

Основы сетей LAN

За счет взаимодействия стандартов физического и канального уровней компьютеры могут передавать друг другу биты через различные сетевые среды передачи данных. Физический (первый) уровень модели OSI определяет, как физически передаются биты через среду передачи данных. Канальный (второй) уровень определяет правила, используемые при физической передаче данных, например, правила адресации, которые указывают на отправителя и получателя информации, когда устройство может начинать передачу и когда необходимо отложить пересылку.

В этой главе описаны основы локальных сетей. Под термином *локальная сеть* обычно подразумевается набор стандартов первого и второго уровней модели OSI, используемых для взаимодействия устройств и обеспечения работы сети в географически ограниченном пространстве. В главе рассмотрены основные принципы работы локальных сетей, а именно локальных сетей Ethernet. Более детальная информация о локальных сетях приведена в части II книги (главы 7–11).

Контрольные вопросы: знаете ли вы уже темы главы

Этот раздел предназначен для того, чтобы читатель мог предварительно оценить свои знания и решить, нужно ли ему читать главу целиком. Если ответы на десять из одиннадцати вопросов даны правильно, можно сразу же перейти к последнему разделу “Подготовка к экзамену”. Основные темы этой главы и предварительных контрольных вопросов перечислены в табл. 3.1. Отвечая на контрольные вопросы и используя таблицу, читатель сможет достаточно точно определить свои знания в той или иной области. Ответы на вопросы приведены в приложении А.

Таблица 3.1. Темы контрольных вопросов

Основная тема	Номера вопросов
Обзор современных локальных сетей Ethernet	1
Краткая история технологии Ethernet	2
Витая пара в сетях Ethernet	3, 4
Использование коммутаторов вместо концентраторов для повышения производительности сети	5–7
Средства канального уровня Ethernet	8–11

1. Какое из перечисленных ниже утверждений наиболее верно описывает современные локальные сети Ethernet?
 - а) Каждое устройство подключается последовательно с использованием коаксиального кабеля.
 - б) Каждое устройство подключается последовательно с использованием неэкранированной витой пары.
 - в) Каждое устройство подключается к центральному концентратору локальной сети с использованием неэкранированной витой пары.
 - г) Каждое устройство подключается к центральному коммутатору локальной сети с использованием неэкранированной витой пары.
2. Какое из перечисленных ниже утверждений верно относительно кабельной системы локальной сети Ethernet на основе стандарта 10BASE2?
 - а) Каждое устройство подключается последовательно с использованием коаксиального кабеля.
 - б) Каждое устройство подключается последовательно с использованием неэкранированной витой пары.
 - в) Каждое устройство подключается к центральному концентратору локальной сети с использованием неэкранированной витой пары.
 - г) Каждое устройство подключается к центральному коммутатору локальной сети с использованием неэкранированной витой пары.
3. Какое из перечисленных ниже утверждений о перекрещенном (crossover) кабеле Ethernet верно?
 - а) Контакты 1 и 2 меняются местами на втором конце кабеля.
 - б) Контакты 1 и 2 на одном конце кабеля соединяются с контактами 3 и 6 на втором конце кабеля.
 - в) Контакты 1 и 2 на одном конце кабеля соединяются с контактами 3 и 4 на втором конце кабеля.
 - г) Длина кабеля может достигать 1000 метров в каналах между зданиями.
 - д) Ни один из указанных выше ответов не верен.
4. Каждый вариант ответа описывает два различных устройства в сети, соединяемых кабелем 100BASE-TX. Если эти устройства подключаются с помощью кабеля UTP, какие пары устройств требуют использования прямого кабеля? (Выберите три ответа.)
 - а) Персональный компьютер и маршрутизатор.
 - б) Персональный компьютер и коммутатор.
 - в) Коммутатор и концентратор.
 - г) Маршрутизатор и концентратор.
 - д) Беспроводная точка доступа (порт Ethernet) и коммутатор.

5. Какое из перечисленных ниже утверждений верно об алгоритме CSMA/CD?
- а) Алгоритм предупреждает коллизии.
 - б) Коллизия может произойти, но алгоритм определяет процесс уведомления компьютеров о возникновении коллизии и восстановления после нее.
 - в) Алгоритм рассчитан только на два устройства в одном сегменте Ethernet.
 - г) Все перечисленные выше ответы ошибочны.
6. Какое из указанных ниже утверждений описывает домен коллизий?
- а) Все устройства, подключенные к концентратору Ethernet.
 - б) Все устройства, подключенные к коммутатору Ethernet.
 - в) Два компьютера, один из которых подключен к порту Ethernet маршрутизатора с использованием перекрещенного кабеля, а второй подключен к другому порту Ethernet того же самого маршрутизатора с помощью перекрещенного кабеля.
 - г) Все перечисленные выше ответы ошибочны.
7. Что из перечисленного ниже является недостатком концентратора, который отсутствует в коммутаторе? (Выберите несколько ответов.)
- а) Концентратор представляет собой единую электрическую шину, к которой подключаются все устройства, в результате полоса пропускания сети разделяется между устройствами в ней.
 - б) Концентраторы обеспечивают меньшую длину отдельных кабелей по сравнению с коммутатором.
 - в) При использовании концентраторов, если два устройства одновременно передают данные, возникает коллизия.
 - г) В концентраторе может быть не более восьми портов.
8. Какой из приведенных ниже терминов описывает адрес Ethernet, используемый для взаимодействия с более чем одним устройством в сети? (Выберите несколько ответов.)
- а) Прошитый адрес (burned-in).
 - б) Одноадресатный (unicast).
 - в) Широковещательный (broadcast).
 - г) Многоадресатный (multicast).
9. Что из перечисленного ниже является одной из функций протоколов канального уровня модели OSI?
- а) Фреймирование.
 - б) Доставка битов от одного устройства к другому.
 - в) Коррекция ошибок.
 - г) Стандартизация размера и формы пакетов Ethernet.

10. Что из перечисленного ниже верно о формате адреса Ethernet? (Выберите три ответа.)
- а) Каждый производитель помещает уникальный код в первые 2 байта адреса.
 - б) Каждый производитель помещает уникальный код в первых 3 байта адреса.
 - в) Каждый производитель помещает уникальный код в первой половине адреса.
 - г) Часть адреса, содержащая код производителя платы, называется MAC.
 - д) Часть адреса, содержащая код производителя платы, называется OUI.
 - е) Часть адреса, содержащая код производителя платы, не имеет определенного названия.
11. Что из перечисленного ниже верно о поле контрольной суммы во фрейме Ethernet?
- а) Это поле используется для восстановления информации при ошибках.
 - б) Длина этого поля равна 2 байтам.
 - в) Это поле относится к концевому фрейму, а не заголовку.
 - г) Это поле используется для шифрования данных.
 - е) Все перечисленные выше ответы ошибочны.

Основные темы

Типичная корпоративная сеть состоит из множества площадок, соединенных между собой. Устройства конечных пользователей подключаются к локальной сети, позволяющей им обмениваться информацией. Кроме того, на каждой площадке сети находится маршрутизатор, используемый для подключения локальной сети к распределенной, которая обеспечивает передачу информации между разными площадками. Таким образом, с использованием маршрутизаторов и распределенной сети возможна передача информации между компьютерами, которые находятся в географически удаленных точках и зачастую далеко друг от друга.

В этой главе описано, как создать современную локальную сеть, а в главе 4 — как создаются распределенные сети. На текущий момент технология Ethernet является безоговорочным лидером среди стандартов локальных сетей, а другие, использовавшиеся в прошлом технологии построения локальных сетей, такие как среда Token Ring, интерфейс FDDI, уже практически не используются. Технология Ethernet победила в “соревновании стандартов”, и когда сегодня говорят о локальной сети, то никто и не задумывается о типе локальной сети, по сути подразумевая сеть Ethernet.

Обзор современных локальных сетей Ethernet

Ethernet — наиболее популярное во всем мире семейство стандартов для локальных сетей, которое охватывает физический и канальный уровень модели OSI. Стандарты Ethernet отличаются поддерживаемой скоростью; широко распространены на сегодняшний день скорости 10, 100 и 1000 Мбит/с (т.е. 1 Гбит/с). Различные варианты технологии также отличаются типом используемой среды передачи данных, например, в наиболее популярных стандартах Ethernet используется недорогой тип кабеля, а именно *неэкранированная витая пара* (Unshielded Twisted Pair — UTP), в то время как в других — более дорогой оптоволоконный кабель. Использование оптоволоконного кабеля оправдано в том случае, если нужно подключить устройства, которые находятся на большом расстоянии друг от друга, или в случае повышенных требований к безопасности сети. Для обеспечения различных потребностей при создании локальных сетей и были разработаны различные стандарты, работающие на разных скоростях, разным типе среды передачи данных (чем больше расстояние, тем дороже технология) и т.п.

Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) опубликовал множество стандартов Ethernet, после того, как в начале 1980-х он возглавил процесс стандартизации локальных сетей. Большинство стандартов по-разному реализовано на физическом уровне, работает с различными скоростями и типами кабелей. В стандартах IEEE канальный уровень разделен на два подуровня:

- IEEE 802.3 — подуровень контроля доступа к среде передачи данных (подуровень MAC);
- IEEE 802.2 — подуровень управления логическим каналом (подуровень LLC).

Фактически MAC-адрес получил свое название от названия нижнего подуровня канального уровня Ethernet.

Каждый новый стандарт физического уровня, публикуемый IEEE, содержит достаточно много отличий от предшествующих, но при этом использует тот же заголовок формата 802.3 и подуровень LLC в качестве верхнего уровня.

В табл. 3.2 перечислены наиболее часто используемые стандарты Ethernet IEEE для физического уровня.



