
Образовательный комплекс

Компьютерные сети

Лекция 13

Межсетевой уровень TCP/IP (ч.2)

Microsoft®

Содержание

- Межсетевой уровень модели TCP/IP
 - Маршрутизация IP
 - Формат IP-пакета
 - Протоколы ICMP, RARP



Маршрутизация IP

Обработка IP-пакетов...

- Действия источника при обработке IP-пакета
 - Присваивает параметру TTL (Time To Live) IP-пакета значение, заданное вышележащим уровнем, либо значение по умолчанию
 - Вычисляет контрольную сумму заголовка
 - Определяет маршрут (согласно алгоритму выбора маршрута)
 - Если подходящего маршрута нет, вышележащему протоколу сообщается об ошибке маршрутизации
 - Определяет IP-адрес следующего перехода и NIC, который следует использовать для передачи IP-пакета
 - Передает пакет и информацию об IP-адресе следующего перехода и NIC протоколу ARP, который определяет MAC-адрес следующего перехода и пересылает пакет



Маршрутизация IP

Обработка IP-пакетов...

- Действия маршрутизатора при обработке IP-пакета
 - ❑ Проверяет контрольную сумму заголовка IP-пакета. В случае несовпадения со значением, записанным в заголовке, пакет уничтожается.
 - ❑ Если IP-адрес получателя совпадает с IP-адресом маршрутизатора, обрабатывает пакет как получатель (см. следующий слайд)
 - ❑ Уменьшает значение параметра TTL (Time To Live) на 1
 - Если значение TTL стало равно 0, пакет уничтожается, источнику посылается ICMP-сообщение "Time Exceeded/TTL Expired"
 - ❑ Вычисляет контрольную сумму заголовка
 - ