

# Информационные сети

Лекция 4.

Протоколы сетевого уровня  
модели OSI.

Протоколы ARP, RARP, ICMP.

# Протокол ARP

- Для осуществления передачи между хостами в сегменте сети необходимо, чтобы было определено соответствие между физическим и сетевым адресом хоста.
- Для решения вопросов определения MAC-адреса искомого устройства по известному IP-адресу применяется протокол преобразования адресов (address resolution protocol, ARP – **RFC 826**).

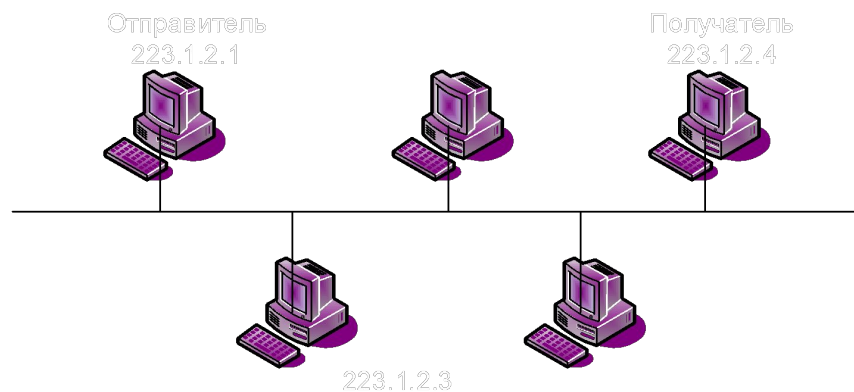
# ARP-таблицы

- *ARP* используется для определения соответствия IP-адреса адресу Ethernet.
- Протокол используется в локальных сетях.
  - Соответствие определяется только в момент отправления IP-пакетов.
- Отображение адресов осуществляется путем поиска в ARP-таблице.
- Таблица соответствия необходима, так как физические и сетевые адреса выбираются независимо и нет какого-либо алгоритма для их вычисления.
  - Если машина перемещается в другой сегмент сети, то ее ARP-таблица должна быть изменена.

IP-адрес	Ethernet-адрес
223.1.2.1	08:00:39:00:2F:C3
223.1.2.3	08:00:5A:21:A7:22
223.1.2.4	08:00:10:99:AC:54

# ARP-таблицы

- Когда отправитель определил IP-адрес получателя, то на основании ARP-таблицы определяется его MAC-адрес.
- Между MAC- и IP-адресами устанавливается соответствие, которое используется при инкапсуляции данных.
  - Таблицу ARP можно посмотреть, используя команду `arp`:
    - `arp -a`



# ARP-запросы

- ARP-таблица заполняется автоматически. Если нужного адреса в таблице нет, то в сеть посылается широковещательный запрос типа "чей это IP-адрес?".
- Все сетевые интерфейсы получают этот запрос, но отвечает только владелец адреса. При этом существует два способа отправки IP-пакета, для которого ищется адрес: пакет ставится в очередь на отправку или уничтожается.
  - В первом случае за отправку отвечает модуль ARP,
  - во втором случае модуль IP, который повторяет посылку через некоторое время.
- Широковещательный запрос выглядит следующим образом (см. рисунок).
- MAC-адрес широковещания имеет вид FF-FF-FF-FF-FF-FF.

IP-адрес отправителя	223.1.2.1
Ethernet-адрес отправителя	08:00:39:00:2F:C3
Искомый IP-адрес	222.1.2.2
Искомый Ethernet-адрес	<пусто>

# ARP-ответы

- Поскольку пакет ARP-запроса посылается в режиме широковещания, то его принимают все устройства в локальной сети и передают для анализа на сетевой уровень.
- Если IP-адрес устройства соответствует IP-адресу получателя, устройство формирует сообщение, называемое ARP-ответом.
- Структура ARP-ответа представлена на рисунке.
- Полученный таким образом адрес будет добавлен в ARP-таблицу.