Таблица 3.2. Наиболее распространенные разновидности технологии Ethernet

Общезвестное название	Скорость (Мбит/с)	Альтернативное название	Стандарт IEEE	Тип кабеля, максимальная длина (м)
Ethernet	10	10BASE-T	IEEE 802.3	Медный, 100
Fast Ethernet	100	100BASE-TX	IEEE 802.3u	Медный, 100
Gigabit Ethernet	1000	1000BASE-LX, 1000BASE-SX	IEEE 802.3z	Оптический, 550 для SX, 5000 для LX
Gigabit Ethernet	1000	1000BASE-T	IEEE 802.3ab	Медный, 100

Эта таблица достаточно простая, но все же некоторые термины требуют дополнительных пояснений. Во-первых, термин *Ethernet* часто используют в значении “любой тип технологии Ethernet”. (Чтобы избежать путаницы, в данной книге используется термин 10BASE-T для обозначения стандарта Ethernet со скоростью 10 Мбит/с в тех случаях, когда тип имеет значение.) Во-вторых, альтернативное название для каждого типа среды Ethernet содержит значение скорости (10, 100, 1000 Мбит/с), а буква “Т” обозначает использование неэкранированной витой пары в качестве среды передачи данных (буква “Т” имеется в словосочетании *twisted pair* — витая пара).

Для создания современной локальной сети с использованием неэкранированной витой пары необходимы следующие компоненты:

- компьютеры с установленными адаптерами (т.е. платами или сетевыми картами) Ethernet;
- концентратор или коммутатор Ethernet;
- кабель неэкранированной витой пары, соединяющий каждый компьютер с коммутатором или концентратором.

На рис. 3.1 показана схема типичной локальной сети. Здесь не показаны сетевые адаптеры, поскольку они считаются частью компьютера или принтера, прямые линии соответствуют кабелям неэкранированной витой пары, а пиктограмма в центре — коммутатор Ethernet.

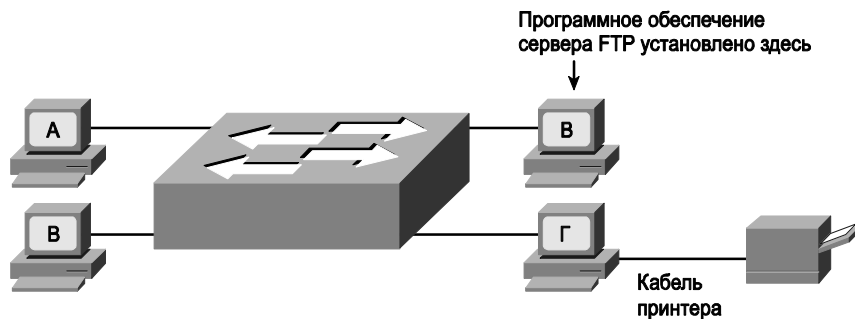


Рис. 3.1. Типичная небольшая современная локальная сеть

ВНИМАНИЕ!

Схема на рис. 3.1 подходит для любой из распространенных на сегодняшний день сетей Ethernet. Один и тот же базовый дизайн и топология используются вне зависимости от скорости передачи данных и типа кабелей.

Большинство пользователей могут создать локальную сеть, подобную той, которая показана на рисунке, при этом не имея даже базовых знаний о том, как работают локальные сети. Большинство персональных компьютеров поставляется с установленными в них адаптерами Ethernet. Коммутаторы не нужно настраивать для передачи информации между компьютерами. Все, что необходимо сделать, — подключить питание коммутатора и подсоединить к нему компьютеры с помощью кабелей неэкранированной витой пары; после этого компьютеры смогут пересылать фреймы друг другу.

Даже без подключения к распределенной сети такие небольшие локальные сети являются неплохим решением с ограниченным масштабированием для нескольких типов задач, перечисленных ниже.

- **Совместный доступ к файлам.** На каждом компьютере можно настроить совместный доступ ко всей файловой системе или ее части, в результате с других компьютеров возможно чтение или запись файлов в такую систему. Данная функция обычно заложена в операционную систему.
- **Совместное использование принтера.** Компьютеры могут совместно использовать один принтер. Например, компьютеры А, Б, В (см. рис. 3.1) могут печатать документы на принтере, подключенном к компьютеру Г. Эта функция тоже обычно реализуется средствами операционной системы.
- **Передача файлов.** На компьютер можно установить сервер передачи файлов, что позволит соседним компьютерам принимать и пересылать файлы на этот компьютер. Например, на компьютере В можно установить программное обеспечение сервера FTP (File Transfer Protocol — протокол передачи файлов), что позволит другим компьютерам с установленным клиентским программным обеспечением для протокола FTP подключаться к компьютеру В и передавать файлы.
- **Игры.** На компьютеры можно установить игровое программное обеспечение, и несколько игроков смогут играть в одну и ту же игру. Игровое ПО будет обмениваться информацией непосредственно по сети Ethernet.

Целью первой части главы было помочь читателю понять, что за простой локальной сетью (например, как на рис. 3.1) скрывается множество теоретических и практических знаний. Чтобы досконально разобраться в современных локальных сетях, будет полезно изучить историю технологии Ethernet, которая описывается в следующей части главы. После краткого экскурса в историю рассматриваются физические аспекты (первый уровень модели OSI) простой локальной сети на основе неэкранированной витой пары. Ниже в главе сравниваются прежние (и более медленные) *концентраторы* (hub) Ethernet и более новые устройства (и более быстрые) — *коммутаторы* (switch) Ethernet. В заключительной части главы описаны функции канального уровня (второй уровень модели OSI) в среде Ethernet.

Краткая история технологии Ethernet

Как и множество других ранних сетевых протоколов, протокол Ethernet начинал свое существование внутри корпораций, которые решали свои специфические задачи. Компании Херох требовался эффективный способ, который позволил бы интегрировать в работу своих офисов новое изобретение — персональный компьютер. Этот момент и считается рождением протокола Ethernet. (На странице <http://inventors.about.com/library/weekly/aa111598.htm> размещен интересный рассказ о возникновении технологии Ethernet.) Чуть позже компания Херох в сотрудничестве с компаниями Intel и DEC (Digital Equipment Corp.) продолжила разработку технологии, и сеть Ethernet стали называть технологией DIX Ethernet (DIX — первые буквы в названиях компаний DEC, Intel, Херох).

Три компании в начале 1980-х охотно передали разработку стандартов Ethernet Институту инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Институт создал два комитета, которые работали (и работают по сей день) непосредственно над разработкой спецификаций Ethernet: комитет IEEE 802.3 и комитет IEEE 802.2. Комитет IEEE 802.3 работал над физическим уровнем стандарта и частью канального уровня, которая получила название *подуровень контроля доступа к среде передачи данных* (Media Access Control — MAC). Остальные функции канального уровня были переданы комитету IEEE 802.2, и эта часть канального уровня получила название *подуровень управления логическим каналом* (Logical Link Control — LLC). При этом стандарт 802.2 используется не только для технологии Ethernet, но и для других стандартов построения локальных сетей, таких как Token Ring.

Первые стандарты Ethernet: 10BASE2 и 10BASE5

Понять принципы работы технологии Ethernet проще на примере двух ранних спецификаций Ethernet: 10BASE5 и 10BASE2. Эти две спецификации определяют принципы работы физического и канального уровней первых сетей Ethernet. (Стандарты 10BASE2 и 10BASE5 отличаются характеристиками кабельной системы, но для простоты пока их можно считать идентичными.) Для построения сети с использованием одного из двух указанных стандартов используется коаксиальный кабель. Единый кабель, который образует шину, подводится к каждому устройству в сети, без использования концентраторов, коммутаторов или коммутационных панелей. Шина Ethernet совместно используется всеми устройствами. Когда устройству в сети Ethernet необходимо переслать несколько битов другому устройству, оно генерирует в коаксиальном кабеле сигнал, который доставляется ко всем устройствам, подключенным к шине.

На рис. 3.2 показан основной принцип работы сети Ethernet стандарта 10BASE2, в которой используется общая электрическая шина, созданная с использованием коаксиального кабеля и плат Ethernet компьютеров.

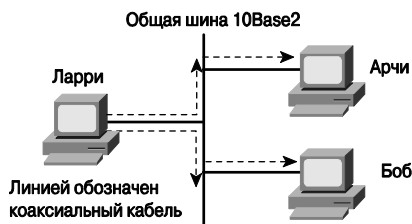


Рис. 3.2. Небольшая сеть Ethernet 10BASE2

Прямыми линиями на рис. 3.2 показаны коаксиальные кабели сети, пунктирными линиями показан маршрут передачи фрейма от компьютера Ларри. Сетевой адаптер компьютера Ларри генерирует электрический сигнал, а компьютеры Боба и Арчи принимают такой сигнал. Коаксиальные кабели образуют электрическую шину, поэтому передаваемый сигнал принимается всеми станциями в локальной сети.

Поскольку в сети используется общая шина, то если два или более электрических сигнала будут передаваться одновременно, они будут накладываться и “сталкиваться” (коллизия) — исходные сигналы при наложении станут нераспознаваемыми. Вполне очевидно, что в стандарте Ethernet алгоритм работы сети разрешает только одному устройству одновременно пересылать данные в сеть, иначе среду Ethernet нельзя было бы использовать для передачи данных. Такой алгоритм работы был назван *множественным доступом с контролем несущей и обнаружением коллизий* (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection — CSMA/CD), и именно он определяет, как осуществляется доступ к общей шине в среде Ethernet.

