфейс МП.

Устройство физического уровня (PLY) состоит, в свою очередь, из нескольких подуровней (см. рис. 3.20):

- подуровня логического кодирования данных, преобразующего поступающие от уровня MAC байты в символы кода 4В/5В или 8В/6Т (оба кода используются в технологии Fast Ethernet);
- подуровней физического присоединения и подуровня зависимости от физической среды (PMD), которые обеспечивают формирование сигналов в соответствии с методом физического кодирования, например NRZI или MLT-3;
- подуровня автопереговоров, который позволяет двум взаимодействующим портам автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы, например, полдуплексный или полнодуплексный (этот подуровень является факультативным).

Интерфейс МП поддерживает независимый от физической среды способ обмена данными между подуровнем MAC и подуровнем PLY. Этот интерфейс аналогичен по назначению интерфейсу AUI классического Ethernet за исключением того, что интерфейс AUI располагался между подуровнем физического кодирования сигнала (для любых вариантов кабеля использовался одинаковый метод физического кодирования - манчестерский код) и подуровнем физического присоединения к среде, а интерфейс МП располагается между подуровнем MAC и подуровнями кодирования сигнала, которых в стандарте Fast Ethernet три - FX, TX и T4.

Разъем МП в отличие от разъема AUI имеет 40 контактов, максимальная длина кабеля МП составляет один метр. Сигналы, передаваемые по интерфейсу МП, имеют амплитуду 5 В.

Физический уровень 100Base-FX - многомодовое оптоволокно, два волокна

Эта спецификация определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому оптоволокну в полдуплексном и полнодуплексном режимах на основе хорошо проверенной схемы кодирования FDDI. Как и в стандарте FDDI, каждый узел соединяется с сетью двумя оптическими волокнами, идущими от приемника (R_x) и от передатчика (T_x).

Между спецификациями 100Base-FX и 100Base-TX есть много общего, поэтому общие для двух спецификаций свойства будут даваться под обобщенным названием 100Base-FX/TX.

В то время как Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с использует манчестерское кодирование для представления данных при передаче по кабелю, в стандарте Fast Ethernet определен другой метод кодирования - 4В/5В. Этот метод уже показал свою эффективность в стандарте FDDI и без изменений перенесен в спецификацию 100Base-FX/TX. При этом методе каждые 4 бита данных подуровня MAC (называемых символами) представляются 5 битами. Избыточный бит позволяет применить потенциальные коды при представлении каждого из пяти бит в виде электрических или оптических импульсов. Существование запрещенных комбинаций символов позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с 100Base-FX/TX.

Для отделения кадра Ethernet от символов Idle используется комбинация символов Start Delimiter (пара символов J (11000) и K (10001) кода 4В/5В, а после завершения кадра перед первым символом Idle вставляется символ Т (рис. 3.22).

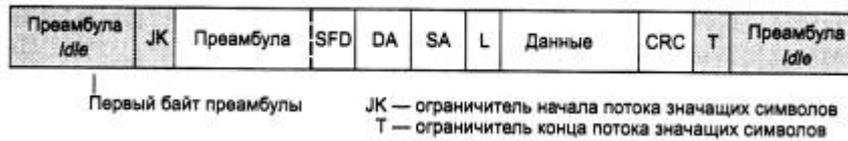


Рис. 3.22. Непрерывный поток данных спецификаций 100Base-FX/TX

После преобразования 4-битовых порций кодов MAC в 5-битовые порции физического уровня их необходимо представить в виде оптических или электрических сигналов в кабеле, соединяющем узлы сети. Спецификации 100Base-FX и 100Base-TX используют для этого различные методы физического кодирования - NRZI и MLT-3 соответственно (как и в технологии FDDI при работе через оптоволокно и витую пару).

Физический уровень 100Base-TX - витая пара DTP Cat 5 или STP Type 1, две пары

В качестве среды передачи данных спецификация 100Base-TX использует кабель UTP категории 5 или кабель STP Type 1. Максимальная длина кабеля в обоих случаях - 100 м.

Основные отличия от спецификации 100Base-FX - использование метода MLT-3 для передачи сигналов 5-битовых порций кода 4В/5В по витой паре, а также наличие функции автопереговоров (Auto-negotiation) для выбора режима работы порта. Схема автопереговоров позволяет двум соединенным физически устройствам, которые поддерживают несколько стандартов физического уровня, отличающихся битовой скоростью и количеством витых пар, выбрать наиболее выгодный режим работы. Обычно процедура автопереговоров происходит при подсоединении сетевого адаптера, который может работать на скоростях 10 и 100 Мбит/с, к концентратору или коммутатору.

Описанная ниже схема Auto-negotiation сегодня является стандартом технологии 100Base-T. До этого производители применяли различные собственные схемы автоматического определения скорости работы взаимодействующих портов, которые не были совместимы. Принятую в качестве стандарта схему Auto-negotiation предложила первоначально компания National Semiconductor под названием NWay.

Всего в настоящее время определено 5 различных режимов работы, которые могут поддерживать устройства 100Base-TX или 100Base-T4 на витых парах;

- 10Base-T - 2 пары категории 3;
- 10Base-T full-duplex - 2 пары категории 3;
- 100Base-TX - 2 пары категории 5 (или Type 1ASTP);
- 100Base-T4 - 4 пары категории 3;
- 100Base-TX full-duplex - 2 пары категории 5 (или Type 1A STP).

Режим 10Base-T имеет самый низкий приоритет при переговорном процессе, а полнодуплексный режим 100Base-T4 - самый высокий. Переговорный процесс происходит при включении питания устройства, а также может быть инициирован в любой момент модулем управления устройства.

Устройство, начавшее процесс auto-negotiation, посылает своему партнеру пачку специальных импульсов *Fast Link Pulse burst (FLP)*, в котором содержится 8-битное слово, кодирующее предлагаемый режим взаимодействия, начиная с самого приоритетного, поддерживаемого данным узлом.

Если узел-партнер поддерживает функцию auto-negotiation и также может поддерживать предложенный режим, он отвечает пачкой импульсов FLP, в которой подтверждает данный режим, и на этом переговоры заканчиваются. Если же узел-партнер может поддерживать менее приоритетный режим, то он указывает его в ответе, и этот режим выбирается в качестве рабочего. Таким образом, всегда выбирается наиболее приоритетный общий режим узлов.

Узел, который поддерживает только технологию 10Base-T, каждые 16 мс посылает манчестерские импульсы для проверки целостности линии, связывающей его с соседним узлом. Такой узел не понимает запрос FLP, который делает ему узел с функцией Auto-negotiation, и продолжает посылать свои импульсы. Узел, получивший в ответ на запрос FLP только импульсы проверки целостности линии, понимает, что его партнер может работать только по стандарту 10Base-T, и устанавливает этот режим работы и для себя.

Физический уровень 100Base-T4 - витая пара UTP Cat 3, четыре пары

Спецификация 100Base-T4 была разработана для того, чтобы можно было использовать для высокоскоростного Ethernet имеющуюся проводку на витой паре категории 3. Эта спецификация позволяет повысить общую пропускную способность за счет одновременной передачи потоков бит по всем 4 парам кабеля.

Спецификация 100Base-T4 появилась позже других спецификаций физического уровня Fast Ethernet. Разработчики этой технологии в первую очередь хотели создать физические спецификации, наиболее близкие к спецификациям 10Base-T и 10Base-F, которые работали на двух линиях передачи данных: двух парах или двух волокнах. Для реализации работы по двум витым парам пришлось перейти на более качественный кабель категории 5.

В то же время разработчики конкурирующей технологии 100VG-AnyLAN изначально сделали ставку на работу по витой паре категории 3; самое главное преимущество состояло не столько в стоимости, а в том, что она была уже проложена в подавляющем числе зданий. Поэтому после выпуска спецификаций 100Base-TX и 100Base-FX разработчики технологии Fast Ethernet реализовали свой вариант физического уровня для витой пары категории 3.

Вместо кодирования 4В/5В в этом методе используется кодирование 8В/6Т, которое обладает более узким спектром сигнала и при скорости 33 Мбит/с укладывается в полосу 16 МГц витой пары категории 3 (при кодировании 4В/5В спектр сигнала в эту полосу не укладывается). Каждые 8 бит информации уровня MAC кодируются 6-ю троичными цифрами (ternary symbols), то есть цифрами, имеющими три состояния. Каждая троичная цифра имеет длительность 40 нс. Группа из 6-ти троичных цифр затем передается на одну из трех передающих витых пар, независимо и последовательно.

Четвертая пара всегда используется для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. Скорость передачи данных по каждой из трех передающих пар равна 33,3 Мбит/с, поэтому общая скорость протокола 100Base-T4 составляет 100 Мбит/с.

В то же время из-за принятого способа кодирования скорость изменения сигнала на каждой паре равна всего 25 Мбод, что и позволяет использовать витую пару категории 3.

На рис. 3.23 показано соединение порта MDI сетевого адаптера 100Base-T4 с портом MDI-X концентратора (приставка X говорит о том, что у этого разъема присоединения приемника и передатчика меняются парами кабеля по сравнению с разъемом сетевого адаптера, что позволяет проще соединять пары проводов в кабеле - без перекрещивания). Пара 1-2 всегда требуется для передачи данных от порта MDI к порту MDI-X, пара 3-6 - для приема данных портом MDI от порта MDI-X, а пары 4-5 и 7-8 являются двунаправленными и используются как для приема, так и для передачи, в зависимости от потребности.

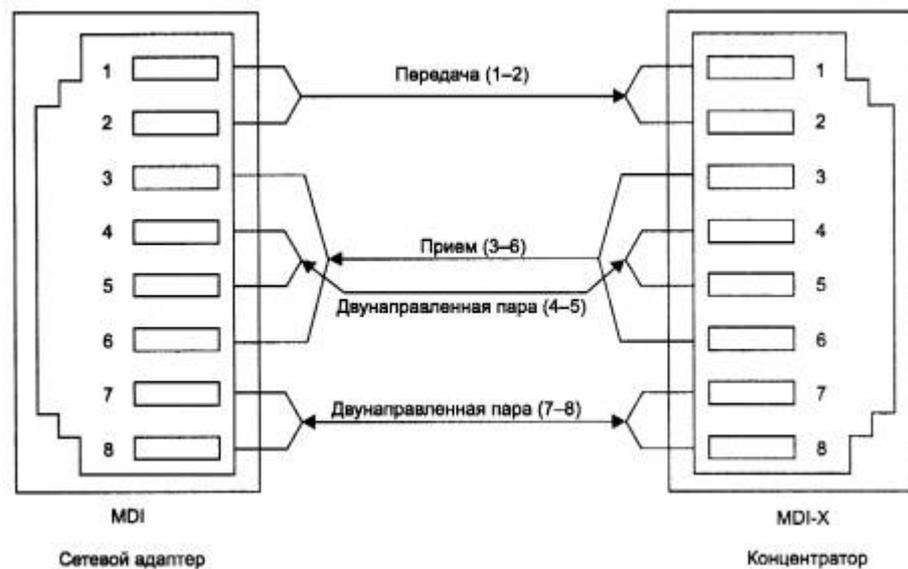


Рис. 3.23. Соединение узлов по спецификации 100Base-T4

3.6.2. Правила построения сегментов Fast Ethernet при использовании повторителей

Технология Fast Ethernet, как и все некоаксиальные варианты Ethernet, рассчитана на использование концентраторов-повторителей для образования связей в сети. Правила корректного построения сегментов сетей Fast Ethernet включают:

- ограничения на максимальные длины сегментов, соединяющих DTE с DTE;
- ограничения на максимальные длины сегментов, соединяющих DTE с портом повторителя;
- ограничения на максимальный диаметр сети;
- ограничения на максимальное число повторителей и максимальную длину сегмента, соединяющего повторители.

Ограничения длин сегментов DTE-DTE

В качестве DTE (Data Terminal Equipment) может выступать любой источник кадров данных для сети: сетевой адаптер, порт моста, порт маршрутизатора, модуль управления сетью и другие подобные устройства. Отличительной особенностью DTE является то, что он вырабатывает новый кадр для разделяемого сегмента (мост или коммутатор, хотя и

передают через выходной порт кадр, который выработал в свое время сетевой адаптер, но для сегмента сети, к которому подключен выходной порт, этот кадр является новым). Порт повторителя не является DTE, так как он побитно повторяет уже появившийся в сегменте кадр.

В типичной конфигурации сети Fast Ethernet несколько DTE подключается к портам повторителя, образуя сеть звездообразной топологии. Соединения DTE-DTE в разделяемых сегментах не встречаются (если исключить экзотическую конфигурацию, когда сетевые адаптеры двух компьютеров соединены прямо друг с другом кабелем), а вот для мостов/коммутаторов и маршрутизаторов такие соединения являются нормой - когда сетевой адаптер прямо соединен с портом одного из этих устройств, либо эти устройства соединяются друг с другом.

Спецификация IEEE 802.3u определяет следующие максимальные длины сегментов DTE-DTE, приведенные в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Максимальные длины сегментов DTE-DTE

| Стандарт | Тип кабеля | Максимальная длина сегмента |
|------------|---------------------------------------|--|
| 100Base-TX | Категория 5 UTP | 100 м |
| 100Base-FX | Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм | 412 м (полудуплекс) 2 км (полный дуплекс) |
| 100Base-T4 | Категория 3, 4 или 5 UTP | 100 м |

Ограничения сетей Fast Ethernet, построенных на повторителях

Повторители Fast Ethernet делятся на два класса. Повторители класса I поддерживают все типы логического кодирования данных: как 4В/5В, так и 8В/6Т. Повторители класса II поддерживают только какой-либо один тип логического кодирования - либо 4В/5В, либо 8В/6Т. То есть повторители класса I позволяют выполнять трансляцию логических кодов с битовой скоростью 100 Мбит/с, а повторителям класса II эта операция недоступна.

Поэтому повторители класса I могут иметь порты всех трех типов физического уровня: 100Base-TX, 100Base-FX и 100Base-T4. Повторители класса II имеют либо все порты 100Base-T4, либо порты 100Base-TX и 100Base-FX, так как последние используют один логический код 4В/5В.

В одном домене коллизий допускается наличие только одного повторителя класса I. Это связано с тем, что такой повторитель вносит большую задержку при распространении сигналов из-за необходимости трансляции различных систем сигнализации - 70 bt.

Повторители класса II вносят меньшую задержку при передаче сигналов: 46 bt для портов TX/FX и 33,5 bt для портов T4. Поэтому максимальное число повторителей класса II в домене коллизий - 2, причем они должны быть соединены между собой кабелем не длиннее 5 метров.

Небольшое количество повторителей Fast Ethernet не является серьезным препятствием при построении больших сетей, так как применение коммутаторов и маршрутизаторов делит сеть на несколько доменов коллизий, каждый из которых будет строиться на одном или двух повторителях. Общая длина сети не будет иметь в этом случае ограничений.

В табл. 3.9 приведены правила построения сети на основе повторителей класса I.

Таблица 3.9. Параметры сетей на основе повторителей класса I

| Тип кабелей | Максимальный диаметр сети, м | Максимальная длина сегмента, м |
|--|------------------------------|--------------------------------|
| Только витая пара (TX) | 200 | 100 |
| Только оптоволокно (FX) | 272 | 136 |
| Несколько сегментов на витой паре и один на оптоволокне | 260 | 100 (TX) 160 (FX) |
| Несколько сегментов на витой паре и несколько сегментов на оптоволокне | 272 | 100 (TX) 136 (FX) |

Эти ограничения проиллюстрированы типовыми конфигурациями сетей, показанными на рис. 3.24.

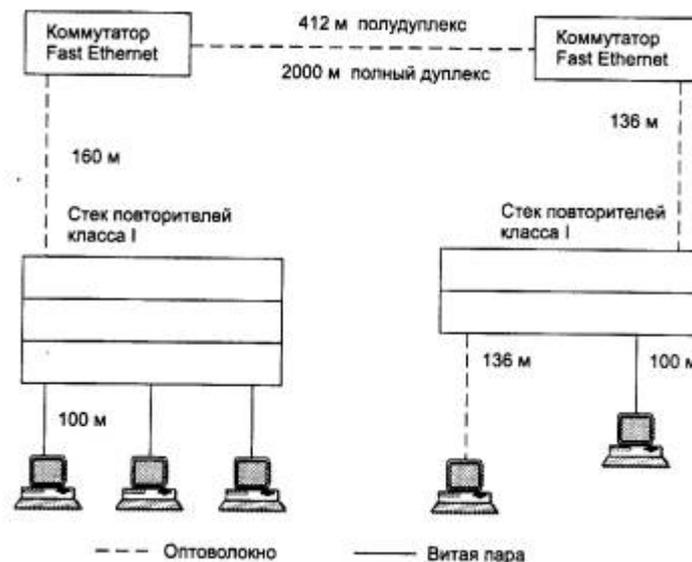


Рис. 3.24. Примеры построения сети Fast Ethernet с помощью повторителей класса I

Таким образом, правило 4-х хабов превратилось для технологии Fast Ethernet в правило одного или двух хабов, в зависимости от класса хаба.

При определении корректности конфигурации сети можно не руководствоваться правилами одного или двух хабов, а рассчитывать время двойного оборота сети, как это было показано выше для сети Ethernet 10 Мбит/с.

Как и для технологии Ethernet 10 Мбит/с, комитет 802.3 дает исходные данные для расчета времени двойного оборота сигнала. Однако при этом сама форма представления этих данных и методика расчета несколько изменились. Комитет предоставляет данные об удвоенных задержках, вносимых каждым элементом сети, не разделяя сегменты сети на левый, правый и промежуточный. Кроме того, задержки, вносимые сетевыми адаптерами, учитывают преамбулы кадров, поэтому время двойного оборота нужно сравнивать с величиной 512 битовых интервала (bt), то есть со временем передачи кадра минимальной длины без преамбулы.

Для повторителей класса I время двойного оборота можно рассчитать следующим образом.

Задержки, вносимые прохождением сигналов по кабелю, рассчитываются на основании данных табл. 3.10, в которой учитывается удвоенное прохождение сигнала по кабелю.

Таблица 3.10. Задержки, вносимые кабелем

| Тип кабеля | Удвоенная задержка в bt на 1 м | Удвоенная задержка на кабеле максимальной длины |
|-------------|--------------------------------|---|
| UTP Cat 3 | 1,14 bt | 114 bt (100 м) |
| UTP Cat 4 | 1,14 bt | 114 bt (100 м) |
| UTP Cat 5 | 1,112 bt | 111,2 bt (100 м) |
| STP | 1,112 bt | 111,2 bt (100 м) |
| Оптоволокно | 1,0 bt | 412 bt (412 м) |

Задержки, которые вносят два взаимодействующих через повторитель сетевых адаптера (или порта коммутатора), берутся из табл. 3.11.

Таблица 3.11. Задержки, вносимые сетевыми адаптерами

| Тип сетевых адаптеров | Максимальная задержка при двойном обороте |
|------------------------------|---|
| Два адаптера TX/FX | 100 bt |
| Два адаптера T4 | 138 bt |
| Один адаптер TX/FX и один T4 | 127 bt |

Учитывая, что удвоенная задержка, вносимая повторителем класса I, равна 140 bt, можно рассчитать время двойного оборота для произвольной конфигурации сети, естественно, учитывая максимально возможные длины непрерывных сегментов кабелей, приведенные в табл. 3.10. Если получившееся значение меньше 512, значит, по критерию распознавания коллизий сеть является корректной. Комитет 802.3 рекомендует оставлять запас в 4 bt для устойчиво работающей сети, но разрешает выбирать эту величину из диапазона от 0 до 5 bt.

Рассчитаем для примера рекомендуемую в таблице конфигурацию сети, состоящую из одного повторителя и двух оптоволоконных сегментов длиной по 136 метров.

Каждый сегмент вносит задержку по 136 bt, пара сетевых адаптеров FX дает задержку в 100 bt, а сам повторитель вносит задержку в 140 bt. Сумма задержек равна 512 bt, что говорит о том, что сеть корректна, но запас принят равным 0.

3.6.3. Особенности технологии 100VG-AnyLAN

Технология 100VG-AnyLAN отличается от классического Ethernet в значительно большей степени, чем Fast Ethernet. Главные отличия перечислены ниже.

- Используется другой метод доступа Demand Priority, который обеспечивает более справедливое распределение пропускной способности сети по сравнению с

методом CSMA/CD, Кроме того, этот метод поддерживает приоритетный доступ для синхронных приложений.

- Кадры передаются не всем станциям сети, а только станции назначения.
- В сети есть выделенный арбитр доступа - концентратор, и это заметно отличает данную технологию от других, в которых применяется распределенный между станциями сети алгоритм доступа.
- Поддерживаются кадры двух технологий - Ethernet и Token Ring (именно это обстоятельство дало добавку AnyLAN в названии технологии).
- Данные передаются одновременно по 4 парам кабеля UTP категории 3. По каждой паре данные передаются со скоростью 25 Мбит/с, что в сумме дает 100 Мбит/с. В отличие от Fast Ethernet в сетях 100VG-AnyLAN нет коллизий, поэтому удалось использовать для передачи все четыре пары стандартного кабеля категории 3. Для кодирования данных применяется код 5В/6В, который обеспечивает спектр сигнала в диапазоне до 16 МГц (полоса пропускания UTP категории 3) при скорости передачи данных 25 Мбит/с. Метод доступа Demand Priority основан на передаче концентратору функций арбитра, решающего проблему доступа к разделяемой среде. Сеть 100VG-AnyLAN состоит из центрального концентратора, называемого также корневым, и соединенных с ним конечных узлов и других концентраторов (рис. 3.25).

