

# 5-1. Канальный уровень модели OSI

Канальный уровень (Data link layer) является вторым уровнем модели OSI, который расположен между физическим уровнем и сетевым уровнем. Он обеспечивает передачу данных, полученных от вышележащего сетевого уровня, через физический уровень между непосредственно подключенными устройствами. Канальный уровень выполняет следующие функции:

- управление доступом к среде передачи;
- управление потоком данных;
- физическая (аппаратная) адресация;
- формирование кадров;
- достоверность принимаемых данных;
- адресация протокола верхнего уровня.

Функционирование канального уровня определяется его протоколом. Примерами протоколов канального уровня могут служить семейство протоколов Ethernet IEEE 802.3, протоколы беспроводных сетей IEEE 802.11. На канальном уровне работают следующие устройства:

- сетевые адаптеры;
- медиаконвертеры с интеллектуальными функциями;
- коммутаторы;
- точки доступа.

## 5.1 Методы коммутации

В предыдущих главах разбирались вопросы, связанные с тем, как соединить множество устройств и организовать между ними взаимодействие, если они расположены в разных местах. Вы познакомились с основными сетевыми топологиями и узнали, что для того чтобы соединить каждый узел напрямую со всеми остальными узлами сети нужно использовать полносвязную ячеистую топологию. Однако, несмотря на максимальную отказоустойчивость, эта топология довольно дорогостоящая. На практике часто приходится выполнять передачу потоков данных от множества пользователей, используя общую среду передачи.

Так в самой распространенной топологии локальных сетей «расширенная звезда» линии связи между абонентскими устройствами (компьютерами, серверами, принтерами) и устройством связи (коммутатором, маршрутизатором) являются индивидуальными, а между устройствами связи □ разделяемыми, т.к. по ним передается трафик разных абонентских устройств. Для того чтобы по одному кабелю могло параллельно передаваться множество сигналов от разных пользователей используют методы мультиплексирования. Устройство связи в этом случае должно уметь определять направление передачи данных, т.е. выполнять коммутацию (switching).

Методы синхронного и асинхронного мультиплексирования с разделением по времени (TDM) легли в основу двух базовых принципов коммутации в компьютерных сетях:

- коммутации каналов (circuit switching);
- коммутации пакетов (packet switching).

## 5.1.1 Коммутация каналов

Коммутация каналов основана на синхронном TDM. Она предоставляет каждой паре взаимодействующих абонентов последовательность каналов (логических) для монопольного использования.

В сетях с коммутацией каналов абонентам могут быть предоставлены коммутируемые и некоммутируемые каналы.

Каналы связи, передача данных по которым возможна только после установления соединения между взаимодействующими системами, называются коммутируемыми или временными. При этом канал будет существовать только в течение сеанса связи, т.е. времени, требуемого для передачи данных. По окончании сеанса связи соединение разрывается, и канал освобождается.

Коммутация выполняется только в начале сеанса связи. Для этого устройство-инициатор сеанса формирует и посылает ближайшему к ней узлу связи запрос на прокладку через сеть последовательности каналов, которая свяжет его с устройством-адресатом. Преимуществом коммутируемых каналов является небольшая стоимость. К их недостаткам можно отнести большое время ожидания соединения и возможность блокировки («занято»). Классическим примером реализации коммутируемых каналов является телефонная связь, которая подразумевает, что абонент перед началом разговора набирает номер второго абонента, в результате чего последовательное переключение промежуточных коммутаторов позволяет образовать непрерывный канал связи между абонентами. При этом следует учесть, что канал остается занятым все время соединения, т.е. ни одному, ни другому абоненту дозвониться невозможно. После разговора соединение разрывается и канал освобождается.

Каналы между конечными системами, которые доступны для передачи данных на длительное время за счет постоянно существующего соединения с заданными характеристиками, называются выделенными или некоммутируемыми. Выделенные каналы также называются арендуемыми. Эти каналы постоянно готовы к передаче данных. Однако их стоимость выше стоимости коммутируемых каналов.

Напомним, что в синхронном TDM время работы физического канала делится на повторяющиеся циклы, состоящие из кадров TDM. Каждый кадр TDM начинается с синхронизирующей последовательности и включает  $n$  тайм-слотов одинаковой длительности, по одному на каждый логический канал. Тайм-слоты назначаются всем, подключенным к устройству связи входным каналам, нумеруются и располагаются в кадре TDM в строго определенном порядке. Входные каналы по очереди передают блоки данных одинакового размера в течение выделенных им в каждом цикле тайм-слотов для того чтобы устройство связи на другом конце канала могло корректно считать их и направить соответствующим адресатам.

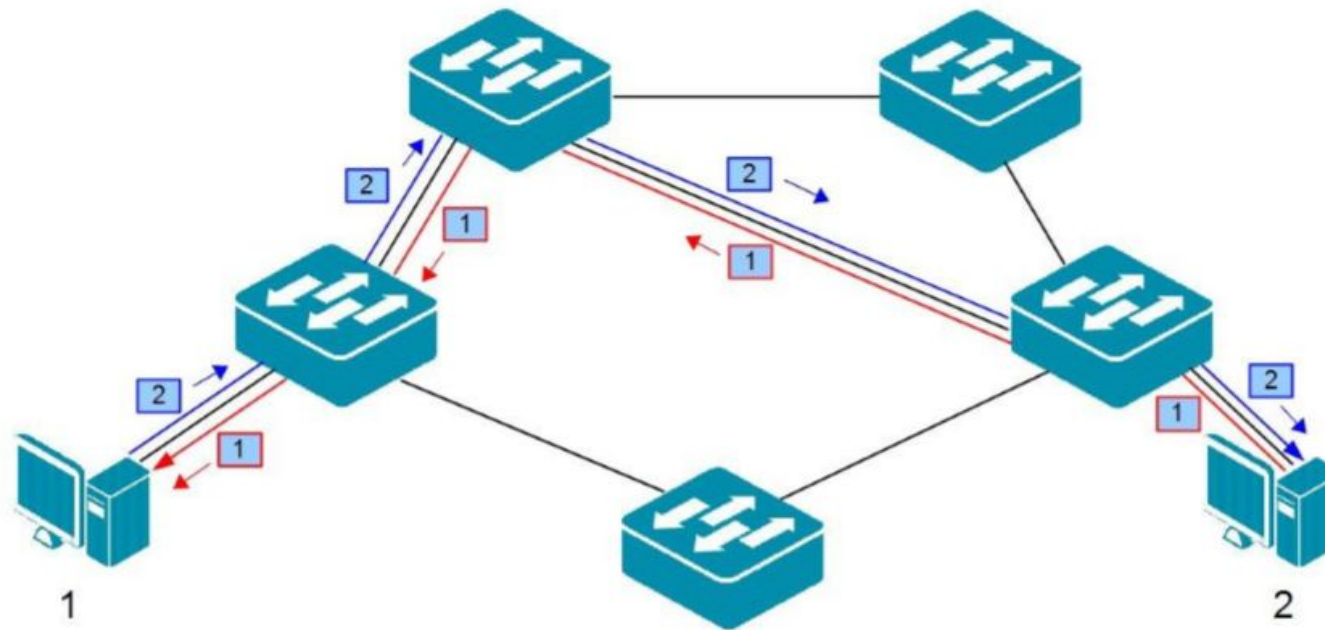


Рис. 5.1 Коммутация каналов

Для этого устройство связи должно хранить в памяти таблицу коммутации, которая определяет отношения между:

- входящим абонентским портом и исходящим магистральным портом/тайм-слотом источника;
- входящим магистральным портом/тайм-слотом и исходящим магистральным портом/ тайм-слотом транзитного устройства связи (если передача ведется через транзитные узлы);
- входящим магистральным портом/тайм-слотом и исходящим абонентским портом приемника.