Аналогией в повседневной жизни алгоритму CSMA/CD может служить комната переговоров, в которой присутствует много человек. Тяжело разобрать, когда два человека говорят одновременно, следовательно, большую часть времени говорит кто-то один, а остальные слушают. Представьте себе, что и Боб, и Ларри одновременно хотят прокомментировать последнее высказывание рассказчика. Как только рассказчик делает паузу, Боб и Ларри одновременно пытаются что-то сказать. Если Ларри услышит голос Боба прежде, чем начать разговор, то он остановится и позволит Бобу высказаться. Если же они начнут говорить практически одновременно, перебывая друг друга, то никто не сможет понять, о чем они говорят. В обычной жизни традиционно говорят: “Извините, что я вас перебил”, — и замолкают. В итоге Ларри или Боб говорят по очереди. Или, возможно, другой человек берет слово и говорит о чем-то, в то время как Боб и Ларри уступают друг другу право высказаться. Такие правила основаны на общечеловеческой культуре; алгоритм CSMA/CD основывается на спецификациях технологии Ethernet, культурном багаже человечества и преследует те же цели.

Информацию об алгоритме CSMA/CD можно вкратце подытожить так.

Обобщение алгоритма CSMA/CD

- Устройство, которое хочет передать фрейм, ожидает отсутствия передачи в локальной сети. Другими словами, пересылка фрейма не выполняется до тех пор, пока присутствует электрический сигнал в общей шине.
- При возникновении коллизии (“столкновении” двух сигналов) устройства, которые создали коллизию, ожидают в течение случайного интервала времени, а затем пробуют повторить передачу.

В локальных сетях 10BASE5 и 10BASE2 коллизия возникает из-за того, что сигнал распространяется по всей протяженности шины. Когда две станции одновременно пересылают информацию, два электрических сигнала накладываются, что приводит к коллизии. Следовательно, все устройства, использующие стандарт 10BASE5 или 10BASE2 технологии Ethernet, должны использовать алгоритм CSMA/CD для контроля коллизий.



Повторители

Как и любой другой стандарт локальной сети 10BASE5 и 10BASE2, Ethernet задает ограничение на общую длину кабеля. Максимальная длина сегмента для стандарта 10BASE5 равна 500 м, а для 10BASE2 — 185 м. Цифры 2 и 5 в спецификации стандарта соответствуют максимальной длине кабеля, где 2 соответствует 200 метрам, что очень близко к реальному значению в 185 метров.

В некоторых случаях максимальной длины кабеля недостаточно для подключения устройств. В таких случаях используется устройство, которое называется *повторителем* (repeater). Одна из причин, по которой ограничивается длина кабеля, заключается в том, что сигнал, переданный одним устройством, может очень сильно ослабнуть, затухнуть, если длина кабеля превышает 185 или 500 м. *Затухание* — процесс ослабления сигнала при прохождении через проводники; чем длиннее кабель, тем большее затухание испытывает сигнал. В качестве аналогии вспомним, что можно достаточно хорошо слышать человека, который находится недалеко, но если тот же человек говорит с той же громкостью издалека, то его речь разобрать очень трудно.

Повторители соединяют несколько кабельных сегментов, получают электрический сигнал из одного порта, интерпретируют биты как нули и единицы, а затем генерируют новый очищенный от шумов и усиленный сигнал в другие свои порты. Повторители не просто усиливают сигнал, потому что простое усиление сигнала также увеличит уровень шума, который бы появился при передаче сигнала через среду.

ВНИМАНИЕ!

Поскольку повторители не интерпретируют значение битов, а только детектируют и генерируют электрические сигналы, они относятся к первому уровню модели OSI.

Читателю, скорее всего, не понадобится создавать локальную сеть Ethernet на основе стандарта 10BASE5 или 10BASE2, но для понимания основ технологии все-таки следует выделить несколько ключевых моментов, прежде чем переходить к рассмотрению концепций построения современных локальных сетей.

- Первоначально сеть Ethernet представляла собой электрическую шину, к которой подключались все устройства.
- При использовании общей шины возникают коллизии, поэтому в технологии Ethernet используется алгоритм CSMA/CD, который определяет как метод предотвращения коллизий, так и действия, предпринимаемые в случае их возникновения.
- Повторители увеличивают длину сегментов локальной сети, очищая и регенерируя электрический сигнал без интерпретации его значения, т.е. работают на первом уровне модели OSI.

Построение сети 10BASE-T на концентраторах

IEEE не ограничивается только стандартами 10BASE2 и 10BASE5, он создает новые: в 1990 году вышел стандарт 10BASE-T, в 1995 году — 100BASE-TX, а в 1999 году — 1000BASE-T. Для обеспечения работы сетей в рамках новых стандартов создаются новые сетевые устройства: концентраторы и коммутаторы. В данном разделе описано, как работают эти три популярных типа сетей Ethernet, а также рассмотрены базовые принципы работы коммутаторов и концентраторов.

Стандарт 10BASE-T решает несколько проблем, присущих более ранним стандартам 10BASE2 и 10BASE5. Он позволяет использовать существующие кабели витой пары, используемые для телефонии. Даже при необходимости прокладки новых кабелей недорогой и легкий в прокладке кабель витой пары предпочтительнее старого, более дорогого и более сложного в установке коаксиального кабеля.

Еще одно важное преимущество, появившееся в стандарте 10BASE-T, которое и по сегодняшний день остается ключевым отличием новых локальных сетей, — это принцип подключения каждого устройства к централизованной точке. В первых реализациях 10BASE-T в качестве такой централизованной точки использовалось устройство, называемое концентратором Ethernet (рис. 3.3).

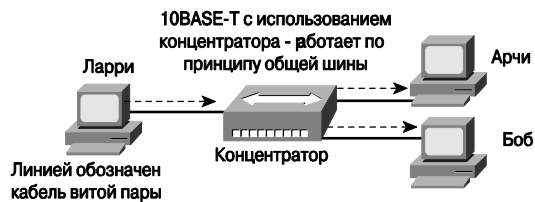


Рис. 3.3. Небольшая сеть Ethernet стандарта 10BASE-T с использованием концентратора

При построении современной локальной сети в качестве центрального устройства, к которому подключаются все остальные, может использоваться или концентратор, или коммутатор. Несмотря на то что в большинстве современных локальных сетей используется именно коммутатор, понимание принципов работы концентраторов позволяет лучше понять терминологию, используемую при описании работы коммутаторов, в том числе и их преимущества для локальных сетей.

Концентратор (hub) — это, по сути, многопортовый повторитель. Такое утверждение означает, что концентраторы просто повторяют электрический сигнал, который приходит на один порт через все другие порты. Работая таким образом, концентраторы фактически создают электрическую шину, в точности как в стандарте 10BASE2 или 10BASE5. Следовательно, в таких сетях возможно возникновение коллизий и необходимо использовать алгоритм CSMA/CD.

Сети стандарта 10BASE-T с использованием концентраторов решили несколько серьезных проблем, существовавших в сетях 10BASE2 и 10BASE5. Во-первых, существенно повысилась надежность работы сети. Повреждение одного кабеля или соединения могло привести и, как правило, приводило к неработоспособности всей сети на основе стандартов 10BASE2 и 10BASE5. В стандарте 10BASE-T устройства подключаются отдельными кабелями к концентратору, следовательно, проблема одного кабеля затрагивает только одно устройство. Как уже отмечалось выше, использование кабеля витой пары в звездообразной топологии (все кабели подключаются к центральному устройству) снижает стоимость самих кабелей и их прокладки.

В современных сетях, возможно, читатель встретит концентраторы, но предпочтительнее использовать вместо них коммутаторы. Коммутаторы работают много лучше, чем концентраторы, обеспечивают большую функциональность и, как правило, их стоимость не сильно превышает стоимость концентратора. Тем не менее все же следует отметить несколько ключевых принципов из истории технологии Ethernet, прежде чем переходить к вопросам, связанным с современными локальными сетями.

- Первоначально среда Ethernet представляла собой электрическую шину, к которой подключались все устройства.
- Повторители увеличивают длину сегментов локальной сети, очищая и регенерируя сигнал, без интерпретации значения электрического сигнала, т.е. работают на первом уровне модели OSI.
- Концентраторы — это повторители, которые обеспечивают централизованную точку включения кабелей витой пары, но все еще образуют общую электрическую шину, используемую различными устройствами, так же как в стандартах 10BASE2 и 10BASE5.
- Коллизии возникают в любом из указанных выше случаев, и в технологии Ethernet используется алгоритм CSMA/CD, который указывает устройствам, как избежать коллизий и какие действия предпринимать в случае их возникновения.

Ниже рассматривается использование кабелей неэкранированной витой пары — наиболее распространенной на сегодняшний день среды передачи данных.

Витая пара в сетях Ethernet

Три наиболее распространенных на сегодняшний день стандарта Ethernet — 10BASE-T (или просто Ethernet), 100BASE-TX (FastEthernet, или “быстрый” Ethernet), 1000BASE-T (Gigabit Ethernet, или гигабитовый Ethernet) — используют кабель неэкранированной витой пары. Кабели, используемые в стандартах, отличаются количеством используемых пар, категорией кабеля и некоторыми другими характеристиками. В этой части главы рассматриваются общие для всех трех стандартов параметры кабелей неэкранированной витой пары, в частности тип используемых разъемов, а также проводники для приема и передачи данных; здесь также описана схема расположения контактов разъема.

Кабель UTP и разъемы RJ-45

Кабель неэкранированной витой пары (UTP), который используется в популярных стандартах Ethernet, состоит из двух или четырех пар проводников. Проводники внутри кабеля тонкие и ломкие, поэтому они помещаются во внешнюю пластиковую оболочку. Каждый медный проводник имеет также собственную пластиковую оболочку, которая предохраняет его от переломов. Пластиковая оболочка разных проводников имеет разную цветовую маркировку, что позволяет легко идентифицировать проводники на концах кабеля. На конце кабеля, как правило, устанавливается специализированный разъем (обычно это разъем RJ-45), при этом концы проводников вставляются в специальные желобки разъема. В разъеме есть восемь контактов (pin), к которым подводятся отдельные проводники. Когда на конец кабеля устанавливается стандартный разъем, концы проводников должны подключаться в правильном порядке.

ВНИМАНИЕ!

Если у читателя есть под рукой кабель неэкранированной витой пары с установленным разъемом, он может прямо сейчас тщательно осмотреть его и записать порядок подключения проводников.

Когда на каждом конце кабеля установлен разъем, его включают в гнездо стандарта RJ-45, которое часто называют портом RJ-45. На рис. 3.4 показаны кабели разъемов и портов.

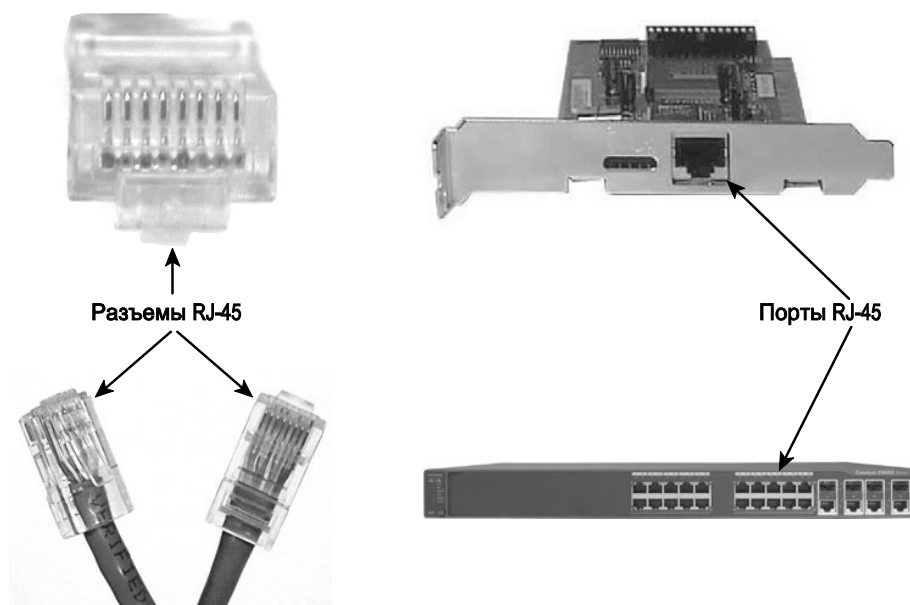


Рис. 3.4. Разъемы и гнезда RJ-45

ВНИМАНИЕ!

Разъем RJ-45 чуть шире, но в остальном похож на разъем RJ-11, который часто используется для телефонных кабелей.

На рис. 3.4, *слева*, показан разъем RJ-45 в трех разных положениях. В верхнем левом углу показан вид разъема с торца, на котором можно увидеть проводники кабеля, зафиксированные контактами разъема. Справа сверху показан не установленный в компьютер адаптер Ethernet. Порт RJ-45 сетевого адаптера после установки в компьютер будет находиться на задней панели в легкодоступном для подключения кабеля месте. Снизу справа показан коммутатор Catalyst 2960 компании Cisco со множеством портов RJ-45, через которые можно подключить к сети несколько устройств.

Несмотря на то что разъемы стандарта RJ-45 распространены, зачастую у сетевых инженеров возникает необходимость в замене нескольких физических портов без замены всего коммутатора. Многие коммутаторы компании Cisco имеют несколько заменяемых портов, выполненных или в виде разъемов *гигабитового конвертора интерфейса* (Gigabit Interface Converter — GBIC), или *малоформатного модульного разъема* (SFP — Small-Form Pluggables). Оба разъема используются для установки заменяемых модулей для любого из стандартов сети Ethernet. Просто установив другой тип модуля GBIC или SFP, коммутатор можно использовать для подключения других типов кабелей и разъемов. На рис. 3.5 показана установка модуля GBIC стандарта 1000BASE-T.



Рис. 3.5. Модуль GBIC стандарта 1000BASE-T с разъемом RJ-45

Если сетевому инженеру понадобится использовать существующий коммутатор в другой роли в локальной сети, он может просто приобрести новый модуль GBIC 1000BASE-LX, заменить старый стандарта 1000BASE-T и не приобретать полностью новый коммутатор. Например, когда коммутатор используется только для подключения устройств и других коммутаторов в том же здании, в нем может использоваться модуль GBIC 1000BASE-T и медные кабели. Если же компания переедет в другое здание, коммутатор может быть переоснащен другим модулем для подключения оптоволоконного канала, который работает на больших расстояниях в стандарте 1000BASE-LX.

Передача данных по витой паре

Кабель неэкранированной витой пары состоит из спаренных и свитых между собой проводников, что и дало название этому типу кабеля *витая пара* (twisted pair). Устройства на концах кабеля создают замкнутую электрическую цепь за счет пары проводников и передачи по ним электрического тока. При этом электрический ток в одной паре проводников течет в разных направлениях по каждому из проводов. Когда ток протекает через любой проводник, вокруг него образуется электромагнитное поле, которое может вызывать наводки на других проводниках в кабеле. Из-за того что проводники в одной паре перевиты и ток в них течет в противоположных направлениях, электромагнитное поле, созданное вторым проводником пары, почти полностью подавляется. Данный эффект используется в большинстве сетевых кабелей на основе медных проводников.

Для передачи данных с помощью электрического тока, генерируемого в паре проводников устройства, используют *схемы кодирования* (encoding scheme), в которых указано, каким должен быть электрический сигнал, чтобы передавать двоичные 0 или 1. Например, в стандарте 10BASE-T используется схема кодирования, в которой битовому 0 соответствует переход сигнала с высокого уровня напряжения на низкий. Электротехнические подробности механизмов кодирования несущественны в рамках данной книги, но важно понимать, что сетевые устройства создают электрический ток, используя сразу пару проводников и определенную схему кодирования для передачи битов.

Схема расположения контактов кабеля UTP для стандартов 10BASE-T и 100BASE-TX

Проводники кабеля витой пары должны быть подключены к правильным контактам разъема RJ-45. Как упоминалось выше, разъем RJ-45 содержит восемь контактов (pin), к которым подключаются медные проводники. Схема подключения контактов — это соответствие проводника определенного цвета в кабеле контакту в разъеме, она должна удовлетворять определенным требованиям стандарта Ethernet, описанным в этой части главы.

Интересный факт: IEEE официально не указал стандарты для кабелей, разъемов и точную схему подключения контактов в разъеме. Ассоциация телекоммуникационной промышленности (Telecommunication Industry Association — TIA) определяет стандарт для кабельной системы на основе витой пары, цветовой схемы проводников и стандартную схему подключения контактов (см. <http://www.tiaonline.org>). На рис. 3.6 показаны две разработанные организациями TIA стандартные схемы подключения проводников с указанием цветов и номеров пар.

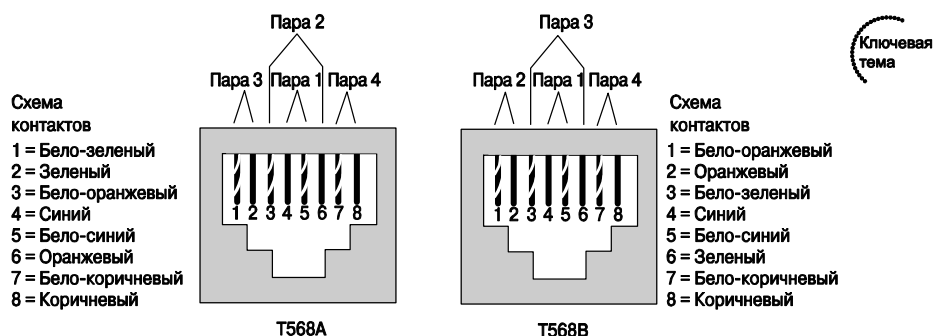


Рис. 3.6. Стандартные схемы расположения выводов кабелей TIA

Обратите внимание на то, что в кабеле неэкранированной витой пары используются четыре цвета для маркировки проводников (оранжевый, зеленый, синий, коричневый) в виде сплошной или чередующейся с белыми полосами окраски. Кабели одной пары свитых проводников имеют один цвет и отличаются методом окраски (сплошная или полосатая), при этом кабели полосатой окраски обычно называют с указанием белого цвета и основного, например бело-оранжевый.

ВНИМАНИЕ!

В кабеле неэкранированной витой пары используются две пары проводников в стандартах 10BASE-T и 100BASE-TX и четыре пары проводников в стандартах 1000BASE-T. В данной части рассматривается двухпарное подключение кабеля, а четырехпарное рассматривается ниже.

Для построения рабочей сети Ethernet необходимо выбирать кабели с правильным подключением контактов на концах кабеля. В стандартах 10BASE-T и 100BASE-TX указано, что одна пара проводников используется для передачи данных в одном направлении, а вторая пара — в обратном направлении. В частности, сетевой адаптер среды Ethernet пересылает данные, используя контакты 1 и 2, или третью пару, согласно спецификации T568A (см. рис. 3.6). Одновременно сетевой адаптер ожидает входя-

щие данные на контактах 3 и 6 — пара 2 по спецификации T568A. В концентраторах и коммутаторах, соответственно, пары используются наоборот: прием данных осуществляется на контактах 1 и 2, а передача — на контактах 3 и 6.

На рис. 3.7 показано подключение компьютера Ларри к концентратору. Обратите внимание на то, что на рисунке показаны две пары свитых кабелей внутри кабеля, чтобы подчеркнуть, что в кабеле используются только эти две пары.