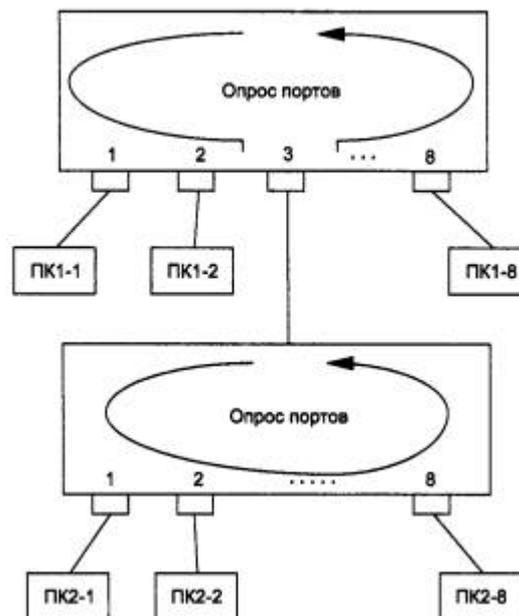


Рис. 3.25. Сеть 100VG-AnyLAN

Допускаются три уровня каскадирования. Каждый концентратор и сетевой адаптер 100VG-AnyLAN должен быть настроен либо на работу с кадрами Ethernet, либо с кадрами Token Ring, причем одновременно циркуляция обоих типов кадров не допускается.

Концентратор циклически выполняет опрос портов. Станция, желающая передать пакет, посылает специальный низкочастотный сигнал концентратору, запрашивая передачу кадра и указывая его приоритет. В сети 100VG-AnyLAN используются два уровня приоритетов - низкий и высокий. Низкий уровень приоритета соответствует обычным данным (файловая служба, служба печати и т. п.), а высокий приоритет соответствует данным, чувствительным к временным задержкам (например, мультимедиа). Приоритеты

запросов имеют статическую и динамическую составляющие, то есть станция с низким уровнем приоритета, долго не имеющая доступа к сети, получает высокий приоритет.

Если сеть свободна, то концентратор разрешает передачу пакета. После анализа адреса получателя в принятом пакете концентратор автоматически отправляет пакет станции назначения. Если сеть занята, концентратор ставит полученный запрос в очередь, которая обрабатывается в соответствии с порядком поступления запросов и с учетом приоритетов. Если к порту подключен другой концентратор, то опрос приостанавливается до завершения опроса концентратором нижнего уровня. Станции, подключенные к концентраторам различного уровня иерархии, не имеют преимуществ по доступу к разделяемой среде, так как решение о предоставлении доступа принимается после проведения опроса всеми концентраторами опроса всех своих портов.

Остается неясным вопрос - каким образом концентратор узнает, к какому порту подключена станция назначения? Во всех других технологиях кадр просто передавался всем станциям сети, а станция назначения, распознав свой адрес, копировала кадр в буфер. Для решения этой задачи концентратор узнает адрес MAC станции в момент физического присоединения ее к сети кабелем. Если в других технологиях процедура физического соединения выясняет связность кабеля (link test в технологии 10Base-T), тип порта (технология FDDI), скорость работы порта (процедура auto-negotiation в Fast Ethernet), то в технологии 100VG-AnyLAN концентратор при установлении физического соединения выясняет адрес MAC станции. И запоминает его в таблице адресов MAC, аналогичной таблице моста/коммутатора. Отличие концентратора 100VG-AnyLAN от моста/коммутатора в том, что у него нет внутреннего буфера для хранения кадров. Поэтому он принимает от станций сети только один кадр, отправляет его на порт назначения и, пока этот кадр не будет полностью принят станцией назначения, новые кадры концентратор не принимает. Так что эффект разделяемой среды сохраняется. Улучшается только безопасность сети - кадры не попадают на чужие порты, и их труднее перехватить.

Технология 100VG-AnyLAN поддерживает несколько спецификаций физического уровня. Первоначальный вариант был рассчитан на четыре неэкранированные витые пары категорий 3,4,5. Позже появились варианты физического уровня, рассчитанные на две неэкранированные витые пары категории 5, две экранированные витые пары типа 1 или же два оптических многомодовых оптоволоконка.

Важная особенность технологии 100VG-AnyLAN - сохранение форматов кадров Ethernet и Token Ring. Сторонники 100VG-AnyLAN утверждают, что этот подход облегчит межсетевое взаимодействие через мосты и маршрутизаторы, а также обеспечит совместимость с существующими средствами сетевого управления, в частности с анализаторами протоколов.

Несмотря на много хороших технических решений, технология 100VG-AnyLAN не нашла большого количества сторонников и значительно уступает по популярности технологии Fast Ethernet. Возможно, это произошло из-за того, что технические возможности поддержки разных типов трафика у технологии ATM существенно шире, чем у 100VG-AnyLAN. Поэтому при необходимости тонкого обеспечения качества обслуживания применяют (или собираются применять) технологию ATM. А для сетей, в которых нет необходимости поддерживать качество обслуживания на уровне разделяемых сегментов, более привычной оказалась технология Fast Ethernet. Тем более что для поддержки очень требовательных к скорости передачи данных приложений имеется технология Gigabit

Ethernet, которая, сохраняя преемственность с Ethernet и Fast Ethernet, обеспечивает скорость передачи данных 1000 Мбит/с.

Выводы

- Потребности в высокоскоростной и в то же время недорогой технологии для подключения к сети мощных рабочих станций привели в начале 90-х годов к созданию инициативной группы, которая занялась поисками нового Ethernet - такой же простой и эффективной технологии, но работающей на скорости 100 Мбит/с.
- Специалисты разбились на два лагеря, что в конце концов привело к появлению двух стандартов, принятых осенью 1995 года: комитет 802.3 утвердил стандарт Fast Ethernet, почти полностью повторяющий технологию Ethernet 10 Мбит/с, а специально созданный комитет 802.12 утвердил стандарт технологии 100VG-AnyLAN, которая сохраняла формат кадра Ethernet, но существенно изменяла метод доступа.
- Технология Fast Ethernet сохранила в неприкосновенности метод доступа CSMA/CD, оставив в нем тот же алгоритм и те же временные параметры в битовых интервалах (сам битовый интервал уменьшился в 10 раз). Все отличия Fast Ethernet от Ethernet проявляются на физическом уровне.
- В стандарте Fast Ethernet определены три спецификации физического уровня: 100Base-TX для 2-х пар UTP категории 5 или 2-х пар STP Type 1 (метод кодирования 4В/5В), 100Base-FX для многомодового волоконно-оптического кабеля с двумя оптическими волокнами (метод кодирования 4В/5В) и 100Base-T4, работающую на 4-х парах UTP категории 3, но использующую одновременно только три пары для передачи, а оставшуюся - для обнаружения коллизии (метод кодирования 8В/6Т).
- Стандарты 100Base-TX/FX могут работать в полнодуплексном режиме.
- Максимальный диаметр сети Fast Ethernet равен приблизительно 200 м, а более точные значения зависят от спецификации физической среды. В домене коллизий Fast Ethernet допускается не более одного повторителя класса I (позволяющего транслировать коды 4В/5В в коды 8В/6Т и обратно) и не более двух повторителей класса II (не позволяющих выполнять трансляцию кодов).
- Технология Fast Ethernet при работе на витой паре позволяет за счет процедуры автопереговоров двум портам выбирать наиболее эффективный режим работы - скорость 10 Мбит/с или 100 Мбит/с, а также полдуплексный или полнодуплексный режим.
- В технологии 100VG-AnyLAN арбитром, решающим вопрос о предоставлении станциям доступа к разделяемой среде, является концентратор, поддерживающий метод Demand Priority - приоритетные требования. Метод Demand Priority оперирует с двумя уровнями приоритетов, выставляемыми станциями, причем приоритет станции, долго не получающей обслуживания, повышается динамически.
- Концентраторы VG могут объединяться в иерархию, причем порядок доступа к среде не зависит от того, к концентратору какого уровня подключена станция, а зависит только от приоритета кадра и времени подачи заявки на обслуживание.
- Технология 100VG-AnyLAN поддерживает кабель UTP категории 3, причем для обеспечения скорости 100 Мбит/с передает данные одновременно по 4-м парам. Имеется также физический стандарт для кабеля UTP категории 5, кабеля STP Type 1 и волоконно-оптического кабеля.