Т.к. взаимодействующие системы получают в каждом цикле тайм-слот с одним и тем же номером, передаваемые блоки данных появляются на приемной стороне через одинаковые промежутки времени и приходят с одним и тем же временем запаздывания. Поэтому сети с коммутацией каналов хорошо подходят для передачи голосового трафика или трафика видеоконференций.

Одним из основных недостатков сетей с коммутацией каналов является неэффективное использование полосы пропускания. Во время сеанса связи последовательность используемых каналов загружена потоками битов относительно небольшое время. Остальное время каналы простаивают.

## 5.1.2 Коммутация пакетов

Технология коммутации пакетов основана на использовании асинхронного или статистического TDM. Она позволяет конечным системам передавать данные через сеть без монопольного использования каналов, т.е. ни один из каналов не занимается парой абонентских систем даже на время сеанса связи. Передаваемые по сети сообщения разбиваются на небольшие блоки, называемые пакетами (packet). Пакеты передаются по одному и тому же каналу связи по мере их поступления независимо от их источников и адресатов. Взаимодействующие системы занимают канал только на время передачи пакета.

Напомним, что в отличие от синхронного TDM, в асинхронном TDM нет четкой привязки между тайм-слотом и устройством назначения, поэтому в сетях с коммутацией пакетов передаваемые блоки данных необходимо снабжать адресной информацией. Каждый пакет обычно состоит из двух частей – заголовка, содержащего служебные данные, необходимые для управления доставкой пакета (адресную информацию, порядковый номер и т.д.), и данных, подлежащих передаче. Порядок обмена пакетами, их размер, а также конкретный состав их заголовка определяется соответствующим сетевым протоколом, поэтому в отличие от синхронного TDM, асинхронный TDM не является прозрачным для протоколов. В сетях с коммутацией пакетов требуется, чтобы абонентские устройства и устройства связи (коммутаторы, маршрутизаторы) поддерживали одни и те же протоколы.

Термин «пакет» в данном случае дал название технологии и является общим термином, который используется для обозначения передаваемого блока данных. На канальном уровне блок данных называется кадром, на сетевом - пакетом или дейтаграммой, на транспортном - сегментом.

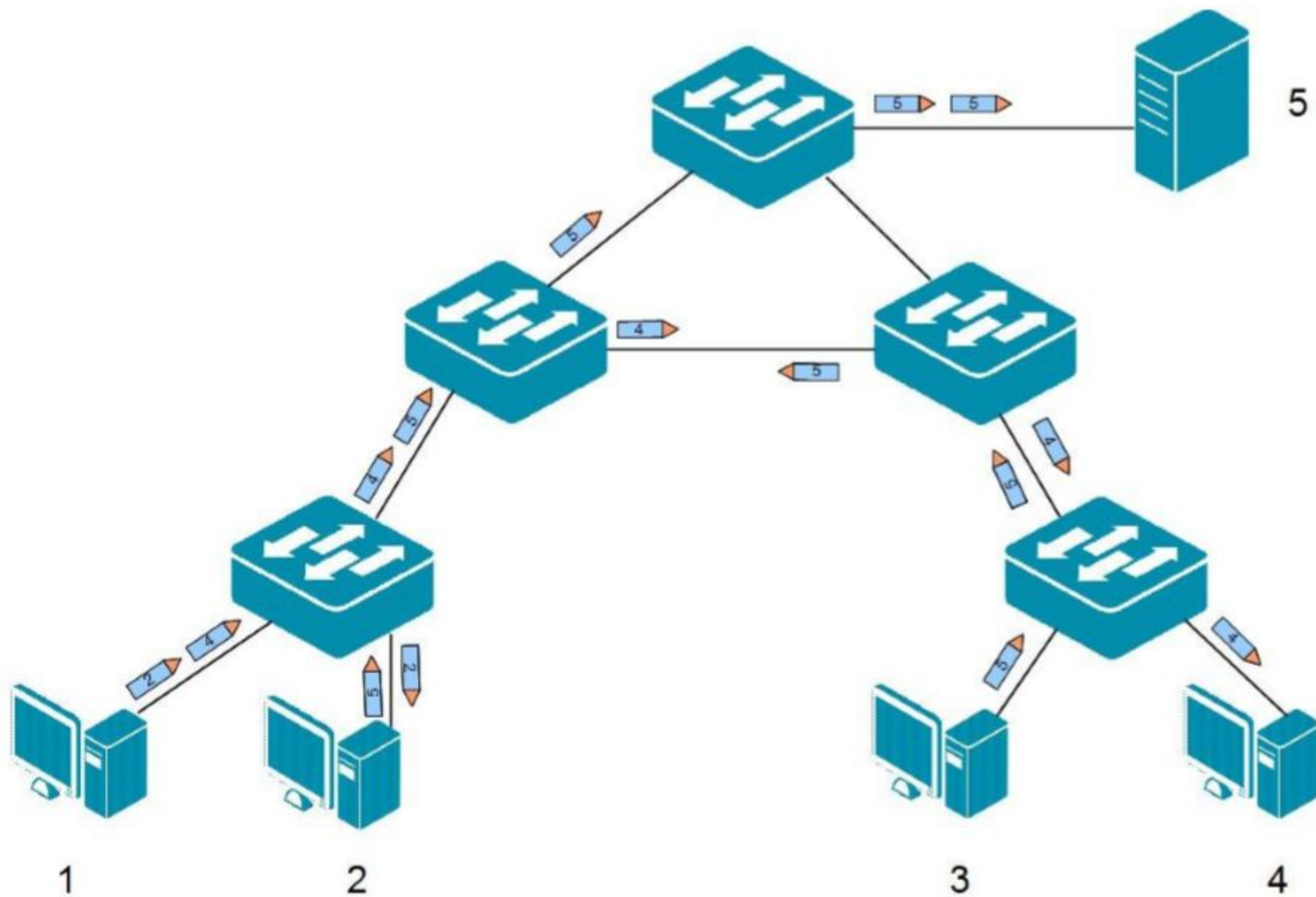


Рис. 5.2 Коммутация пакетов



Для повышения надежности сети с коммутацией пакетов, а также обеспечения распределения нагрузки, ее топология должна обеспечивать несколько путей передачи пакетов между взаимодействующими системами, т.е. между устройствами связи должны быть проложены резервные каналы. Устройства связи на основе адресной информации направляют пакеты по тем последовательностям каналов, которые в итоге позволяют достичь устройства-адресата.

Устройство-адресат собирает поступившие пакеты в нужном порядке и формирует сообщение. Устройства связи пакетной сети (коммутаторы, маршрутизаторы) отличаются от устройств сети с коммутацией каналов тем, что имеют внутреннюю буферную память. Она используется для временного хранения поступивших пакетов, когда их невозможно немедленно передать на выходной порт. В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта и ожидает когда дойдет его очередь на передачу. Для предотвращения переполнения буферов коммутаторов или маршрутизаторов используются специальные методы управления потоком (flow control).

Обычно буферизированные пакеты передаются через выходной порт устройства в том порядке, в котором они поступили, т.е. «первым пришел, первым ушел» (FIFO, First Input, First Output). Однако можно применять приоритеты, обеспечивая качество обслуживания (Quality of Service, QoS). В этом случае пакеты с более высоким приоритетом будут передаваться первыми.

Прежде чем принять решение о передаче пакета, устройство связи получает и анализирует его содержимое. В современных устройствах используются следующие методы коммутации, определяющие их поведение при получении пакета:

- коммутация с промежуточным хранением (store-and-forward);
- коммутация без буферизации (cut-through).

Метод коммутации с промежуточным хранением исторически появился первым. Он заключается в том, что принятый пакет, прежде чем он будет передан, полностью копируется в буфер устройства и проверяется на наличие ошибок. Если имеются ошибки, пакет отбрасывается. Если ошибок нет, устройство связи с помощью специальной таблицы определяет выходной порт, через который пакет будет передан.

При коммутации без буферизации устройство связи копирует в буфер только адрес назначения и сразу начинает передавать пакет (предварительно определив выходной порт с помощью специальной таблицы), не дожидаясь его полного приема. Устройство связи при работе в этом режиме не выполняет проверку пакета на наличие ошибок, но коммутация выполняется быстрее, что уменьшает задержку передачи блоков данных (особенно больших). Однако в некоторых случаях, метод cut-through теряет свои преимущества в скорости передачи. Это может произойти, например, при перегрузке сети (переполнении приемных буферов сетевых устройств).

Коммутация пакетов основана на таблицах, которые хранятся в памяти и содержат информацию, позволяющую определить путь до места назначения пакета.

В зависимости от используемой технологии можно выделить два типа таблиц:

- таблицы коммутации (Forwarding DataBase, FDB);
- таблицы маршрутизации (Routing table). Таблицы маршрутизации хранятся на маршрутизаторах (коммутаторах 3 уровня) и позволяют им принимать решение о том, куда передавать пакет на основе его адреса назначения сетевого уровня. Этот процесс называется маршрутизацией (routing) и выполняется он на сетевом уровне модели OSI. Маршрутизация позволяет передавать данные узлам, находящимся в разных локальных сетях или подсетях одной локальной сети. Подробнее маршрутизация будет описана в третьей части курса.

Коммутаторы локальных сетей принимают решение о том, в каком направлении передавать кадр на основе таблицы коммутации. Для этого они анализируют адрес канального уровня, содержащийся в кадре.

## 5.2 Сетевые протоколы и методы коммутации

Сетевые протоколы делятся на две категории по типу установления соединения:

- Протоколы с установлением соединения (Connection-Oriented Protocol): эти протоколы требуют установления логического соединения между двумя устройствами до начала передачи данных. Это обычно делается путем выполнения набора правил, которые определяют, как соединения должно инициироваться, управляться и завершаться. Обычно одно из устройств отправляет другому запрос на установление соединения. После получения ответа на запрос устройства начинают обмениваться управляющей информацией и определять параметры соединения. В случае успешного завершения этой фазы, между устройствами начинается передача данных. Когда данные будут переданы, устройства должны завершить соединение.
- Протоколы без установления соединения (Connectionless Protocol): эти протоколы не устанавливают соединение между устройствами. Как только у устройства появляются данные для передачи, оно сразу начинает их передавать.

Исходя из этой классификации, можно сделать вывод, что протоколы с установлением соединения используются только в сетях с коммутацией каналов, а протоколы без установления соединения в сетях с коммутацией пакетов. Этот вывод ошибочен. Несмотря на то, что сети с коммутацией каналов основываются на установлении соединения между взаимодействующими устройствами, в них используются не только протоколы с установлением соединения. Протоколы с установлением соединения обычно используются на верхних уровнях модели OSI в сетях с коммутацией пакетов и позволяют выполнять приложения, которые требуют установления логического соединения.

В стеке протоколов TCP/IP на транспортном уровне реализованы два важных протокола: TCP и UDP. Протокол TCP (Transmission Control Protocol) обеспечивает надежную доставку сегментов по сети за счет установления логического соединения между отправителем и получателем данных. Протокол UDP (User Datagram Protocol) не устанавливает соединение между отправителем и получателем сообщения и не гарантирует надежную доставку данных. Протокол TCP используется для приложений, которым требуется установка логического соединения, например, FTP (File Transfer Protocol) или Telnet. Протокол UDP используется приложениями, которым не требуется установка соединения, например, DNS (Domain Name System), IPTV, различные сетевые игры.

Однако, исходя из уровневой модели, не стоит думать, что протоколы с установлением соединения могут быть реализованы только поверх протоколов с установлением соединения и наоборот, протоколы без установления соединения могут быть реализованы только поверх протоколов без установления соединения.

На каждом уровне модели OSI могут быть реализованы как протоколы с установлением соединения, так и без установления соединения, поэтому возможны комбинации протоколов. Протокол с установлением соединения может быть реализован на основе протокола без установления соединения. Например, протокол TCP на сетевом уровне использует сервисы протокола IP, который является протоколом без установления соединения. Или протокол без установления соединения может быть реализован поверх протокола с установлением соединения на канальном уровне. Например, протокол IP поверх протокола ATM (Asynchronous Transfer Mode), который создает виртуальные каналы между отправителем и получателем перед передачей данных.

## 5.3 Протоколы канального уровня

Протоколы канального уровня определяют набор правил, позволяющих упорядочивать взаимодействие узлов, подключенных к одному сегменту сети. Данные на канальном уровне рассматриваются как последовательный поток битов, и перед передачей по физическим каналам этот поток, в соответствии с принципом коммутации пакетов, разделяется на небольшие части, каждая из которых снабжается заголовком, содержащим некоторую служебную информацию, т.е. формируется кадр (frame). Структура заголовка кадра зависит от набора задач, которые решает данный конкретный протокол. Протоколы канального уровня можно разделить на две группы:

- протоколы для соединений типа «точка-точка»;
- протоколы для сетей сложных топологий, к которым относятся локальные сети.

## 5.3.1 Структура кадра данных

Состав заголовка кадра зависит от многих факторов, определяемых набором функций, которые выполняет протокол. Можно выделить ряд информационных полей, которые обычно присутствуют в заголовке кадра.

1. Специальные поля, предназначенные для определения границ кадров. Поскольку в физической среде могут постоянно проходить какие-либо сигналы, то приемник должен уметь разбираться в том, когда начинается передача кадра и когда она заканчивается.
2. Поля, содержащие адрес отправителя и адрес получателя кадра.
3. Поле, предназначенное для определения протокола сетевого уровня, которому необходимо передать данные. Так как на одном компьютере могут функционировать программные модули различных протоколов сетевого уровня, то протоколы канального уровня должны уметь распределять данные по этим протоколам.
4. Контрольная сумма (или специальный код) содержимого кадра, которая позволяет принимающей стороне определить наличие ошибок в принятых данных. Для большинства протоколов канального уровня существует ограничение на максимально допустимый объем данных, передаваемых в одном кадре. Это ограничение вызвано различными техническими условиями. Характеристика, используемая для определения максимального размера блока данных (в байтах), который может быть передан на канальном уровне, называется MTU (Maximum Transfer Unit, максимальная единица передачи данных). Значение MTU может быть определено стандартом (например, для Ethernet), либо выбираться в момент установки соединения (обычно в случае подключений «точка-точка»).

Поле, определяющее начало кадра	Адрес отправителя и получателя	Информация о протоколе сетевого уровня	Данные (Data)	Контрольная сумма	Поле, определяющее конец кадра
---------------------------------	--------------------------------	--	---------------	-------------------	--------------------------------

Рис. 5.3 Структура кадра данных

## 5.4 Стандарты IEEE 802

Напомним, что локальная сеть (Local Area Network, LAN) – группа узлов, связанных друг с другом и расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Локальные сети были изобретены в 70-х годах 20 века. Первоначально среда передачи локальных сетей была общей (shared media). Все рабочие станции использовали для передачи одну и ту же среду и имели равные права доступа к ней. Когда одна из станций отправляла данные, их получали все рабочие станции, подключенные к этой сети.

Широковещательный характер передачи данных в локальной сети требовал управления доступом и адресации рабочих станций. В результате чего появились такие термины как «Media Access Control» (MAC, управление доступом к среде) и «MAC-адрес» (уникальный, но не структурированный адрес). Изначально не было необходимости в маршрутизации, поэтому для передачи данных в локальной сети было достаточно функционала 1 и 2 уровней модели OSI.