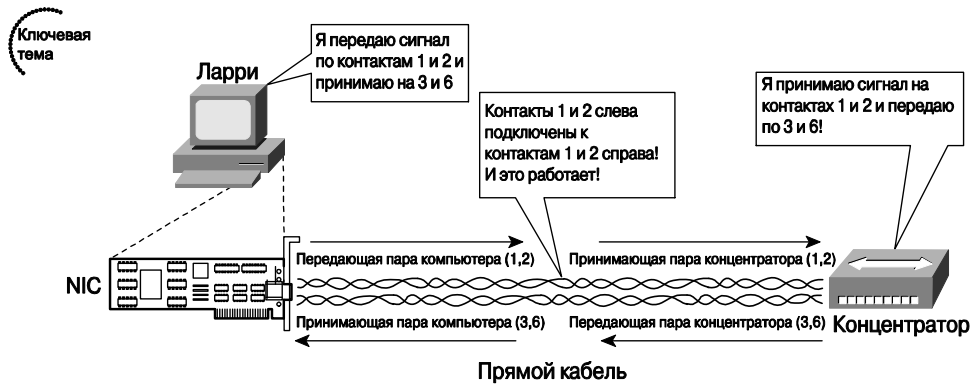


Рис. 3.7. Принцип работы прямого кабеля

В схеме на рис. 3.7 используется *прямой* (straight-through) тип кабеля. В прямом типе кабеля контакт 1 одного конца подключается к контакту 1 противоположного, контакт 2 — к контакту 2, контакт 3 — к контакту 3 и т.д. (При этом на обоих концах кабеля используется одна и та же спецификация EIA/TIA.)

Прямой кабель применяется в тех случаях, когда устройства на его противоположных концах используют разные номера контактов для приема и передачи информации. Для подключения друг к другу устройств, использующих одинаковые номера контактов для приема и одинаковые номера контактов для передачи, в самом кабеле необходимо поменять местами пары проводников. Такой кабель называется *перекрещенным* (crossover). Например, в большой корпоративной сети используется несколько коммутаторов, соединенных кабелем неэкранированной витой пары. Поскольку все коммутаторы передают данные на контактах 3 и 6, а принимают по контактам 1 и 2, в кабеле необходимо поменять эти пары проводников местами. На рис. 3.8 показана принципиальная схема расположения контактов перекрещенного кабеля.

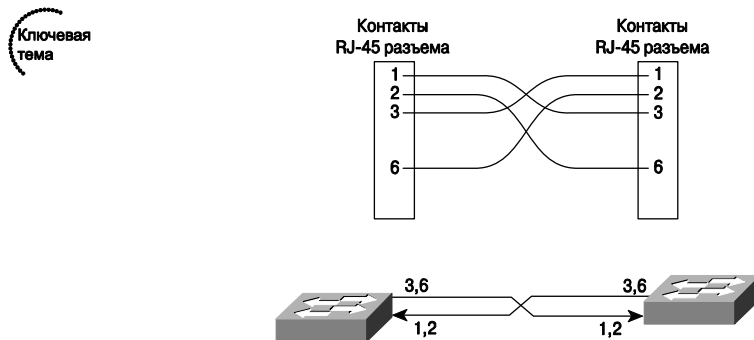


Рис. 3.8. Перекрещенный кабель

В верхней части рисунка показаны контакты с подключенными проводниками. Проводник, подключенный к первому контакту разъема слева, подключается к третьему контакту разъема справа, второй слева — к шестому контакту справа, третий контакт слева — к первому справа, шестой слева — ко второму контакту справа. В нижней части рисунка показана пара, подключенная к передающим контактам 3 и 6 коммутатора слева, которая подключается к принимающим контактам 1 и 2 коммутатора справа, и наоборот.

Для уверенной сдачи экзамена необходимо правильно выбирать тип кабеля (прямой или перекрещенный) для подключения различных устройств. Можно запомнить такую краткую схему: если устройства на разных концах кабеля передают сигнал по одной и той же паре, то необходим перекрещенный кабель; если по разным — то прямой. В табл. 3.3 приведены устройства, которые упоминаются в книге, и номера пар контактов, которые используются для передачи при использовании стандартов 10BASE-T и 100BASE-TX.

Таблица 3.3. Использование контактов в стандартах 10BASE-T и 100BASE-TX



Устройства, которые передают по паре 1,2 и принимают по паре 3,6	Устройства, которые передают по паре 3,6 и принимают по паре 1,2
Сетевые адаптеры персонального компьютера	Концентраторы
Маршрутизаторы	Коммутаторы
Беспроводные точки доступа (интерфейс Ethernet)	-
Сетевые принтеры (которые непосредственно подключаются к сети Ethernet)	-

Например, на рис. 3.9 показана схема локальной сети одного здания. Несколько прямых кабелей используется для подключения персональных компьютеров к коммутаторам, а для соединения коммутаторов используются перекрещенные кабели.

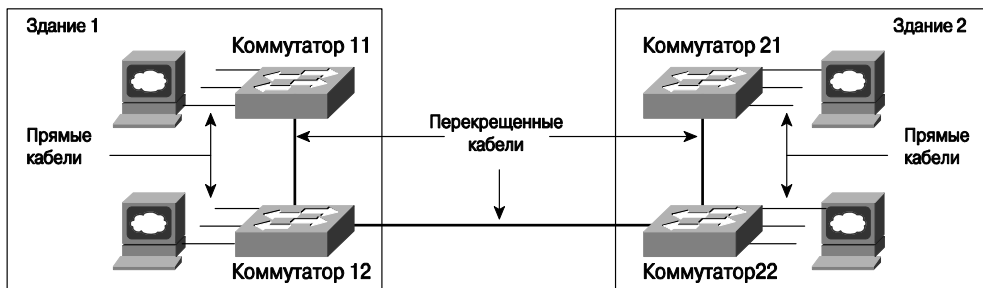


Рис. 3.9. Использование прямых и перекрещенных кабелей

Кабели стандарта 1000BASE-T

Как упоминалось выше, стандарт 1000BASE-T отличается от других по требованиям к кабелю и назначением контактов. Во-первых, в стандарте используются все четыре пары проводников, во-вторых, гигабитовая технология Ethernet позволяет принимать и передавать данные одновременно по всем четырем парам.

Тем не менее в гигабитовой технологии Ethernet присутствуют такие понятия, как прямой и перекрещенный кабель, но с небольшими отличиями от более ранних стандартов. Схема подключения для прямого кабеля точно такая же: первый контакт разъема подключается к первому, второй — ко второму и т.д. В перекрещенном кабеле точно так же меняются местами пары на контактах 1,2 и 3,6, но кроме этого также меняются местами две другие пары — на контактах 4,5 и 7,8.

ВНИМАНИЕ!

Если у читателя есть некоторый опыт в создании локальных сетей, может возникнуть мысль, что он где-то использовал неправильный кабель, но сеть все же работала. В коммутаторах компании Cisco реализована функция *автоопределения типа кабеля* (auto-mdix), за счет которой устройство само обнаруживает, какой тип кабеля включен в порт. Эта функция перенастраивает коммутирующие микросхемы под установленный кабель. Для сдачи экзамена необходимо идентифицировать правильный тип кабеля так, как показано на рис. 3.9.

Использование коммутаторов вместо концентраторов для повышения производительности сети

В этом разделе описаны некоторые проблемы с производительностью сети, построенной на концентраторах, и показано, как коммутаторы помогают решить две наиболее существенные проблемы концентраторов. Для лучшего понимания проблемы обратимся к рис. 3.10, на котором показано, что происходит, когда одно устройство пересылает данные через концентратор.

ВНИМАНИЕ!

Схема и принцип работы на рисунке применимы как для стандарта 10BASE-T, так и для технологий 100BASE-TX и даже для 1000BASE-T.

На рис. 3.10 видно, что концентратор создает общую электрическую шину. Этапы работы устройства описаны ниже.

- Этап 1** Сетевой адаптер пересылает фрейм.
- Этап 2** Сетевой адаптер через внутреннюю петлю осуществляет передачу фрейма на пару для приема данных.
- Этап 3** Концентратор принимает электрический сигнал и распознает его как последовательность битов.
- Этап 4** Концентратор повторяет полученную последовательность битов на всех портах, кроме того, с которого был получен фрейм.
- Этап 5** Концентратор повторяет сигнал на принимающих парах для всех устройств в соответствующих портах.

Обратите внимание: концентратор всегда повторяет электрический сигнал на всех портах, кроме того, с которого этот сигнал был получен. Также на рис. 3.10 не показаны коллизии, однако если компьютер 1 и компьютер 2 начнут передавать сигнал одновременно, то на 4 этапе два сигнала перекроются, фреймы попадут в коллизию и их невозможно будет распознать или фреймы будут содержать большое количество ошибок.