3.7. Высокоскоростная технология Gigabit Ethernet

3.7.1. Общая характеристика стандарта

Достаточно быстро после появления на рынке продуктов Fast Ethernet сетевые интеграторы и администраторы почувствовали определенные ограничения при построении корпоративных сетей. Во многих случаях серверы, подключенные по 100-мегабитному каналу, перегружали магистрали сетей, работающие также на скорости 100 Мбит/с - магистрали FDDI и Fast Ethernet. Ощущалась потребность в следующем уровне иерархии скоростей. В 1995 году более высокий уровень скорости могли предоставить только коммутаторы ATM, а при отсутствии в то время удобных средств миграции этой технологии в локальные сети (хотя спецификация LAN Emulation - LANE была принята в начале 1995 года, практическая ее реализация была впереди) внедрять их в локальную сеть почти никто не решался. Кроме того, технология ATM отличалась очень высоким уровнем стоимости.

Поэтому логичным выглядел следующий шаг, сделанный IEEE, - через 5 месяцев после окончательного принятия стандарта Fast Ethernet в июне 1995 года исследовательской группе по изучению высокоскоростных технологий IEEE было предписано заняться рассмотрением возможности выработки стандарта Ethernet с еще более высокой битовой скоростью.

Летом 1996 года было объявлено о создании группы 802.3z для разработки протокола, максимально подобного Ethernet, но с битовой скоростью 1000 Мбит/с. Как и в случае Fast Ethernet, сообщение было воспринято сторонниками Ethernet с большим энтузиазмом.

Основной причиной энтузиазма была перспектива такого же плавного перевода магистралей сетей на Gigabit Ethernet, подобно тому, как были переведены на Fast Ethernet перегруженные сегменты Ethernet, расположенные на нижних уровнях иерархии сети. К тому же опыт передачи данных на гигабитных скоростях уже имелся, как в территориальных сетях (технология SDH), так и в локальных - технология Fibre Channel, которая используется в основном для подключения высокоскоростной периферии к большим компьютерам и передает данные по волоконно-оптическому кабелю со скоростью, близкой к гигабитной, посредством избыточного кода 8B/10B.

В образованный для согласования усилий в этой области Gigabit Ethernet Alliance с самого начала вошли такие флагманы отрасли, как Bay Networks, Cisco Systems и 3Com. За год своего существования количество участников Gigabit Ethernet Alliance существенно выросло и насчитывает сейчас более 100. В качестве первого варианта физического уровня был принят уровень технологии Fiber Channel, с ее кодом 8B/10B (как и в случае Fast Ethernet, когда для ускорения работ был принят отработанный физический уровень FDDI).

Первая версия стандарта была рассмотрена в январе 1997 года, а окончательно стандарт 802.3z был принят 29 июня 1998 года на заседании комитета IEEE 802.3. Работы по реализации Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 были переданы специальному комитету 802.3ab, который уже рассмотрел несколько вариантов проекта этого стандарта, причем с июля 1998 года проект приобрел достаточно стабильный характер. Окончательное принятие стандарта 802.3ab ожидается в сентябре 1999 года.

Не дожидаясь принятия стандарта, некоторые компании выпустили первое оборудование Gigabit Ethernet на оптоволоконном кабеле уже к лету 1997 года.

Основная идея разработчиков стандарта Gigabit Ethernet состоит в максимальном сохранении идей классической технологии Ethernet при достижении битовой скорости в 1000 Мбит/с.

Так как при разработке новой технологии естественно ожидать некоторых технических новинок, идущих в общем русле развития сетевых технологий, то важно отметить, что Gigabit Ethernet, так же как и его менее скоростные собратья, на уровне протокола *не будет* поддерживать:

- качество обслуживания;
- избыточные связи;
- тестирование работоспособности узлов и оборудования (в последнем случае - за исключением тестирования связи порт - порт, как это делается для Ethernet 10Base-T и 10Base-F и Fast Ethernet).

Все три названных свойства считаются весьма перспективными и полезными в современных сетях, а особенно в сетях ближайшего будущего. Почему же авторы Gigabit Ethernet отказываются от них?

По поводу качества обслуживания коротко можно ответить так: «сила есть - ума не надо». Если магистраль сети будет работать со скоростью в 20 000 раз превышающей среднюю скорость сетевой активности клиентского компьютера и в 100 раз превышающей среднюю сетевую активность сервера с сетевым адаптером 100 Мбит/с, то о задержках пакетах на магистрали во многих случаях можно не заботиться вообще. При небольшом коэффициенте загрузки магистрали 1000 Мбит/с очереди в коммутаторах Gigabit Ethernet будут небольшими, а время буферизации и коммутации на такой скорости составляет единицы и даже доли микросекунд.

Ну а если все же магистраль загрузится на достаточную величину, то приоритет чувствительному к задержкам или требовательному к средней скорости трафику можно предоставить с помощью техники приоритетов в коммутаторах - соответствующие стандарты для коммутаторов уже приняты (они будут рассматриваться в следующей главе). Зато можно будет пользоваться весьма простой (почти как Ethernet) технологией, принципы работы которой известны практически всем сетевым специалистам.

Главная идея разработчиков технологии Gigabit Ethernet состоит в том, что существует и будет существовать весьма много сетей, в которых высокая скорость магистрали и возможность назначения пакетам приоритетов в коммутаторах будут вполне достаточны для обеспечения качества транспортного обслуживания всех клиентов сети. И только в тех редких случаях, когда и магистраль достаточно загружена, и требования к качеству обслуживания очень жесткие, нужно применять технологию АТМ, которая действительно за счет высокой технической сложности дает гарантии качества обслуживания для всех основных видов трафика.

Избыточные связи и тестирование оборудования не будут поддерживаться технологией Gigabit Ethernet из-за того, что с этими задачами хорошо справляются протоколы более высоких уровней, например Spanning Tree, протоколы маршрутизации и т. п. Поэтому разработчики технологии решили, что нижний уровень просто должен быстро передавать

данные, а более сложные и более редко встречающиеся задачи (например, приоритезация трафика) должны передаваться верхним уровням.