В 1980 г. в IEEE был организован комитет по стандартизации протоколов локальных сетей (IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, LMSC), в результате работы которого было принято семейство стандартов 802.x, которые содержат рекомендации по проектированию канального и физического уровней локальных сетей (LAN) и сетей мегаполисов (MAN).

За разработку каждого стандарта отвечает отдельная рабочая группа комитета. В настоящее время в комитете IEEE 802 активными являются следующие группы:

- 802.1 Higher Layer LAN Protocols
- 802.3 Ethernet
- 802.11 Wireless LAN
- 802.15 Wireless Personal Area Network (WPAN)
- 802.16 Broadband Wireless Access
- 802.18 Radio Regulatory TAG
- 802.19 Wireless Coexistence
- 802.21 Media Independent Handover Services
- 802.22 Wireless Regional Area Networks
- SG ECSG Smart Grid Executive Committee Study Group

Распущены группы:

- 802.2 Logical Link Control
- 802.4 Token Bus
- 802.5 Token Ring



Семейство стандартов IEEE 802 включает стандарты для сетей Ethernet, Token Ring, беспроводных сетей Wi-Fi, управления, безопасности, создания мостовых соединений.

Подуровень LLC обеспечивает взаимодействие с сетевым уровнем и предоставляет сервисы с установлением и без установления соединения. Этот подуровень не зависит от метода доступа к среде передачи.

Подуровень MAC описывает протоколы, реализующие различные методы доступа к среде передачи, отвечает за физическую адресацию, формирование кадров и обнаружение ошибок.

Физический уровень определяет электрические/оптические спецификации, механические интерфейсы, кодирование и синхронизацию битов и зависит от протокола подуровня MAC.

Рабочая группа IEEE 802.1 определяет стандарты, относящиеся к архитектуре сетей LAN/MAN, их взаимодействию, сетевому управлению и протоколам, расположенным выше подуровней MAC и LLC. Например, для сетей Ethernet, IEEE 802.1 определяет дополнительные функции, такие как мостовые соединения и Spanning Tree Protocol, включенные в стандарт IEEE 802.1D, виртуальные локальные сети (VLAN), описанные в стандарте IEEE 802.1Q, аутентификацию, определяемую стандартом IEEE 802.1X и другие.



Рис. 5.4 Уровневая модель IEEE 802

## 5.4.1 Протокол LLC

Протокол LLC определен стандартом IEEE 802.2 и занимает промежуточное положение между протоколами сетевого уровня и протоколами подуровня MAC. LLC предоставляет сервисы протоколам сетевого уровня и взаимодействует с множеством протоколов MAC-подуровня (семейством протоколов Ethernet, Wi-Fi и др.). Он обеспечивает нужное качество транспортной службы для технологий локальных сетей, передавая кадры либо без установления соединения и подтверждения между узлами сети, либо с установлением соединения и подтверждением приема кадров. Протокол LLC участвует в процессе инкапсуляции. Он помещает пакет сетевого уровня в свой кадр и добавляет адресную информацию спецификации IEEE 802.2:

- адрес точки входа сервиса назначения (Destination Service Access Point, DSAP) – указывает протокол верхнего уровня, которому надо передать данные для обработки;
- адрес точки входа сервиса источника (Source Service Access Point, SSAP) – указывает протокол верхнего уровня, данные которого пересылаются в кадре.

В качестве примера можно привести следующие значения SAP:

- 0x42 – Spanning Tree Protocol (IEEE 802.1D);
- 0xAA – SNAP;
- 0xE0 – Novell;
- 0x06 – IP.

Поле управления служит для определения типа сервиса, используемого протоколами сетевого уровня: с установлением соединения и подтверждением приема; с установлением соединения и без подтверждения приема; без установления соединения и подтверждения приема; без установления соединения и с подтверждением приема. Кадр LLC помещается в кадр MAC-подуровня, при этом флаги удаляются.



Рис. 5.5 Формат кадра LLC

Следует отметить, что реализация протокола LLC зависит от конкретного стека протоколов. В современных сетях функции протокола LLC обычно выполняются протоколами транспортного уровня, такими как TCP и UDP. В настоящее время протокол LLC служит для идентификации протоколов верхнего уровня, пакеты которых пересылаются с помощью кадров протоколов MAC-подуровня семейства IEEE 802.

## 5.4.2 Подуровень MAC

Как было сказано ранее, подуровень MAC описывает протоколы, реализующие различные методы доступа к разделяемой среде, отвечает за физическую адресацию, формирование кадров и обнаружение ошибок. На MAC-подуровне реализованы следующие протоколы локальных и городских сетей, которые получили широкое распространение:

- 802.3 – семейство протоколов Ethernet;
- 802.11 – семейство протоколов беспроводных локальных сетей;
- 802.15 – беспроводные персональные сети (WPAN), Bluetooth;
- 802.16 – беспроводная городская сеть, WiMAX.

Каждый протокол LAN/MAN семейства IEEE 802 содержит в кадре заголовок подуровня LLC.

## 5.4.3 Понятие MAC-адреса

Для обеспечения адресации узлов в локальной сети в заголовке кадров должны присутствовать адрес отправителя и адрес получателя. Большинство протоколов канального уровня семейства IEEE 802 для идентификации устройств используют физический адрес или MAC-адрес (MAC address).

MAC-адрес (Media Access Control) — это уникальный идентификатор, который присваивается каждому сетевому устройству во время изготовления. Он позволяет уникально идентифицировать каждый узел сети и доставлять данные только этому узлу.

Стандарты IEEE определяют MAC-адрес, длиной 48 бит (6 октетов).



Рис. 5.6 Формат MAC-адреса

MAC-адрес можно разделить на две части. В первой части указывается уникальный идентификатор производителя оборудования (Organizationally Unique Identifier, OUI). Этот уникальный идентификатор присваивается производителю институтом IEEE. Старшие 24 бита MAC-адреса назначаются непосредственно производителем оборудования. Первый бит MAC-адреса (I/G) указывает, является ли адрес индивидуальным или групповым:

- 0 (индивидуальный) – адрес, ассоциированный с определенным сетевым устройством;
- 1 (групповой) – адрес, ассоциированный с несколькими или всеми узлами данной сети.

Существует два вида групповых адресов:

- многоадресный или групповой (multicast) – адрес, ассоциированный с группой узлов сети;
- широковещательный (broadcast) – адрес, ассоциированный со всеми узлами сети. Его значение – 0xFF-FF-FF-FF-FF-FF.

Второй бит MAC-адреса (U/L) указывает, является ли MAC-адрес глобально или локально администрируемым:

- 0 (глобально администрируемый MAC-адрес устройства) – он глобально уникален (администрируется IEEE) и обычно «защит» в аппаратуру;
- 1 (локально администрируемый MAC-адрес) – он выбирается произвольно и может не содержать информации о производителе данного оборудования (OUI). Некоторые производители сетевых адаптеров поддерживают возможность изменять MAC-адрес устройства.

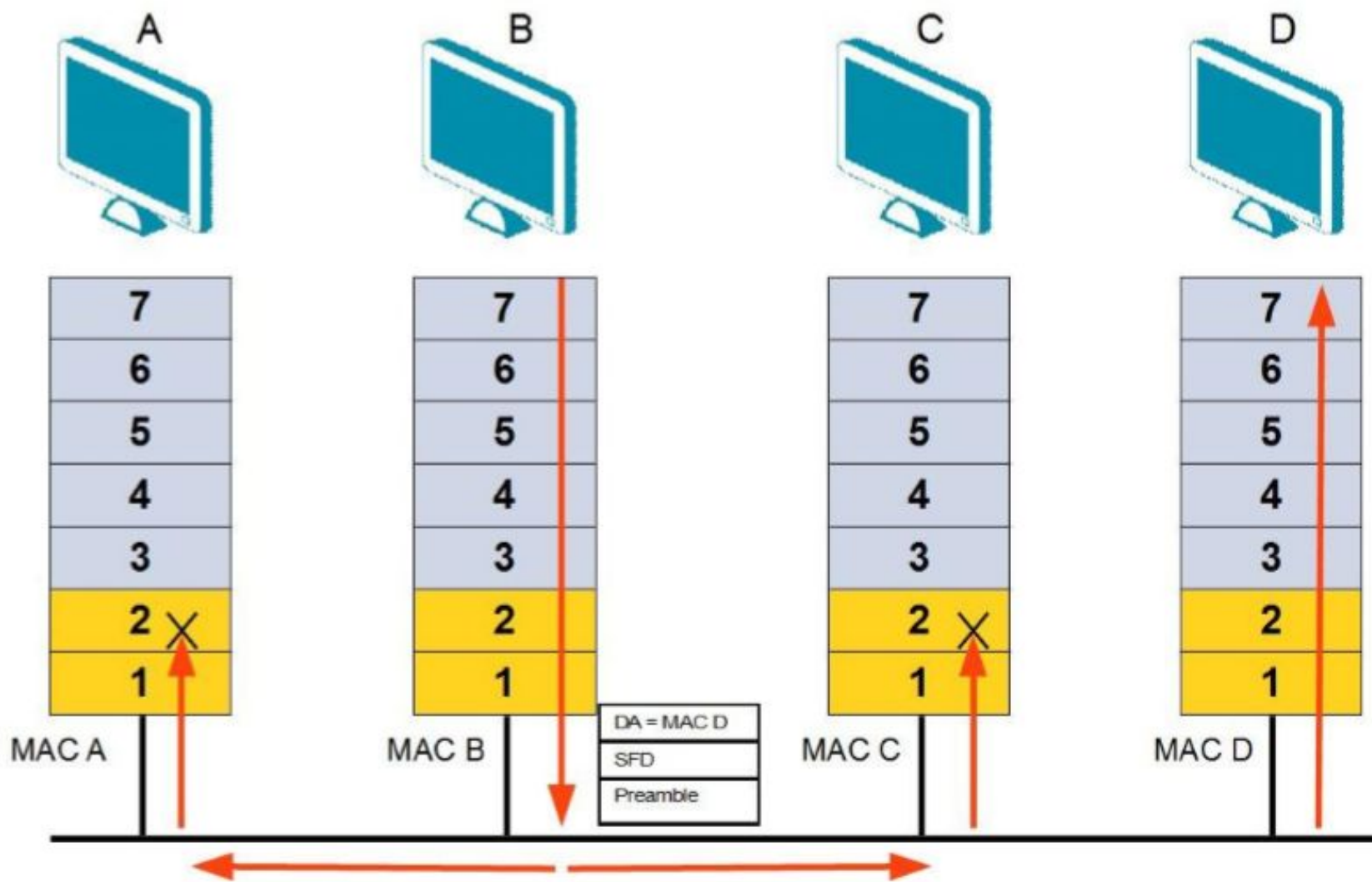


Рис. 5.7 Передача с использованием индивидуального MAC-адреса

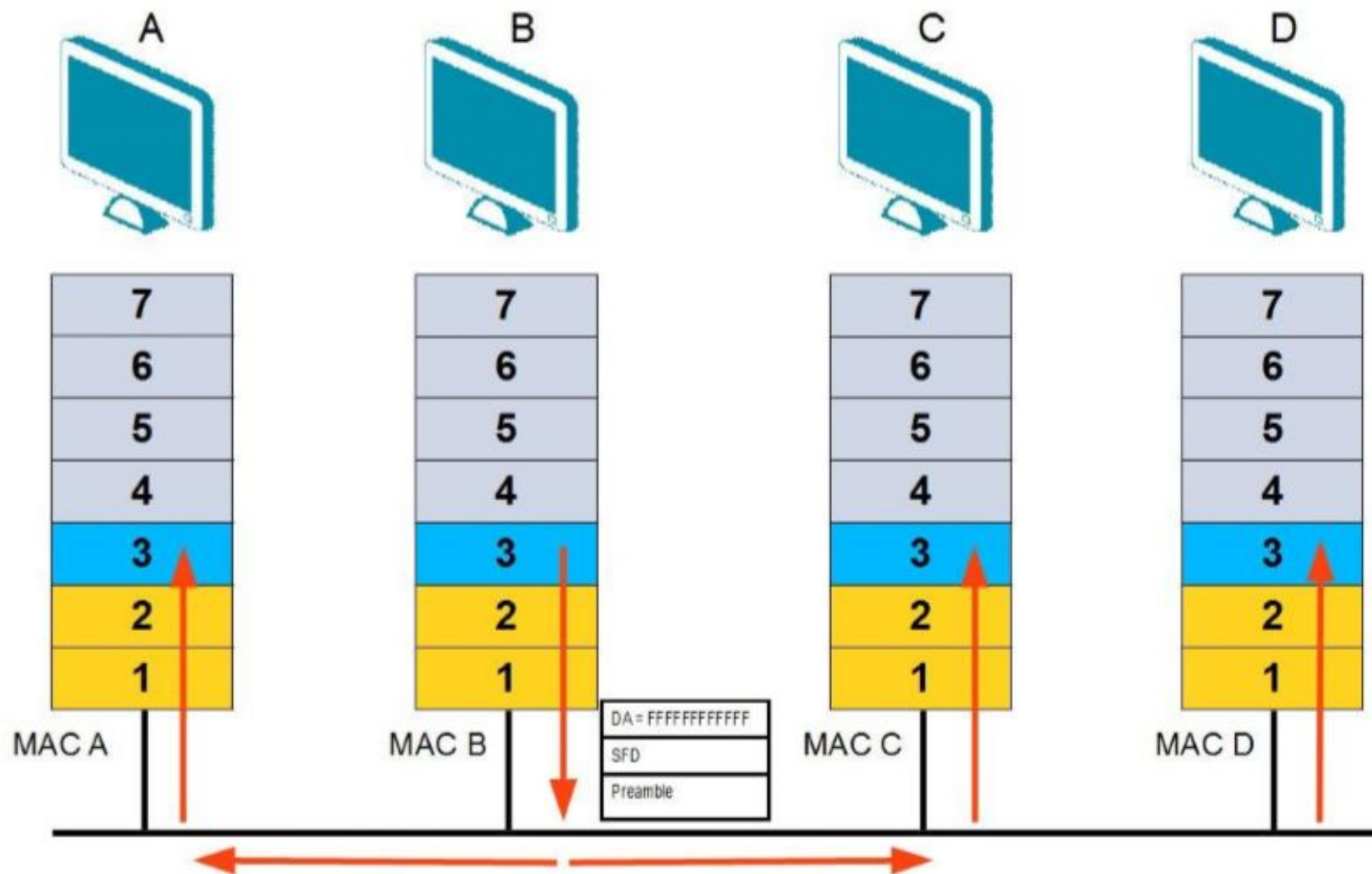


Рис. 5.8 Передача с использованием широковещательного MAC-адреса



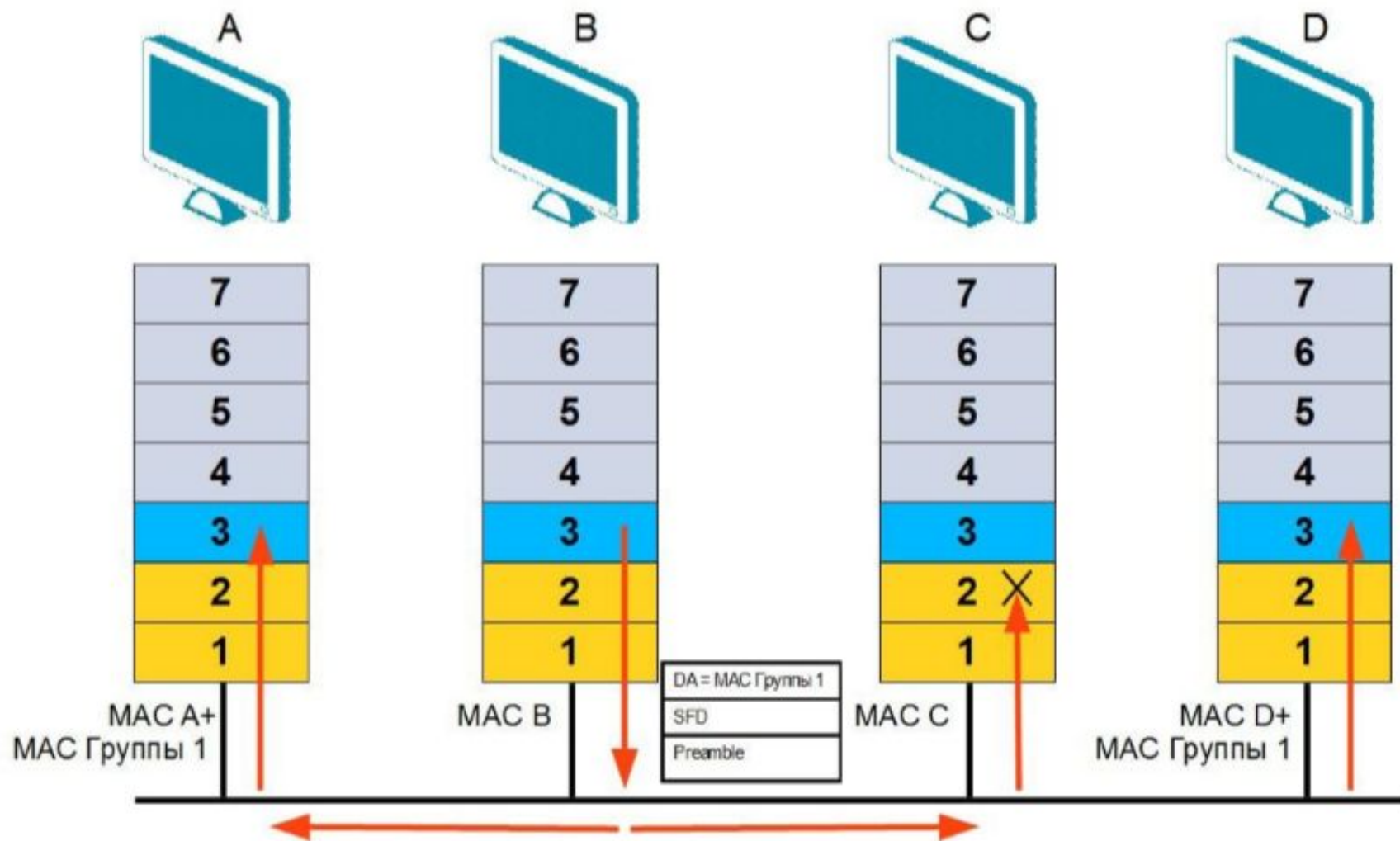


Рис. 5.9 Передача с использованием группового MAC-адреса

## 5.4.4 Сетевые адаптеры

Для подключения компьютера к сети и взаимодействия с другими сетевыми устройствами используется сетевой адаптер (Network Interface Card, NIC). Сетевой адаптер, также известный как сетевая интерфейсная карта, сетевая карта, адаптер Ethernet, представляет собой периферийное устройство компьютера. В большинство современных компьютеров сетевые адаптеры интегрированы в материнскую плату.

По конструкторской реализации сетевые адаптеры делятся на:

- интегрированные в материнскую плату компьютера или ноутбука;
- внутренние, представляющие собой отдельную печатную плату, устанавливаемую в слот PCI, PCI Express, PCIe компьютера;
- внешние, подключающиеся к компьютеру или ноутбуку через интерфейс USB или CardBus (PCMCIA).

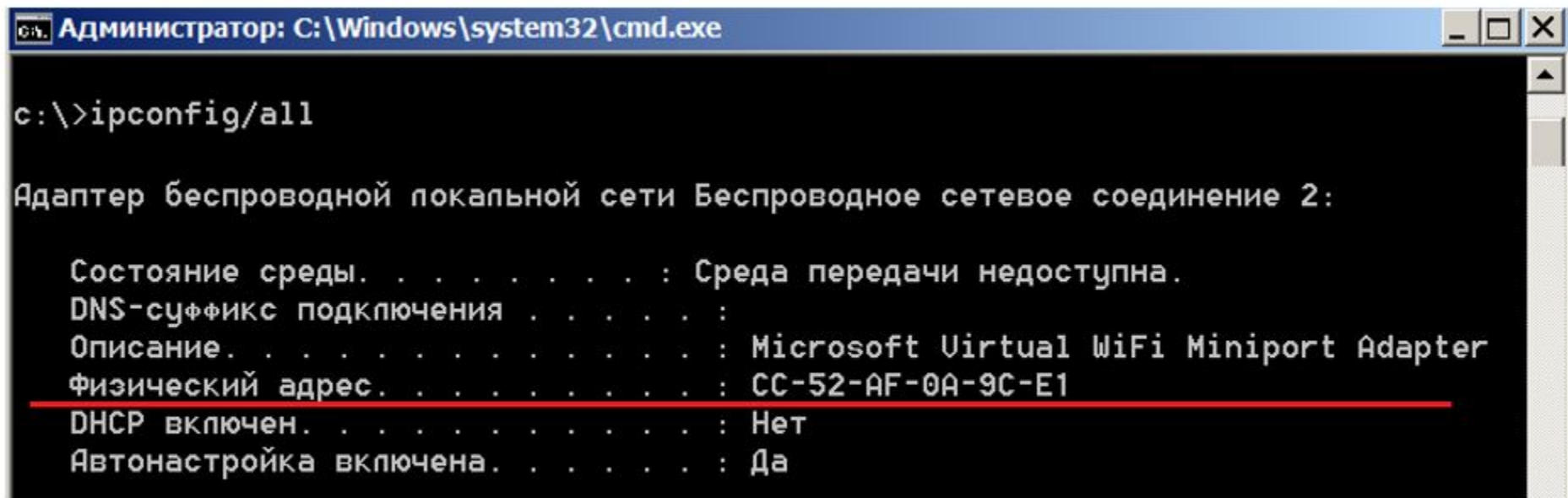
Для корректной работы сетевого адаптера на компьютере требуется установить его драйвер.

**Драйвер** – специальное программное обеспечение, позволяющее операционной системе работать с устройством.

Обычно драйвер входит в комплект поставки адаптера. Для устройств компании DLink драйверы также можно бесплатно загрузить с FTP-сервера <ftp.dlink.ru>.

Сетевой адаптер и его драйвер реализуют на компьютере функции физического и канального уровней модели OSI (точнее подуровня MAC в соответствии со спецификацией IEEE 802) и выполняют две основные функции: прием и передачу кадров. Адаптер хранит уникальный 48-битный физический адрес (MAC-адрес), который позволяет однозначно идентифицировать компьютер в данном сегменте сети. Для того чтобы узнать MAC-адрес сетевого адаптера компьютера в ОС Windows используется следующая команда: `ipconfig/all`

Остальные уровни модели OSI (от прикладного до сетевого) реализуются операционной системой, поэтому компьютер работает на всех семи уровнях модели OSI. В зависимости от того, какой протокол на канальном уровне реализует адаптер, они делятся на Ethernet-адаптеры, Wi-Fi-адаптеры, Bluetooth-адаптеры и т.д.



```
Администратор: C:\Windows\system32\cmd.exe
c:\>ipconfig/all

Адаптер беспроводной локальной сети Беспроводное сетевое соединение 2:

Состояние среды. . . . . : Среда передачи недоступна.
DNS-суффикс подключения . . . . . :
Описание. . . . . : Microsoft Virtual WiFi Miniport Adapter
Физический адрес. . . . . : CC-52-AF-0A-9C-E1
-----
DHCP включен. . . . . : Нет
Автонастройка включена. . . . . : Да
```

Рис. 5.10 Результат выполнения команды ipconfig

В сетевых адаптерах, предназначенных для подключения компьютеров к проводным сетям используются следующие, наиболее распространенные в настоящее время типы разъемов:

- медный 8P8C (ошибочное, но общепринятое название RJ-45) для подключения кабеля на основе витой пары;
- оптический разъем (LC, SC, ST, FC, MT-RJ) для подключения оптического кабеля.

В зависимости от сложности сетевого адаптера он может поддерживать различные функции, доступные для конфигурирования. Например, сетевой адаптер DGE-528T поддерживает такие функции как: Wake-On-LAN (WOL), позволяющую удаленно включать питание выключенного компьютера; технологию VLAN (Virtual LAN), позволяющую сделать компьютер частью виртуальной локальной сети, для повышения его безопасности; функцию управления потоком IEEE 802.3x, позволяющую предотвратить потерю данных в случае переполнения буфера принимающего устройства.

Чтобы создать простейшую домашнюю сеть, т.е. объединить между собой два компьютера достаточно наличия в них совместимых сетевых адаптеров. В случае использования технологии Ethernet, сетевые адаптеры компьютеров соединяются между собой кабелем соответствующего типа (чаще всего на основе витой пары). При использовании беспроводного соединения в сеть можно объединить более двух компьютеров, для этого их адаптеры надо переключить в режим Ad-Нос. Правда, чем больше компьютеров будет объединено в такую беспроводную сеть, тем меньше будет скорость передачи данных.



## 5.5.1 Технология Token Ring

За годы развития сетевых технологий было разработано много сетевых архитектур. Многие из них уже вышли из употребления, а другие, такие как Ethernet, широко используются и постоянно развиваются. Для начала кратко рассмотрим технологии канального уровня Token Ring и FDDI, которые в настоящее время применяются довольно редко.

### Технология Token Ring

Эта технология канального уровня была разработана компанией IBM в начале 1980 гг., а затем стандартизирована IEEE в проекте 802, как спецификация IEEE 802.5. Сети Token Ring относятся к сетям с маркерным методом управления доступом, в которых отсутствует конкуренция за доступ к среде передачи. Логически сеть Token Ring представляет собой кольцо, а физически - звезду. Сети Token Ring работают с двумя битовыми скоростями  $\square$  4 и 16 Мбит/с. Смешение станций, работающих на различных скоростях, в одном кольце не допускается.

Для объединения компьютеров в сетях Token Ring используются концентраторы - т.н. устройства многостанционного доступа (MSAU, MultiStation Access Unit). Рабочие станции отдельными кабелями подключаются к MSAU по топологии «звезда». Технология Token Ring позволяет использовать для соединения экранированную или неэкранированную витую пару.

Максимальная длина сегмента при использовании неэкранированной витой пары (UTP) – 150 м (при работе на скорости 4 Мбит/с) или 60 м (при работе на скорости 16 Мбит/с), при использовании экранированной витой пары (STP) – расстояние передачи увеличивается до 300 м (для 4 Мбит/с) или 100 м (для 16 Мбит/с).

В кольце на основе неэкранированных кабелей может работать не более 72 станций, в кольце на основе экранированных кабелей – максимум 260 станций.

В сетях с маркерным методом доступа право на доступ к среде передается циклически от станции к станции по логическому кольцу. Кольцо образуется отрезками кабеля, соединяющими все рабочие станции, и рассматривается как разделяемая среда передачи. Для обеспечения доступа станций к физической среде по кольцу циркулирует кадр специального формата и назначения – маркер или токен (token).

Маркер представляет собой определенную последовательность битов и одновременно может быть использован только одной рабочей станцией или узлом. Получив маркер, рабочая станция анализирует его, при необходимости модифицирует, а при отсутствии у нее данных для передачи обеспечивает его продвижение к следующей станции. Станция, которая имеет данные для передачи, при получении маркера, извлекает его из кольца, что дает ей право доступа к физической среде и передачи своих данных. Затем эта станция преобразует маркер в кадр установленного формата и начинает передавать его по кольцу. Кадр снабжен адресом назначения и адресом источника (каждая рабочая станция имеет уникальный 48битный MAC-адрес).

Передаваемые данные проходят по кольцу всегда в одном направлении от одной станции к другой, поэтому их получают все рабочие станции сети. Каждая станция проверяет, не ей ли предназначен кадр. Если нет, то станция выступает в роли ретранслятора и передает полученный кадр следующей станции сети. Когда станция - адресат распознает кадр, она копирует его в свою память, затем модифицирует некоторые биты в формате кадра (признак подтверждения приема) и возвращает его по кольцу обратно станции-отправителю. Последняя изымает этот кадр из кольца и проверяет, нормально ли принято сообщение. После этого она выдает новый маркер для обеспечения возможности другим станциям сети передавать данные.

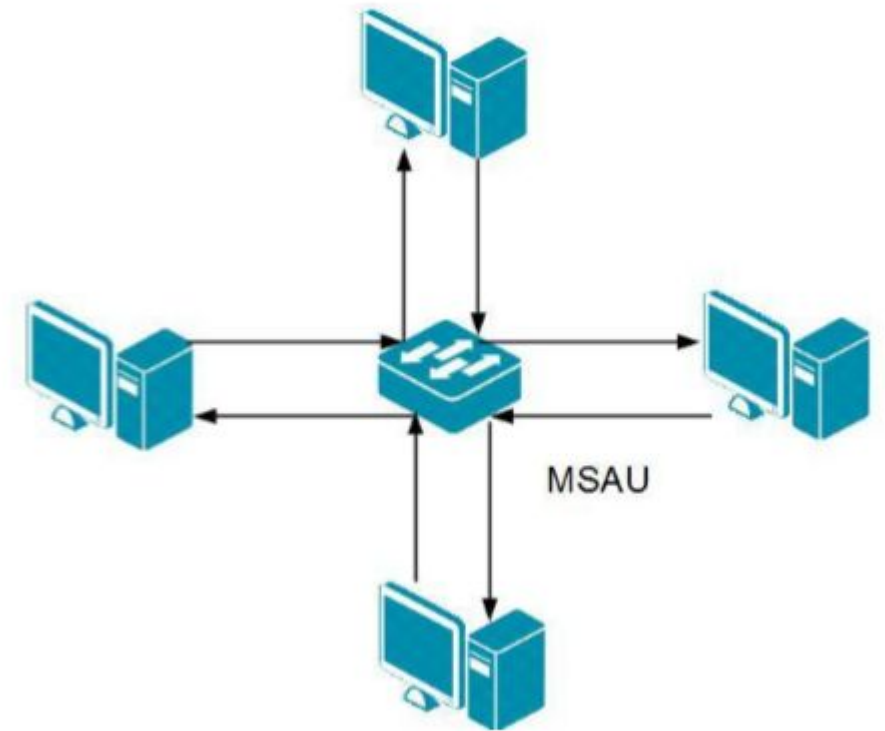


Рис. 5.12 Сеть Token Ring

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.