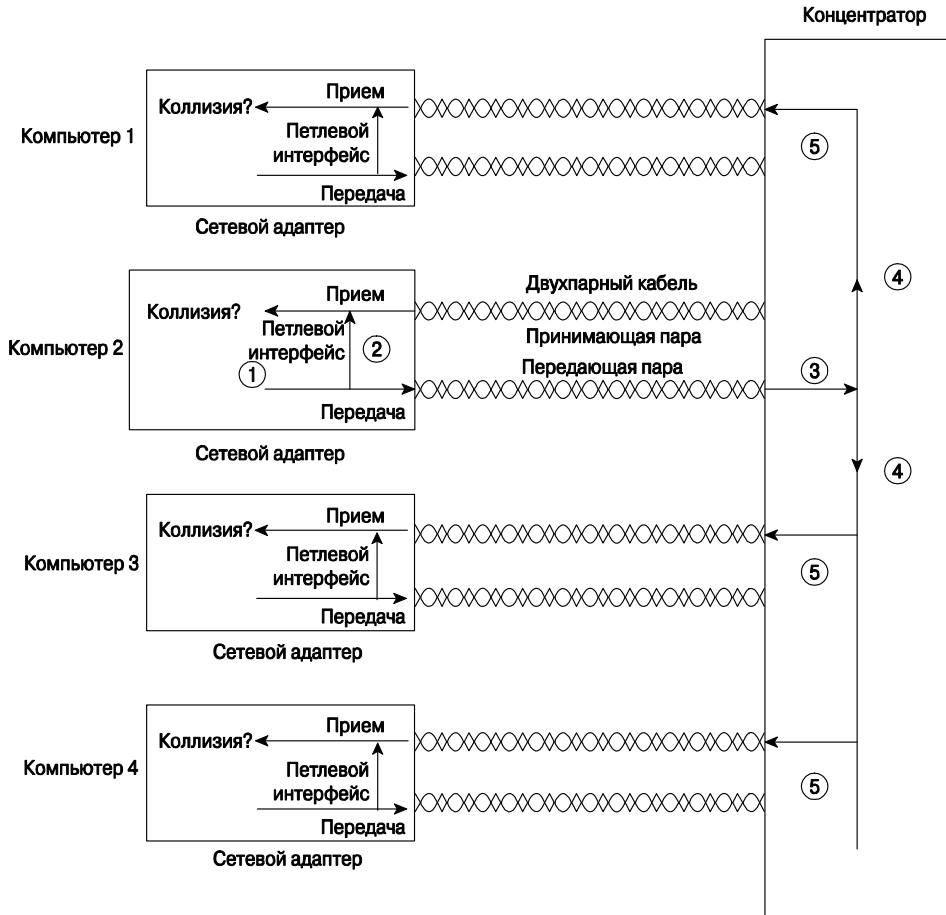


Рис. 3.10. Концентратор образует общую электрическую шину

Алгоритм CSMA/CD



Алгоритм CSMA/CD позволяет предотвратить коллизии и задает порядок действий при их возникновении, этапы которого описаны ниже.

- Этап 1** Устройство, пересылающее фрейм, ожидает, пока не освободится среда Ethernet.
- Этап 2** Когда среда Ethernet свободна, отправитель (или отправители) начинает отправку фрейма.
- Этап 3** Отправитель (или отправители) прослушивает среду на предмет возникновения коллизии.
- Этап 4** Если происходит коллизия, устройства, которые отправляли фреймы, генерируют *сигнал оповещения о коллизии* (jamming signal), чтобы все станции были уведомлены о возникновении коллизии.
- Этап 5** После получения сигнала о коллизии каждый отправитель ожидает в течение случайного интервала времени, прежде чем начать повторную попытку передачи попавшего в коллизия фрейма.
- Этап 6** Когда истекает случайный интервал, процесс начинается с этапа 1.

Алгоритм CSMA/CD не предотвращает коллизии полностью, но позволяет продолжить работу даже в случае их возникновения. Когда происходит коллизия, алгоритм CSMA/CD обязывает устройства, вовлеченные в коллизию, отложить передачу данных на случайный интервал, а затем повторить попытку. Такой подход позволяет локальной сети функционировать, но негативно сказывается на ее производительности. Следует запомнить два ключевых момента. Во-первых, алгоритм CSMA/CD обязывает устройства ожидать освобождения среды передачи, прежде чем начать передачу. Такое требование помогает избежать коллизий, но также означает, что в каждый момент времени вести передачу информации может только одно устройство. В результате устройства, подключенные к одному концентратору, делят между собой общую полосу пропускания. Режим работы, в котором передача возможна только при отсутствии сигнала на принимающей паре, называется *полудуплексным* (half duplex). Такое утверждение, по сути, означает, что устройство может только или принимать, или передавать фрейм в каждый произвольный момент времени.

Вторая основная особенность алгоритма CSMA/CD — это метод обработки коллизий. Когда происходит коллизия, алгоритм обязывает вовлеченные в нее устройства отложить передачу на случайный период времени. Такое требование позволяет работать локальной сети, но в то же время понижает ее производительность. Во время коллизии полезные данные не передаются через сеть, кроме того, устройства, ожидающие истечения случайного интервала, дольше ожидают возможности повторной передачи, чем в среде без коллизий. Следует отметить, что при увеличении нагрузки на сеть Ethernet увеличивается вероятность возникновения коллизий. До тех пор, пока коммутаторы не стали доступными и не решили многие проблемы с производительностью, выработалось правило, что производительность сети Ethernet начинает ухудшаться при загрузке свыше 30%, преимущественно за счет увеличения числа коллизий.

Увеличение производительности сети с помощью коммутаторов

Термином *домен коллизий* (collision domain) описывают набор устройств, фреймы которых могут создать коллизию. Все устройства в сетях 10BASE2, 10BASE5 или любой сети с концентраторами могут испытывать коллизии, следовательно, все устройства в таких сетях находятся в одном домене коллизий. Например, все устройства, подключенные к концентратору (рис. 3.10), находятся в одном домене коллизий. Для избежания коллизий и их обработки в таких сетях используется алгоритм CSMA/CD.

Коммутаторы для локальных сетей значительно сокращают или даже полностью устраняют коллизии в сети. В отличие от концентраторов, коммутаторы не образуют общую электрическую шину и пересылают полученный сигнал на все свои порты. Они работают следующим образом:

- коммутаторы интерпретируют последовательность битов как фрейм и в большинстве случаев пересылают такой фрейм только на один порт, а не на все;
- если коммутатору необходимо переслать больше чем один фрейм на один и тот же порт, он буферизирует фреймы в памяти и пересылает их последовательно один за другим, что позволяет избежать коллизий.

Например, на рис. 3.11 показано, как коммутатор пересылает два фрейма одновременно, не создавая при этом коллизию. На этом рисунке компьютер 1 и компью-

тер 3 одновременно передают фреймы. Компьютер 1 отправляет фрейм с адресом получателя, соответствующим адресу компьютера 2, а компьютер 3 — с адресом получателя, соответствующим адресу компьютера 4, в заголовках фрейма. (Более подробно об адресации в сети Ethernet рассказано далее в главе.) Коммутатор проверяет адрес получателя в заголовке фрейма Ethernet и пересылает фрейм от компьютера 1 компьютеру 2 и одновременно пересылает фрейм от компьютера 3 компьютеру 4. Если в сети используется концентратор, то в такой ситуации возникает коллизия, но поскольку коммутатор не пересылает фрейм через все свои порты, он позволяет избежать столкновения.

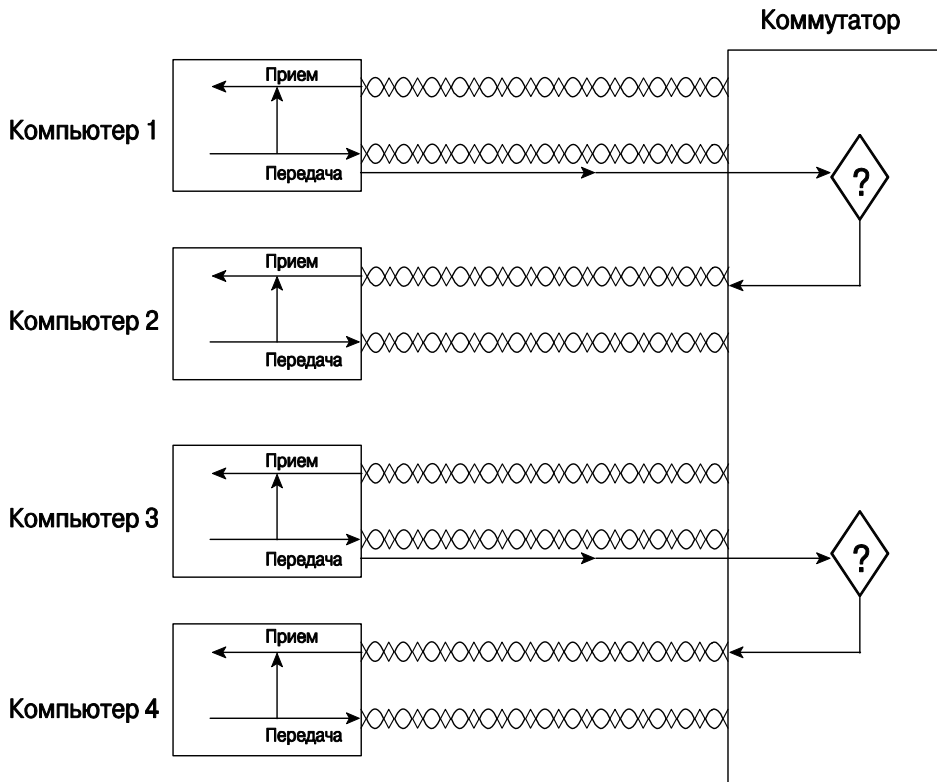


Рис. 3.11. Принцип работы коммутатора

ВНИМАНИЕ!

Коммутатор использует информацию из заголовка фрейма Ethernet, т.е. выполняет функцию второго уровня модели OSI, следовательно, коммутатор считается устройством второго уровня, в то время как концентратор относится к первому уровню модели OSI.

Буферизация также позволяет избежать коллизий. Представьте, что компьютеры 1 и 3 одновременно пересылают фреймы компьютеру 4. Коммутатор знает, что одновременная передача этих фреймов приведет к коллизии, буферизирует один из них (другими словами, временно сохраняет его в памяти устройства) до тех пор, пока второй не будет целиком отправлен компьютеру 4.

Описанные выше принципы работы коммутаторов позволяют существенно повысить производительность сети по сравнению с концентраторами за счет следующих особенностей:

- если каждое устройство подключено к отдельному порту коммутатора, то коллизии не возникают;
- устройства, подключенные к одному порту коммутатора, не делят полосу пропускания с устройствами, подключенным, к другим портам. Каждое устройство использует выделенную полосу пропускания, на практике коммутатор на 100 Мбит/с обеспечивает около 100 Мбит/с полосы пропускания на каждый порт.

Второе утверждение относится к понятиям совместно используемой среды Ethernet и коммутируемой среды Ethernet. Как уже упоминалось выше, совместно используемая среда Ethernet подразумевает, что полоса пропускания локальной сети делится между всеми устройствами, потому что они должны ожидать освобождения общей шины, прежде чем начать передачу информации. Термин *коммутируемая среда Ethernet* подчеркивает тот факт, что при использовании коммутаторов полоса пропускания не делится между устройствами, что приводит к значительному увеличению производительности сети. Например, концентратор, к которому подключено двадцать четыре устройства, на скорости 100 Мбит/с обеспечивает теоретически до 100 Мбит/с полосы пропускания в общем. При использовании коммутатора вместо концентратора обеспечивается до 100 Мбит/с на каждый порт, что в сумме дает до 2,4 Гбит/с полосы пропускания.

Увеличение вдвое производительности при использовании дуплексного режима

Любая сеть Ethernet на концентраторах требует использования алгоритма CSMA/CD для корректной работы. Этот алгоритм требует полудуплексного режима работы, и соответственно только одно устройство может передавать информацию в каждый момент времени. Поскольку коммутаторы буферизируют фреймы в памяти, они могут полностью исключить коллизии в своих портах для одного устройства. В результате коммутаторы с единственным подключенным к порту устройством могут работать в *дуплексном (full-duplex)* режиме. Дуплексный режим означает, что сетевой адаптер может одновременно и принимать, и передавать информацию.

На рис. 3.12 показано, почему нет коллизии в дуплексном режиме и как обеспечивается дуплексное подключение единственного компьютера к порту коммутатора.

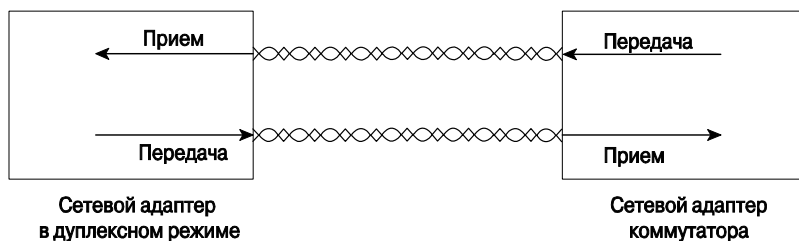


Рис. 3.12. Дуплексный режим работы коммутатора

Коллизия не может произойти между коммутатором и компьютером в ситуации, показанной на рис. 3.12. Когда используется дуплексный режим работы, в портах фактически отключается алгоритм CSMA/CD на обоих концах кабеля; ни одно устройство не ожидает отсутствия сигнала в принимающей паре перед передачей данных. В результате такого подхода производительность сегмента Ethernet удваивается за счет одновременного обмена информацией в обоих направлениях.

Резюме: первый уровень технологии Ethernet

Выше были рассмотрены принципы работы и методы построения сети Ethernet с использованием концентраторов и коммутаторов в рамках первого уровня модели OSI и правила использования кабелей витой пары при подключении устройств к коммутаторам или концентраторам. Была описана обобщенная теория передачи информации устройствами — передача данных с помощью электрических сигналов через электрические цепи, образованные парой проводников в кабеле. Важной информацией является также описание того, какие пары проводников используются для приема и передачи информации, а также принцип работы коммутаторов, методы устранения коллизий в них, которые существенно повышают производительность по сравнению с концентраторами.

Средства канального уровня Ethernet

Одним из наиболее важных преимуществ семейства протоколов Ethernet является то, что в них используется один и тот же стандарт канального уровня. Адресация в протоколах Ethernet не менялась начиная со стандарта 10BASE5 и заканчивая наиболее современными реализациями 10-гигабитовой среды Ethernet, включая те, которые используют отличную от медной среду передачи данных. Больше того, алгоритм CSMA/CD, который, по сути, является частью канального уровня, точно так же может использоваться во всех стандартах.

Эта часть главы посвящена канальным протоколам технологии Ethernet, в частности, адресации в среде Ethernet, принципам формирования фреймов, методам определения ошибок и идентификации типов данных во фрейме Ethernet.

Адресация в технологии Ethernet

Механизм адресации в технологии Ethernet позволяет адресовать не только отдельные устройства, но и группу узлов в локальной сети. Адрес состоит из 6 байтов и обычно записывается в шестнадцатеричном виде (в устройствах компании Cisco такой адрес, как правило, записывается с точкой в качестве разделителя набора из четырех шестнадцатеричных цифр, например 0000.0C12.3456).

Одноадресатный (unicast) адрес Ethernet идентифицирует один сетевой адаптер. (Термин *одноадресатный* выбран в основном для противопоставления таким понятиям, как *широковещательный* (broadcast) и *многоадресатный* (multicast) адрес.) Компьютеры используют одноадресатный идентификатор, чтобы указать отправителя и получателя фрейма Ethernet. Например, представьте себе ситуацию, когда Фред и Барни находятся в одном сегменте сети Ethernet, и компьютер Фреда пересылает компьютеру Барни фрейм. Компьютер Фреда помещает собственный MAC-адрес Ethernet в заголовок фрейма в качестве отправителя и использует MAC-адрес компьютера Барни в качестве адреса получателя. Когда компьютер Барни получает

фрейм, он определяет, что адрес получателя фрейма — это его собственный адрес, и начинает обработку фрейма. Если компьютер Барни получает фрейм с одноадресным адресом какого-либо другого устройства в качестве получателя, он просто игнорирует этот фрейм.

IEEE стандартизировал формат и способ назначения адресов локальной сети. Стандарт требует глобальной уникальности одноадресных MAC-адресов во всех сетевых платах. (IEEE использует название MAC-адреса, потому что протоколы уровня MAC, такие как IEEE 802.3, указывают механизмы адресации.) Чтобы добиться уникальности адресов, производители сетевых адаптеров прописывают их непосредственно в самих адаптерах (сетевых платах), обычно в микросхеме ПЗУ. Первая половина адреса идентифицирует производителя сетевого адаптера — эта часть адреса назначается IEEE каждому производителю и называется OUI (Organizationally Unique Identifier — уникальный идентификатор организации). Каждый производитель при назначении MAC-адреса сетевому адаптеру использует свой идентификатор OUI в первой части адреса и уникальный, ранее нигде не использовавшийся номер, для второй части (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Структура одноадресного адреса Ethernet

Для описания одноадресного адреса в локальной сети используется множество терминов. Зачастую говорят, что каждый сетевой адаптер поставляется с *прошитым адресом* (Burned-In Address — BIA), который записывается в микросхему ПЗУ на плате. Прошитый адрес иногда называют *универсально управляемым адресом* (Universally Administered Address — UAA), потому что IEEE управляет назначением адресов во всем мире. Вне зависимости от того, используется ли прошитый адрес или настроен другой адрес, множество людей воспринимают такой одноадресный адрес как адрес локальной сети, или адрес Ethernet, или аппаратный адрес, или физический адрес, или MAC-адрес.

Кроме одноадресных, существуют другие адреса, которые идентифицируют более одного сетевого адаптера. IEEE разделяет такие адреса на две группы, указанные ниже.

- **Широковещательный адрес** (broadcast addresses). Наиболее часто используемый групповой адрес, значение которого равно FFFF.FFFF.FFFF (в шестнадцатеричном виде). Широковещательный адрес используется в тех случаях, когда все устройства в локальной сети должны обработать фрейм.
- **Многоадресный адрес** (multicast addresses) используется для взаимодействия с определенной группой устройств в локальной сети. Когда групповой пакет IP распространяется в среде Ethernet, используется специализированный групповой MAC-адрес в формате 0100.5exx.xxxx. Во второй половине адреса может использоваться любое значение.

В табл. 3.4 приведено резюме по разновидностям MAC-адресов.

Таблица 3.4. Терминология и функции MAC-адресов в локальной сети



Термин или функция	Описание
MAC-адрес	<i>Контроль доступа к среде передачи</i> (Media Access Control). Стандарт IEEE 802.3 (Ethernet) описывает подуровень MAC среды Ethernet
Адрес Ethernet, адрес сетевой платы, адрес локальной сети	Другие названия, часто используемые вместо термина <i>MAC-адрес</i> . Шестибайтовый адрес адаптера локальной сети
Прошитый адрес (Burned-in address)	Шестибайтовый адрес, назначенный производителем сетевого адаптера
Одноадресатный адрес (Unicast address)	Синоним MAC-адреса, который описывает единственное устройство в локальной сети
Широковещательный адрес (Broadcast address)	Адрес, который обозначает “все устройства в локальной сети в данный момент”
Многоадресатный адрес (Multicast address)	В среде Ethernet групповой адрес идентифицирует некую группу устройств в пределах одной локальной сети

Фреймирование Ethernet

Фреймирование (framing) определяет, как интерпретировать последовательность передаваемых битов. Другими словами, фреймирование задает значение передаваемых через сеть битов. Физический уровень передает последовательность битов с одного устройства на другое. Когда принимающее устройство получает набор битов, возникает вопрос: как их интерпретировать? Фреймированием называют метод идентификации полей, необходимых для передачи информации, и определения значения каждого бита, переданного или полученного из сети.

Обратимся к примеру, рассматриваемому выше, когда компьютер Фреда пересылал данные компьютеру Барни через сеть Ethernet. Компьютер Фреда помещает адрес Ethernet компьютера Барни в заголовок фрейма, и компьютер Барни, получив этот фрейм, будет знать, что он предназначен именно ему. Стандарт IEEE 802.3 определяет месторасположение поля адреса получателя в последовательности битов, пересылаемой через сеть Ethernet.

Формат фрейма, используемый в среде Ethernet, несколько раз менялся с течением времени. Компания Хегох установила один формат фрейма, который был изменен IEEE при разработке стандартов в начале 1980-х. В итоге в 1997 году был выпущен стандарт фрейма, который содержит в себе как некоторые особенности оригинального фрейма Ethernet компании Хегох, так и фрейма IEEE. Этот пересмотренный вариант стандарта показан на рис. 3.14, *снизу*.

Большинство полей во фрейме Ethernet достаточно важно, чтобы сказать о них несколько слов в этой главе. В табл. 3.5 приведен список полей в заголовке и конце-вике фрейма и их краткое описание.

DIX

Преамбула 8	Получатель 6	Отправитель 6	Тип 2	Данные и заполнение 46 – 1500	КСФ 4
----------------	-----------------	------------------	----------	-------------------------------------	----------

IEEE 802.3 (первоначальный)

Преамбула 7	РНФ 1	Получатель 6	Отправитель 6	Длина 2	Данные и заполнение 46 – 1500	КСФ 4
----------------	----------	-----------------	------------------	------------	-------------------------------------	----------

IEEE 802.3 (пересмотренный в 1997 г.)

Байты	Преамбула 7	РНФ 1	Получатель 6	Отправитель 6	Длина/ Тип 2	Данные и заполнение 46 – 1500	КСФ 4
-------	----------------	----------	-----------------	------------------	-----------------	-------------------------------------	----------

Рис. 3.14. Форматы заголовков фреймов

Таблица 3.5. Поля в заголовке и концевики фрейма стандарта IEEE 802.3

Поле	Длина поля в байтах	Описание или функция
Преамбула (preamble)	7	Синхронизация
Указатель начала фрейма (Start Frame Delimiter (SFD) — разделитель начала фрейма (РНФ))	1	Сигнализирует о начале фрейма. Следующий байт — первый байт в адресе получателя
MAC-адрес получателя (destination MAC address)	6	Задаёт получателя фрейма
MAC-адрес отправителя (source MAC address)	6	Задаёт отправителя фрейма
Длина (length)	2	Указывает длину поля данных во фрейме (присутствует или поле длины, или поле типа фрейма, но не оба одновременно)
Тип (type)	2	Определяет тип протокола, помещенного во фрейм (присутствует или поле длины, или поле типа фрейма, но не оба одновременно)
Данные и заполнение (data and pad) ¹	46-1500	Содержит данные верхних уровней, обычно блок PDU третьего уровня, очень часто — непосредственно пакет IP
Контрольная сумма фрейма, КСФ (Frame Check Sequence, FCS)	4	Используется для проверки фрейма на целостность и отсутствие ошибок

¹ Стандарт IEEE 802.3 ограничивает максимальный размер поля данных величиной в 1500 байтов. Поле данных предназначено для передачи пакета третьего уровня модели OSI; термин *максимальный блок передачи* (Maximum Transmission Unit — MTU) используется для указания максимального размера пакета третьего уровня, который можно переслать через среду передачи данных. Поскольку пакет третьего уровня должен находиться в поле данных фрейма Ethernet, то 1500 байт — наибольший размер блока MTU протокола IP, разрешенный в среде Ethernet. — *Примеч. авт.*

Распознавание данных во фрейме Ethernet

За многие годы было разработано множество сетевых протоколов (т.е. протоколов третьего уровня). Большинство из них — это просто компоненты в более крупных сетевых моделях, разработанных различными производителями оборудования для своих продуктов, такие как системная сетевая архитектура (System Network Architecture — SNA) компании IBM, операционная система NetWare компании Novell, сеть DECnet компании DEC, сеть AppleTalk компании Apple Computer и т.п. Кроме того, модели OSI и TCP/IP также имеют свои протоколы сетевого уровня.

Все перечисленные протоколы третьего уровня и некоторые другие могут использовать среду Ethernet в качестве средства передачи данных. Для этого протоколам сетевого уровня необходимо поместить свой пакет (или блок PDU третьего уровня) в поле данных фрейма Ethernet (рис. 3.14). Но когда устройство получает подобный фрейм Ethernet, как ему определить, какого типа PDU в нем содержится? Может быть, это пакет IP, или пакет OSI, или блок данных протокола SNA?

Чтобы ответить на этот вопрос, в большинстве протоколов канального уровня, включая Ethernet, в заголовке фрейма содержится поле с кодом, который и определяет тип передаваемого протокола. Это поле в протоколах канального уровня называется *полем типа протокола* (protocol type). Например, если фрейм Ethernet переносит пакет IP, то в его поле типа (см. рис. 3.14) будет содержаться шестнадцатеричное число 0x800 (десятичное 2048). Другие протоколы третьего уровня будут иметь собственные, отличные значения в поле типа протокола.

Обратите внимание на то, что в первом стандарте формата фрейма IEEE 802.3 вместо поля типа протокола используется поле длины фрейма, а в пересмотренном формате это поле объединено с полем длины фрейма. Если значение в этом поле меньше, чем шестнадцатеричное число 0x600 (1536 в десятичном виде), то это поле используется в значении длины фрейма и указывает длину всего поля данных (без преамбулы и указателя начала фрейма), в противном случае поле используется для указания типа протокола. В случае если это поле используется для определения размера фрейма, то во фрейме необходимо другое поле для указания протокола третьего уровня, передаваемого во фрейме.

Для этого используется еще один или два дополнительных заголовка, расположенных после заголовка стандарта IEEE 802.3, но перед вложенным в поле данных заголовком третьего уровня. Например, при пересылке пакета IP во фрейме Ethernet будут содержаться два дополнительных заголовка:

- заголовок IEEE 802.2 *управления логическим каналом* (Logical Link Control — LLC);
- заголовок стандарта IEEE *протокола доступа к подсети* (Subnetwork Access Protocol — SNAP).

На рис. 3.15 показан фрейм Ethernet с такими дополнительными заголовками. Обратите внимание: поле типа заголовка SNAP используется для тех же целей и с теми же значениями, что и поле типа протокола в заголовке Ethernet.



Рис. 3.15. Заголовок SNAP стандарта 802.2

Обнаружение ошибок

Последняя рассматриваемая в данной главе функция канального уровня технологии Ethernet — это обнаружение ошибок. Обнаружение ошибок представляет собой процесс, позволяющий определить, не менялись ли биты во фрейме при передаче его через физическую среду. Изменение битов может произойти в результате множества различных небольших ошибок, и, как правило, эти ошибки — следствие различных видов электромагнитной интерференции. Как и любой другой протокол канального уровня, рассматриваемый в экзамене CCNA, Ethernet имеет и заголовок, и концевик фрейма, а в последнем содержится поле, используемое для обнаружения ошибок.

Поле *контрольной суммы фрейма* (Frame Check Sequence — FCS), единственное поле концевика фрейма Ethernet, позволяющее устройству, принявшему фрейм, определить, изменились ли его биты в процессе передачи по сети. Для заполнения поля контрольной суммы устройство-отправитель по сложной математической формуле, используя содержимое фрейма, рассчитывает четырехбайтовое число. Принимающее устройство производит те же самые математические операции. Если результат вычислений совпадает со значением, записанным в поле контрольной суммы, то фрейм передан без ошибок. Если же результат вычисления и записанное в поле число не совпадают, то произошла ошибка, и фрейм уничтожается.

Обратите внимание на то, что механизм обнаружения ошибок не подразумевает восстановление данных. Стандарт Ethernet указывает, что фреймы с ошибками должны уничтожаться, и при этом никаких дополнительных действий, например повторная пересылка поврежденного фрейма, не производится. Задача повторной передачи поврежденной информации возлагается на верхние уровни модели OSI. Так, например, протокол TCP отслеживает потерю информации и производит повторную передачу (подробнее об этом рассказывается в главе 6).

Подготовка к экзамену

Повторите все ключевые темы

Повторите все ключевые темы данной главы, помеченные пиктограммой “Ключевая тема”. Ключевые темы и соответствующие им страницы перечислены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Ключевые темы главы 3

Элемент	Описание	Страница
Табл. 3.2	Наиболее распространенные разновидности технологии Ethernet	86
Список	Обобщение алгоритма CSMA/CD	89
Рис. 3.6	Стандартные схемы расположения выводов кабелей TIA	95
Рис. 3.7	Принцип работы прямого кабеля	96
Рис. 3.8	Перекрещенный кабель	96
Табл. 3.3	Использование контактов в стандартах 10BASE-T и 100BASE-TX	97
Список	Алгоритм CSMA/CD	99
Рис. 3.13	Структура одноадресатного адреса Ethernet	104
Табл. 3.4	Терминология и функции MAC-адресов в локальной сети	105

Заполните таблицы и списки по памяти

Распечатайте приложение М (Appendix L) с компакт-диска или его раздел, относящийся к этой главе, и заполните таблицы и списки по памяти. В приложении Н (Appendix M) приведены заполненные таблицы и списки для самоконтроля.

Ключевые термины

Дайте определения перечисленных ниже терминов и проверьте правильность их написания в списке терминов:

1000BASE-T, 100BASE-TX, 10BASE-T, перекрещенный кабель (crossover cable), алгоритм CSMA/CD (CSMA/CD), дуплексный режим передачи (full duplex), полудуплексный режим передачи (half duplex), концентратор (hub), схема расположения выводов кабелей (pinout), поле типа протокола (protocol type), совместно используемая среда Ethernet (shared Ethernet), прямой кабель (straight-through cable), коммутатор (switch), коммутируемая среда Ethernet (switched Ethernet), витая пара (twisted pair).