Что же общего имеется в технологии Gigabit Ethernet по сравнению с технологиями Ethernet и Fast Ethernet?

- Сохраняются все форматы кадров Ethernet.
- По-прежнему будут существовать полудуплексная версия протокола, поддерживающая метод доступа CSMA/CD, и полнодуплексная версия, работающая с коммутаторами. По поводу сохранения полудуплексной версии протокола сомнения были еще у разработчиков Fast Ethernet, так как сложно заставить работать алгоритм CSMA/CD на высоких скоростях. Однако метод доступа остался неизменным в технологии Fast Ethernet, и его решили оставить в новой технологии Gigabit Ethernet. Сохранение недорогого решения для разделяемых сред позволит применить Gigabit Ethernet в небольших рабочих группах, имеющих быстрые серверы и рабочие станции.
- Поддерживаются все основные виды кабелей, используемых в Ethernet и Fast Ethernet: волоконно-оптический, витая пара категории 5, коаксиал.

Тем не менее разработчикам технологии Gigabit Ethernet для сохранения приведенных выше свойств пришлось внести изменения не только в физический уровень, как это было в случае Fast Ethernet, но и в уровень MAC.

Перед разработчиками стандарта Gigabit Ethernet стояло несколько трудно разрешимых проблем. Одной из них была задача обеспечения приемлемого диаметра сети для полудуплексного, режима работы. В связи с ограничениями, накладываемыми методом CSMA/CD на длину кабеля, версия Gigabit Ethernet для разделяемой среды допускала бы длину сегмента всего в 25 метров при сохранении размера кадров и всех параметров метода CSMA/CD неизменными. Так как существует большое количество применений, когда нужно повесить диаметр сети хотя бы до 200 метров, необходимо было каким-то образом решить эту задачу за счет минимальных изменений в технологии Fast Ethernet.

Другой сложнейшей задачей было достижение битовой скорости 1000 Мбит/с на основных типах кабелей. Даже для оптоволоконного достижения такой скорости представляет некоторые проблемы, так как технология Fibre Channel, физический уровень которой был взят за основу для оптоволоконной версии Gigabit Ethernet, обеспечивает скорость передачи данных всего в 800 Мбит/с (битовая скорость на линии равна в этом случае примерно 1000 Мбит/с, но при методе кодирования 8В/10В полезная битовая скорость на 25 % меньше скорости импульсов на линии).

И наконец, самая сложная задача - поддержка кабеля на витой паре. Такая задача на первый взгляд кажется неразрешимой - ведь даже для 100-мегабитных протоколов пришлось использовать достаточно сложные методы кодирования, чтобы уложить спектр сигнала в полосу пропускания кабеля. Однако успехи специалистов по кодированию, проявившиеся в последнее время в новых стандартах модемов, показали, что задача имеет шансы на решение. Чтобы не тормозить принятие основной версии стандарта Gigabit Ethernet, использующего оптоволокно и коаксиал, был создан отдельный комитет 802.3ab, который занимается разработкой стандарта Gigabit Ethernet на витой паре категории 5.

Все эти задачи были успешно решены.

3.7.2. Средства обеспечения диаметра сети в 200 м на разделяемой среде

Для расширения максимального диаметра сети Gigabit Ethernet в полудуплексном режиме до 200 м разработчики технологии предприняли достаточно естественные меры, основывающиеся на известном соотношения времени передачи кадра минимальной длины и временем двойного оборота.

Минимальный размер кадра был увеличен (без учета преамбулы) с 64 до 512 байт или до 4096 bt. Соответственно, время двойного оборота теперь также можно было увеличить до 4095 bt, что делает допустимым диаметр сети около 200 м при использовании одного повторителя. При двойной задержке сигнала в 10 bt/m оптоволоконные кабели длиной 100 м вносят вклад во время двойного оборота по 1000 bt, и если повторитель и сетевые адаптеры будут вносить такие же задержки, как в технологии Fast Ethernet (данные для которых приводились в предыдущем разделе), то задержка повторителя в 1000 bt и пары сетевых адаптеров в 1000 bt дадут в сумме время двойного оборота 4000 bt, что удовлетворяет условию распознавания коллизий. Для увеличения длины кадра до требуемой в новой технологии величины сетевой адаптер должен дополнить поле данных до длины 448 байт так *называемый расширением (extention)*, представляющим собой поле, заполненное запрещенными символами кода 8В/10В, которые невозможно принять за коды данных.

Для сокращения накладных расходов при использовании слишком длинных кадров для передачи коротких квитанций разработчики стандарта разрешили конечным узлам передавать несколько кадров подряд, без передачи среды другим станциям. Такой режим получил название Burst Mode - монополюсный пакетный режим. Станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной не более 65 536 бит или 8192 байт. Если станции нужно передать несколько небольших кадров, то она может не дополнять их до размера в 512 байт, а передавать подряд до исчерпания предела в 8192 байт (в этот предел входят все байты кадра, в том числе преамбула, заголовок, данные и контрольная сумма). Предел 8192 байт называется BurstLength. Если станция начала передавать кадр и предел BurstLength был достигнут в середине кадра, то кадр разрешается передать до конца.

Увеличение «совмещенного» кадра до 8192 байт несколько задерживает доступ к разделяемой среде других станций, но при скорости 1000 Мбит/с эта задержка не столь существенна.

3.7.3. Спецификации физической среды стандарта 802.3z

В стандарте 802.3z определены следующие типы физической среды:

- одномодовый волоконно-оптический кабель;
- многомодовый волоконно-оптический кабель 62,5/125;
- многомодовый волоконно-оптический кабель 50/125;
- двойной коаксиал с волновым сопротивлением 75 Ом.

Многомодовый кабель

Для передачи данных по традиционному для компьютерных сетей многомодовому волоконно-оптическому кабелю стандарт определяет применение излучателей, работающих на двух длинах волн: 1300 и 850 нм. Применение светодиодов с длиной волны 850 нм объясняется тем, что они намного дешевле, чем светодиоды, работающие на

волне 1300 нм, хотя при этом максимальная длина кабеля уменьшается, так как затухание многомодового оптоволокна на волне 850 м более чем в два раза выше, чем на волне 1300 нм. Однако возможность удешевления чрезвычайно важна для такой в целом дорогой технологии, как Gigabit Ethernet.

Для многомодового оптоволокна стандарт 802.3z определил спецификации 1000Base-SX и 1000Base-LX.

В первом случае используется длина волны 850 нм (S означает Short Wavelength, короткая волна), а во втором - 1300 нм (L - от Long Wavelength, длинная волна).

Для спецификации 1000Base-SX предельная длина оптоволоконного сегмента для кабеля 62,5/125 оставляет 220 м, а для кабеля 50/125 - 500 м. Очевидно, что эти максимальные значения могут достигаться только для полнодуплексной передачи данных, так как время двойного оборота сигнала на двух отрезках 220 м равно 4400 bt, что превосходит предел 4095 bt даже без учета повторителя и сетевых адаптеров. Для полудуплексной передачи максимальные значения сегментов оптоволоконного кабеля всегда должны быть меньше 100 м. Приведенные расстояния в 220 и 500 м рассчитаны для худшего по стандарту случая полосы пропускания многомодового кабеля, находящегося в пределах от 160 до 500 МГц/км. Реальные кабели обычно обладают значительно лучшими характеристиками, находящимися между 600 и 1000 МГц/км. В этом случае можно увеличить длину кабеля до примерно 800 м.

Одномодовый кабель

Для спецификации 1000Base-LX в качестве источника излучения всегда применяется полупроводниковый лазер с длиной волны 1300 нм.

Основная область применения стандарта 1000Base-LX - это одномодовое оптоволокно. Максимальная длина кабеля для одномодового волокна равна 5000 м.

Спецификация 1000Base-LX может работать и на многомодовом кабеле. В этом случае предельное расстояние получается небольшим - 550 м. Это связано с особенностями распространения когерентного света в широком канале многомодового кабеля. Для присоединения лазерного трансивера к многомодовому кабелю необходимо использовать специальный адаптер.

Твинаксиальный кабель

В качестве среды передачи данных используется высококачественный твинаксиальный кабель (Twिnax) с волновым сопротивлением 150 Ом (2x75 Ом). Данные посылаются одновременно по паре проводников, каждый из которых окружен экранирующей оплеткой. При этом получается режим полудуплексной передачи. Для обеспечения полнодуплексной передачи необходимы еще две пары коаксиальных проводников. Начал выпускаться специальный кабель, который содержит четыре коаксиальных проводника - так называемый Quad-кабель. Он внешне напоминает кабель категории 5 и имеет близкий к нему внешний диаметр и гибкость. Максимальная длина твинаксиального сегмента составляет всего 25 метров, поэтому это решение подходит для оборудования, расположенного в одной комнате.

3.7.4. Gigabit Ethernet на витой паре категории 5

Как известно, каждая пара кабеля категории 5 имеет гарантированную полосу пропускания до 100 МГц. Для передачи по такому кабелю данных со скоростью 1000 Мбит/с было решено организовать параллельную передачу одновременно по всем 4 парам кабеля (так же, как и в технологии 100VG-AnyLAN).

Это сразу уменьшило скорость передачи данных по каждой паре до 250 Мбит/с. Однако и для такой скорости необходимо было придумать метод кодирования, который имел бы спектр не выше 100 МГц. Кроме того, одновременное использование четырех пар на первый взгляд лишает сеть возможность распознавать коллизии.

На оба эти вопроса комитет 802.3аb нашел ответы.

Для кодирования данных был применен код PAM5, использующий 5 уровней потенциала: -2, -1, 0, +1, +2. Поэтому за один такт по одной паре передается 2,322 бит информации. Следовательно, тактовую частоту вместо 250 МГц можно снизить до 125 МГц. При этом если использовать не все коды, а передавать 8 бит за такт (по 4 парам), то выдерживается требуемая скорость передачи в 1000 Мбит/с и еще остается запас неиспользуемых кодов, так как код PAM5 содержит $5^4 = 625$ комбинаций, а если передавать за один такт по всем четырем парам 8 бит данных, то для этого требуется всего $2^8 = 256$ комбинаций. Оставшиеся комбинации приемник может использовать для контроля принимаемой информации и выделения правильных комбинаций на фоне шума. Код PAM5 на тактовой частоте 125 МГц укладывается в полосу 100 МГц кабеля категории 5.

Для распознавания коллизий и организации полнодуплексного режима разработчики спецификации 802.3аb применили технику, используемую при организации дуплексного режима на одной паре проводов в современных модемах и аппаратуре передачи данных абонентских окончатий ISDN. Вместо передачи по разным парам проводов или разносения сигналов двух одновременно работающих навстречу передатчиков по диапазону частот оба передатчика работают навстречу друг другу по каждой из 4-х пар в одном и том же диапазоне частот, так как используют один и тот же потенциальный код PAM5 (рис. 3.26). Схема гибридной развязки *H* позволяет приемнику и передатчику одного и того же узла использовать одновременно витую пару и для приема и для передачи (так же, как и в трансиверах коаксиального Ethernet).

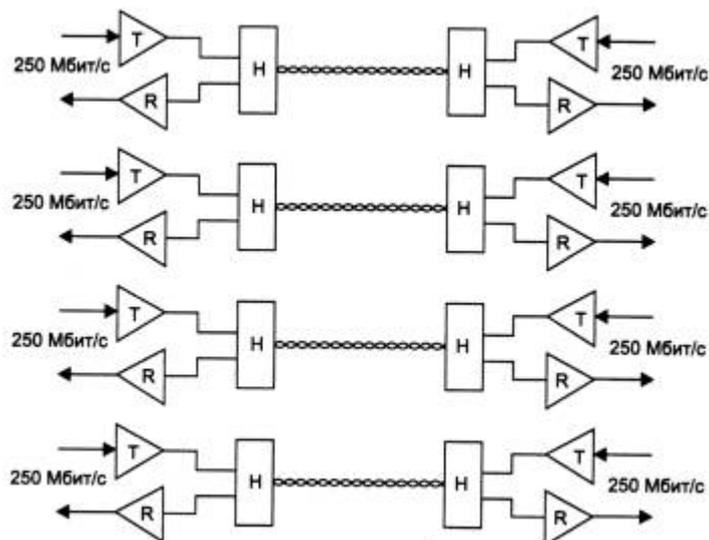


Рис. 3.26. Двухнаправленная передача по четырем парам DTR категории 5

Для отделения принимаемого сигнала от своего собственного приемник вычитает из результирующего сигнала известный ему свой сигнал. Естественно, что это не простая операция и для ее выполнения используются специальные цифровые сигнальные процессоры - DSP (Digital Signal Processor). Такая техника уже прошла проверку практикой, но в модемах и сетях ISDN она применялась совсем на других скоростях.

При полудуплексном режиме работы получение встречного потока данных считается коллизией, а для полнодуплексного режима работы - нормальной ситуацией.

Ввиду того что работы по стандартизации спецификации Gigabit Ethernet на неэкранированной витой паре категории 5 подходят к концу, многие производители и потребители надеются на положительный исход этой работы, так как в этом случае для поддержки технологии Gigabit Ethernet не нужно будет заменять уже установленную проводку категории 5 на оптоволокно или проводку категории 7.

Выводы

- Технология Gigabit Ethernet добавляет новую, 1000 Мбит/с, ступень в иерархии скоростей семейства Ethernet. Эта ступень позволяет эффективно строить крупные локальные сети, в которых мощные серверы и магистрали нижних уровней сети работают на скорости 100 Мбит/с, а магистраль Gigabit Ethernet объединяет их, обеспечивая достаточно большой запас пропускной способности.
- Разработчики технологии Gigabit Ethernet сохранили большую степень преемственности с технологиями Ethernet и Fast Ethernet. Gigabit Ethernet использует те же форматы кадров, что и предыдущие версии Ethernet, работает в полнодуплексном и полудуплексном режимах, поддерживая на разделяемой среде тот же метод доступа CSMA/CD с минимальными изменениями.
- Для обеспечения приемлемого максимального диаметра сети в 200 м в полудуплексном режиме разработчики технологии пошли на увеличение минимального размера кадра с 64 до 512 байт. Разрешается также передавать несколько кадров подряд, не освобождая среду, на интервале 8096 байт, тогда кадры не обязательно дополнять до 512 байт. Остальные параметры метода доступа и максимального размера кадра остались неизменными.
- Летом 1998 года был принят стандарт 802.3z, который определяет использование в качестве физической среды трех типов кабеля: многомодового оптоволоконного (расстояние до 500 м), одномодового оптоволоконного (расстояние до 5000 м) и двойного коаксиального (twinaх), по которому данные передаются одновременно по двум медным экранированным проводникам на расстояние до 25 м.
- Для разработки варианта Gigabit Ethernet на UTP категории 5 была создана специальная группа 802.3ab, которая уже разработала проект стандарта для работы по 4-м парам UTP категории 5. Принятие этого стандарта ожидается в ближайшее время.

Вопросы и упражнения

1. Поясните разницу между расширяемостью и масштабируемостью на примере технологии Ethernet.
2. Что такое коллизия:
 - А. ситуация, когда станция, желающая передать пакет, обнаруживает, что в данный момент другая станция уже заняла передающую среду;

- В. ситуация, когда две рабочие станции одновременно передают данные в разделяемую передающую среду.
3. 3. Что такое домен коллизий? Являются ли доменами коллизий фрагменты сети, показанные на рис. 3.27?

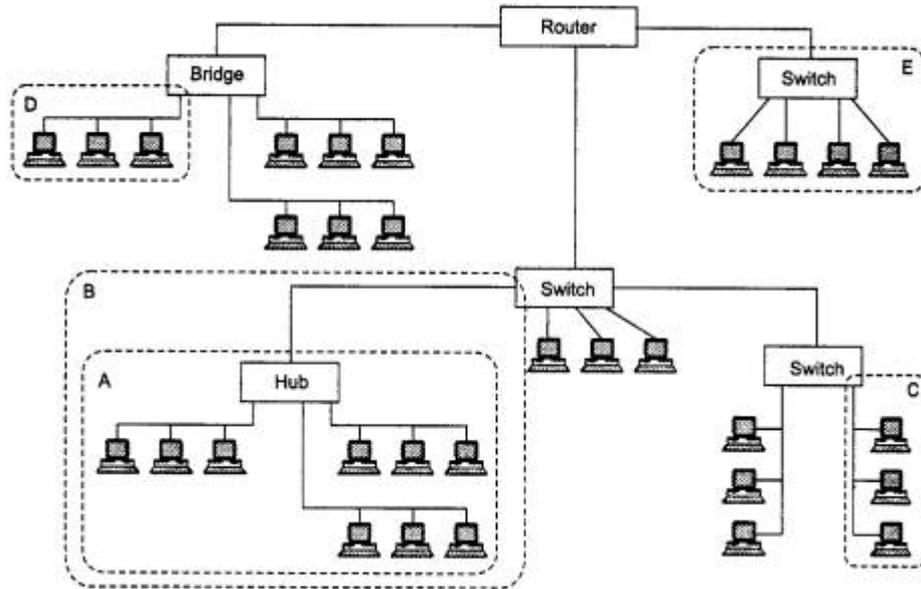


Рис. 3.27. Домены коллизий

4. В чем состоят функции преамбулы и начального ограничителя кадра в стандарте Ethernet?
5. Какие сетевые средства осуществляют jabber control?
6. Чему равны значения следующих характеристик стандарта 10Base-5:
- номинальная пропускная способность (бит/с);
 - эффективная пропускная способность (бит/с);
 - пропускная способность (кадр/с);
 - внутривыпакетная скорость передачи (бит/с);
 - межбитовый интервал (с).
7. Чем объясняется, что минимальный размер кадра в стандарте 10Base-5 был выбран равным 64 байт?
8. Поясните смысл каждого поля кадра Ethernet.
9. Как известно, имеются 4 стандарта на формат кадров Ethernet. Выберите из ниже приведенного списка названия для каждого из этих стандартов. Учтите, что некоторые стандарты имеют несколько названий:
- Novell 802.2;
 - Ethernet II;
 - 802.3/802.2
 - Novell 802.3;
 - Raw 802.3;
 - Ethernet DIX;
 - 802.3/LLC;
 - Ethernet SNAP.
10. Что может произойти в сети, в которой передаются кадры Ethernet разных форматов?
11. При каких типах ошибок в сети Ethernet концентратор обычно отключает порт?

12. Как величина MTU влияет на работу сети? Какие проблемы несут слишком длинные кадры? В чем состоит неэффективность коротких кадров?
13. Как коэффициент использования влияет на производительность сети Ethernet?
14. Если один вариант технологии Ethernet имеет более высокую скорость передачи данных, чем другой (например, Fast Ethernet и Ethernet), то какая из них поддерживает большую максимальную длину сети?
15. Из каких соображений выбрана максимальная длина физического сегмента в стандартах Ethernet?
16. Проверьте корректность конфигурации сети Fast Ethernet, приведенной на рис. 3.28.

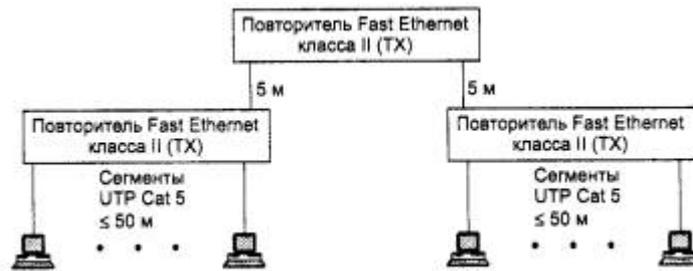


Рис. 3.28. Пример конфигурации сети

17. Укажите максимально допустимые значения MTU для:
 - Ethernet;
 - Token Ring;
 - FDDI;
 - ATM.
18. Опишите алгоритм доступа к среде технологии Token Ring.
19. Из каких соображений выбирается максимальное время оборота маркера по кольцу?
20. Если бы вам пришлось выбирать, какую из технологий - Ethernet или Token Ring - использовать в сети вашего предприятия, какое решение вы бы приняли? Какие соображения привели бы в качестве обоснования этого решения?
21. В чем состоит сходство и различие технологий FDDI и Token Ring?
22. Какие элементы сети FDDI обеспечивают отказоустойчивость?
23. Технология FDDI является отказоустойчивой. Означает ли это, что при любом однократном обрыве кабеля сеть FDDI будет продолжать нормально работать?
24. К каким последствиям может привести двукратный обрыв кабеля в кольце FDDI?
25. Что общего в работе концентратора 100VG-AnyLAN и обычного моста?
26. Какие из ниже перечисленных пар сетевых технологий совместимы по форматам кадров и, следовательно, позволяют образовывать составную сеть без необходимости транслирования кадров:
 - . FDDI - Ethernet;
 - A. Token Ring - Fast Ethernet;
 - B. Token Ring - 100VG-AnyLAN;
 - C. Ethernet - Fast Ethernet;
 - D. Ethernet - 100VG-AnyLAN;
 - E. Token Ring - FDDI.
27. Из-за увеличения пропускной способности минимальный размер кадра в Gigabit Ethernet пришлось увеличить до 512 байт. В тех случаях, когда передаваемые данные не могут полностью заполнить поле данных кадра, оно дополняется до

необходимой длины неким «заполнителем», который не несет полезной информации. Что предпринято в Gigabit Ethernet для сокращения накладных расходов, возникающих при передаче коротких данных?

28. С чем связано ограничение, известное как «правило 4-х хабов»?