Сети Token Ring, работающие со скоростью 16 Мбит/с, имеют отличный от сетей со скоростью 4 Мбит/с 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. Остальные станции в это время только ретранслируют чужие кадры, так что принцип деления кольца во времени сохраняется, ускоряется только процедура передачи владения кольцом.

Технология Token Ring обладает свойствами отказоустойчивости. Для контроля работы сети и обработки ошибок в сетях Token Ring одна из станций выполняет роль активного монитора, который изучает кадры, циркулирующие по сети, удаляет все дефектные кадры, выдает новый маркер и обеспечивает правильную работу сети.

К достоинствам технологии Token Ring можно отнести:

- простоту расчета задержки передачи между любыми двумя устройствами, что особенно важно в автоматизированных системах управления, требующих обработки процессов в реальном режиме времени;
- отсутствие коллизий.
- высокая стоимость, низкая совместимость оборудования;
- невысокая скорость передачи.

## 5.5.2 Технология FDDI

Стандарт FDDI (Fiber Distributed Data Interface - волоконно-оптический интерфейс передачи данных), разработанный в середине 80-х годов комитетом X3T9.5 ANSI, определяет кольцевую сеть с маркерным доступом и скоростью передачи до 100 Мбит/с на основе волоконно-оптического кабеля, способною охватить очень большую площадь (до 100 км).

Стандарт FDDI во многом основывается на технологии Token Ring (стандарт IEEE 802.5) и обеспечивает совместимость с ней, т.к. у обеих технологий одинаковые форматы кадров. Однако у этих технологий имеются существенные различия.

Стек FDDI определяет физический уровень и подуровень доступа к среде передачи (MAC). Физический уровень разбит на протокол физического уровня (Physical Layer Protocol, PHY), который отвечает за работу схем кодирования данных, и на подуровень физического уровня, зависящий от среды передачи (Physical Medium Dependent, PMD), на котором реализованы спецификации передачи. Особенностью стека FDDI является наличие уровня управления станциями (Station Management, SMT). Он отвечает за удаление и подключение рабочих станций, обнаружение и устранение неисправностей, сбор статистической информации о работе сети.



Рис. 5.13 Стек FDDI



Сети FDDI характеризуются встроенной избыточностью, что обеспечивает их высокую отказоустойчивость. Сеть FDDI строится на основе двух колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Данные в кольцах циркулируют в разных направлениях. Одно кольцо считается основным (первичным). По нему данные передаются при нормальной работе. Второе кольцо (вторичное) □ вспомогательное, по нему данные передаются в случае обрыва в первом кольце. В случае какого-либо вида отказа, когда часть первого кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ узла), сеть выполняет «свертывание» колец □ объединяет первое кольцо со вторым, образуя единое кольцо.

Основными компонентами сети FDDI являются станции и концентраторы. Для подключения станций и концентраторов к сети может быть использован один из двух способов:

- Одиночное подключение (Single Attachment, SA) - подключение только к первичному кольцу. Станция и концентратор, подключенные данным способом, называются соответственно станцией одиночного подключения (Single Attachment Station, SAS) и концентратором одиночного подключения (Single Attachment Concentrator, SAC).
- Двойное подключение (Dual Attachment, DA) - одновременное подключение к первичному и вторичному кольцам. Станция и концентратор, подключенные таким способом, называются соответственно станцией двойного подключения (Dual Attachment Station, DAS) и концентратором двойного подключения (Dual Attachment Concentrator, DAC).

В качестве среды передачи в сетях FDDI используется одномодовый и многомодовый волоконно-оптический кабель. Максимальное количество станций в кольце – 500. Максимальное расстояние между узлами может составлять 2 км при использовании многомодового кабеля и 20 км – при использовании одномодового. Максимальная протяженность сети – 100 км. К преимуществам технологии FDDI можно отнести высокую отказоустойчивость. К недостаткам – двойной расход кабеля. В настоящее время эта технология считается устаревшей.

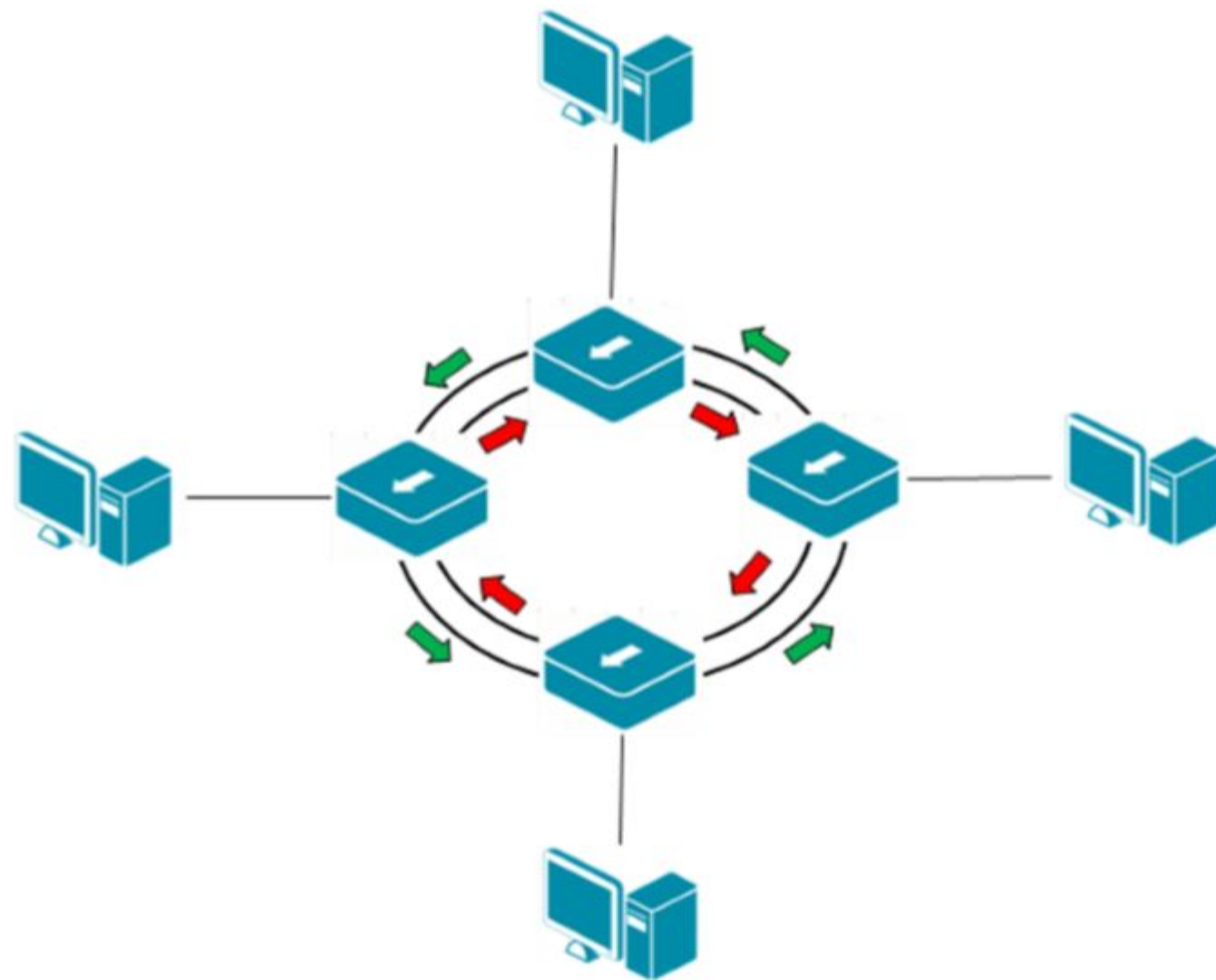


Рис. 5.14 Сеть FDDI