IP-адрес отправителя	222.1.2.2
Ethernet-адрес отправителя	08:00:28:00:38:A9
IP-адрес получателя	223.1.2.1
Ethernet-адрес получателя	08:00:39:00:2F:C3

# ARP-таблицы маршрутизаторов

- Если машина соединена с несколькими сетями, т.е. она является шлюзом, то в таблицу ARP вносятся строки, которые описывают как одну, так и другую IP-сети.
- При использовании Ethernet и IP каждая машина имеет как минимум один адрес Ethernet и один IP-адрес.
  - Ethernet-адрес имеет не компьютер, а его сетевой интерфейс.
  - IP-адрес назначается для каждого драйвера сетевого интерфейса.
- Каждой сетевой карте Ethernet соответствуют один MAC-адрес и один IP-адрес.
- IP-адрес уникален в рамках всего Internet.

# RARP

- Чтобы получатель, принимающий данные, знал кто их отправил, пакет данных должен содержать MAC и IP-адреса источника.
- Протокол обратного преобразования адресов (Reverse Address Resolution Protocol, RARP) используется для определения собственного IP-адреса по известному MAC-адресу устройства.
- Для решения данной задачи в сети должен присутствовать RARP-сервер, отвечающий на RARP-запросы.
- Структура RARP-запроса подобна структуре ARP-запроса и включает MAC и IP-заголовки и сообщение запроса.
- RARP-запрос отправляется в режиме широковещания и доступен всем сетевым устройствам, подключенным в сеть. Однако только специальный RARP-сервер отзывается на данный запрос.
- RARP-ответ имеет такую же структуру, что и ARP-ответ. Он включает в себя сообщение RARP-ответа, MAC- и IP-заголовка.



# Маршрутизаторы и ARP-таблицы

- Интерфейс, с помощью которого маршрутизатор подключается к сети, является частью данной сети. Для отправки и получения пакетов данных маршрутизаторы строят собственные ARP-таблицы, в которых отображаются IP-адреса на MAC-адреса.
- Маршрутизатор может быть подключен к нескольким подсетям и строит ARP-таблицы, описывающие все сети, подключенные к нему. Кроме карт соответствия IP-адресов MAC-адресам в таблицах маршрутизаторов отображаются порты.
- Для осуществления маршрутизации в сетях IP, маршрутизаторы содержат MAC- и IP-адреса других маршрутизаторов, которые используются для перенаправления пакетов.

# Шлюз по умолчанию

- Если источник источник расположен в сети с номером, отличным от номера сети назначения, и источник не знает MAC-адреса получателя, то для доставки пакета, источник пользуется услугами маршрутизатора.
- Если маршрутизатор используется подобным образом, то его называют *шлюзом по умолчанию (default gateway)*.
- При передаче пакета через шлюз, источник инкапсулирует данные, помещая в них в качестве MAC-адреса назначения физический адрес шлюза, в качестве IP-адреса устанавливается адрес получателя, а не шлюза.
- Шлюз получив пакет, отбрасывает информацию канального уровня и анализирует IP-заголовок. Поскольку IP-адрес отличается от его собственного, то маршрутизатор анализирует таблицу маршрутизации и пересылает пакет на соответствующий хост, инкапсулируя в пакет канального уровня и добавляя заголовок с новым MAC-адресом.

# Протокол ICMP

- Данный протокол наряду с IP и ARP относят к сетевому уровню.
- Протокол используется для рассылки информационных и управляющих сообщений. При этом используются следующие виды сообщений:
  - **Flow control** - если принимающий хост (шлюз или реальный получатель информации) не успевает перерабатывать информацию, то данное сообщение приостанавливает отправку пакетов по сети.
  - **Detecting unreachable destination** - если пакет не может достичь места назначения, то шлюз, который не может доставить пакет, сообщает об этом отправителю пакета. Информировать о невозможности доставки сообщения может и машина, чей IP-адрес указан в пакете.
  - **Redirect routing** - это сообщение посылается в том случае, если шлюз не может доставить пакет, но у него есть на этот счет некоторые соображения, а именно адрес другого шлюза.
  - **Checking remote host** - в этом случае используется так называемое ICMP Echo Message. Если необходимо проверить наличие стека TCP/IP на удаленной машине, то на нее посылается сообщение этого типа. Как только система получит это сообщение, она немедленно подтвердит его получение.

# Команда ping

- С помощью отправки сообщений с эхо-запросом по протоколу ICMP проверяет соединение на уровне протокола IP с другим компьютером, поддерживающим TCP/IP. После каждой передачи выводится соответствующее сообщение с эхо-ответом.
- Ping - это основная TCP/IP-команда, используемая для устранения неполадки в соединении, проверки возможности доступа и разрешения имен. Команда **ping**, запущенная без параметров, выводит справку.
- **Синтаксис команды**
  - **ping** [-t] [-a] [-n *счетчик*] [-l *размер*] [-f] [-i *TTL*] [-v *тип*] [-r *счетчик*] [-s *счетчик*] [{-j *список\_узлов* | -k *список\_узлов*}] [-w *интервал*] [*имя\_конечного\_компьютера*]

# Время жизни пакетов

- Другое использование ICMP - это получение сообщения о "кончине" пакета на шлюзе. При этом используется время жизни пакета, которое определяет число шлюзов, через которые пакет может пройти.
- Программа, которая использует этот прием, называется traceroute (tracert в Windows). Она использует сообщение TIME EXCEEDED протокола ICMP.
- При посылке пакета через Internet traceroute устанавливает значение TTL (Time To Live) последовательно от 1 до 30 (значение по умолчанию).
- TTL определяет число шлюзов, через которые может пройти IP-пакет. Если это число превышено, то шлюз, на котором происходит обнуление TTL, высылает ICMP-пакет.
- Traceroute сначала устанавливает значение TTL равное единице - отвечает ближайший шлюз, затем значение TTL равно 2 - отвечает следующий шлюз и т. д.
- Если пакет достиг получателя, то в этом случае возвращается сообщение другого типа - **Detecting unreachable destination**, т.к. IP-пакет передается на транспортный уровень, а на нем нет обслуживания запросов.

# Команда tracert

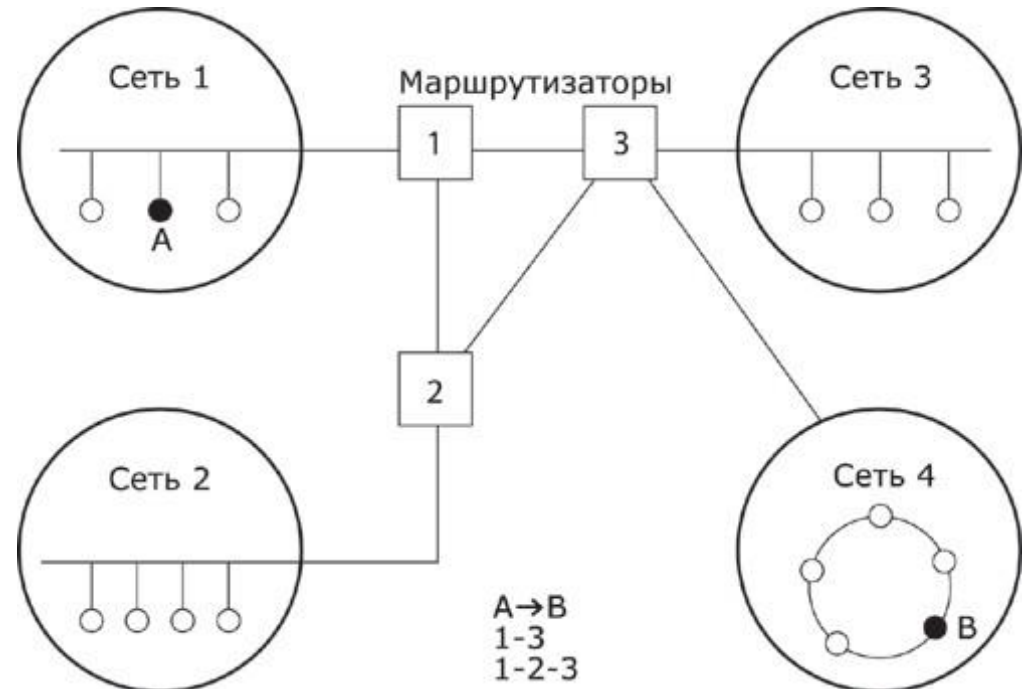
- Диагностическое средство, предназначенное для определения маршрута до точки назначения с помощью посылки в точку назначения эхо-запросов протокола ICMP с различными значениями срока жизни (TTL).
- Определяет путь до точки назначения с помощью посылки в точку назначения эхо-сообщений протокола ICMP с постоянным увеличением значений срока жизни (TTL).
- Выведенный путь — это список ближайших интерфейсов маршрутизаторов, находящихся на пути между узлом источника и точкой назначения.
- Ближний интерфейс представляют собой интерфейс маршрутизатора, который является ближайшим к узлу отправителя на пути. Запущенная без параметров, команда **tracert** выводит справку.
- **Синтаксис команды**
  - **tracert** [-d] [-h *максимальное\_число\_переходов*] [-j *список\_узлов*] [-w *интервал*] [*имя\_конечного\_компьютера*]

# Маршрутизация

- *Сети* соединяются между собой специальными устройствами, называемыми *маршрутизаторами*.
- **Маршрутизатор** — это устройство, которое собирает информацию о топологии межсетевых соединений и пересылает *пакеты сетевого уровня* в сеть назначения. Чтобы передать *сообщение* от отправителя, находящегося в одной сети, получателю, находящемуся в другой сети, нужно совершить некоторое количество транзитных передач между сетями, или **хопов** (от слова hop — прыжок), каждый раз выбирая подходящий *маршрут*. Таким образом, **маршрут** представляет собой последовательность *маршрутизаторов*, через которые проходит *пакет*.
- *Сетевой уровень* должен обеспечить доставку *пакета*:
  - между любыми двумя узлами сети с произвольной топологией;
  - между любыми двумя сетями в *составной сети*;
- **Сеть** — совокупность компьютеров, использующих для обмена данными единую сетевую технологию;
- **Маршрут** — последовательность прохождения *пакетом маршрутизаторов* в *составной сети*.

# Маршруты движения пакетов

- На рисунке показаны четыре сети, связанные тремя маршрутизаторами. Между узлами А и В данной сети пролегал два маршрута:
  - первый — через маршрутизаторы 1 и 3,
  - второй — через маршрутизаторы 1, 2 и 3.





# Задачи маршрутизации

- Проблема выбора наилучшего пути называется маршрутизацией, и ее решение является одной из главных задач *сетевого уровня*.
- Эта проблема осложняется тем, что **самый короткий путь — не всегда самый лучший**.
- Критерием при выборе *маршрута* может служить время передачи данных:
  - Время зависит от пропускной способности каналов связи и интенсивности трафика, которая может с течением времени изменяться.
- Выбор *маршрута* может осуществляться и по другим критериям, таким как *надежность* передачи.
- Функции *сетевого уровня* шире, чем функции передачи сообщений по связям с нестандартной структурой, которые мы рассмотрели на примере объединения нескольких локальных сетей.
- *Сетевой уровень* также решает задачи согласования разных технологий, упрощения *адресации* в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между сетями.

# Маршрутизируемый протокол

- **Маршрутизируемый протокол** – сетевой протокол, который обеспечивает в адресе сетевого уровня достаточно информации, чтобы передавать пакет от одной хост-машины к другой на основе принятой схемы адресации.
- Маршрутизируемый протокол определяет формат и назначение полей внутри пакета.
- В общем случае пакеты переносятся от одной станции к другой.
- Примеры маршрутизируемых протоколов – IP, IPX.

# Протоколы маршрутизации

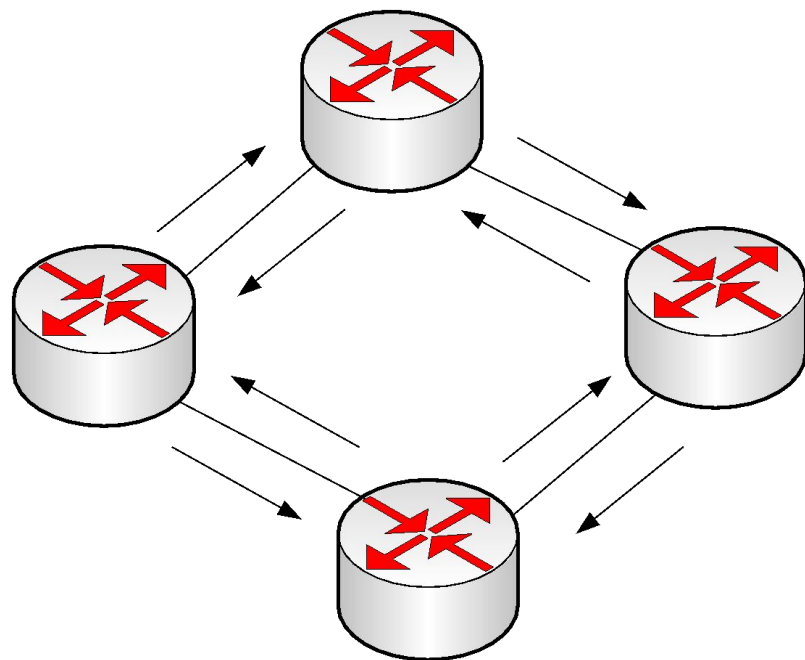
- Протокол маршрутизации – поддерживает маршрутизируемый протокол за счет предоставления механизмов коллективного использования маршрутной информации.
- Сообщения протокола маршрутизации циркулируют между маршрутизаторами для обмена информацией и атуализации данных таблиц маршрутизации.
- Примеры протоколов маршрутизации:
  - RIP – протокол маршрутной информации;
  - IGRP – протокол внутренней маршрутизации между шлюзами;
  - EIGR – усовершенствованный протокол внутренней маршрутизации между шлюзами;
  - OSPF – протокол маршрутизации с выбором кратчайшего пути.

# Алгоритмы маршрутизации

- Большинство алгоритмов маршрутизации можно свести к трем основным:
  - Маршрутизация на основе вектора расстояния – определяется направление (вектор) и расстояние до каждого канала в сети;
  - Маршрутизация на основе оценки состояния канала (выбор на основе кратчайшего пути), при которой воссоздается точная топология всей сети (по крайней мере, где размещается маршрутизатор);
  - Гибридный подход, объединяющий вышеуказанные алгоритмы.

# Алгоритмы маршрутизации по вектору расстояния

- Алгоритмы маршрутизации на основе вектора расстояния (алгоритмы Беллмана-Форда) предусматривают периодическую передачу копий таблицы маршрутизации от одного маршрутизатора другому.
  - Такие передачи позволяют актуализировать изменения в топологии сети.
- Каждый маршрутизатор получает информацию от соседнего маршрутизатора.
- При добавлении информации в таблицу маршрутизации добавляется величина, отражающая вектор расстояния (например, число переходов) и далее информация передается следующему маршрутизатору.



# Алгоритм маршрутизации по вектору расстояния и исследованию сети

- В данных алгоритмах каждый маршрутизатор начинает с идентификации или исследования своих соседей.
  - Порт к каждой непосредственно подключенной сети имеет нулевое расстояние.
- Продолжая процесс исследования векторов расстояния в сети, маршрутизаторы открывают наилучший путь до сети пункта назначения на основе информации от каждого соседа.
- Каждая запись в таблице маршрутизации имеет коммулятивное значение вектора расстояния, показывающая насколько далеко данная сеть находится в этом направлении.

# Алгоритм маршрутизации по вектору расстояния и изменение топологии

- При изменении топологии сети, использующей протокол на основе вектора расстояния, таблицы маршрутизации должны быть обновлены.
- Обновление содержания таблиц маршрутизации выполняется шаг за шагом от одного маршрутизатора к другому.
- Алгоритмы с вектором расстояния заставляют каждый маршрутизатор отсылать всю таблицу маршрутизации каждому своему непосредственному соседу.
- Таблицы маршрутизации, генерируемые в рамках метода вектора расстояния, содержат информацию об общей стоимости пути (метрика) и логический адрес маршрутизатора, стоящего на пути к каждой известной ему сети.

# Маршрутизация с учетом состояния канала связи

- Алгоритмы маршрутизации с учетом канала связи также называются *алгоритмы выбора первого кратчайшего пути (shortest path first, SPF)*.
  - Алгоритмы направлены на поддержку базы данных о топологии информационных потоков.
- Для выполнения маршрутизации по данному алгоритму используются специальные сообщения объявлений о состоянии канала (link state advertisements, LSA), база данных топологии, SPF-алгоритм, результирующее SPS-дерево и таблица маршрутизации, содержащая пути и порты к каждой сети.



# Режим исследования сети

- В режиме исследования сети при маршрутизации с учетом состояния канала связи используется следующий подход:
  - Маршрутизаторы обмениваются LSA-сообщениями, начиная с непосредственно подключенных маршрутизаторов;
  - Маршрутизаторы параллельно друг с другом топологическую базу данных, содержащую все LSA-сообщения;
  - SPF-алгоритм вычисляет достижимость сетей, определяя кратчайший путь до каждой сети комплекса. Маршрутизатор создает эту логическую топологию кратчайших путей в виде SPF-дерева, помещая себя в корень. Это дерево отображает пути от маршрутизатора до всех пунктов назначения.
  - Наилучшие пути и порты, имеющие выход на эти сети назначения, сводятся в таблицы маршрутизации. Также формируется базы данных с топологическими элементами и подробностями о статусе.

# Обработка изменений топологии в протоколах маршрутизации

- Алгоритмы учета состояния канала связи полагаются на маршрутизаторы, имеющие общее представление о сети.
- Для достижения сходимости каждый маршрутизатор выполняет:
  - Отслеживает своих соседей: имя, рабочее состояние и стоимость линии связи;
  - Создает LSA-пакетов, в котором приводится перечень имен соседних маршрутизаторов и стоимость линий связи, а также данные о новых соседях и об изменениях в стоимости линий;
  - Посылает LSA-пакет на другие маршрутизаторы;
  - Получая LSA-пакет, записывает его в базу данных;
  - Используя накопленные данные LSA-пакетов для создания полной карты топологии сети, маршрутизатор запускает на исполнение SPF-алгоритм и рассчитывает оптимальные маршруты до каждой сети.

# Сравнение методов маршрутизации

- Процесс маршрутизации по вектору расстояния получает топологические данные из таблиц маршрутизации соседних маршрутизаторов.
  - Процесс маршрутизации SPF позволяет получить широкое представление обо всей топологии сетевого комплекса, собирая данные из всех LSA-пакетов;
- Процесс маршрутизации по вектору расстояния определяет лучший путь с помощью сложения метрик по мере того как таблица движется от одного маршрутизатора к другому.
  - При использовании маршрутизации SPF каждый маршрутизатор работает отдельно, вычисляя свой собственный оптимальный путь;

# Сравнение методов маршрутизации

- В большинстве протоколов маршрутизации по вектору расстояния пакеты актуализации, содержащие сведения об изменениях топологии, - периодически посылаемые пакеты актуализации таблиц.
  - Эти таблицы передаются от одного маршрутизатора к другому, что приводит к медленной сходимости;
- В протоколах маршрутизации SPF пакеты актуализации генерируются и рассылаются по факту возникновения изменения топологии.
  - Относительно небольшие LSA-пакеты передаются всем маршрутизаторам, что приводит к более быстрой сходимости при любом изменении топологии сети.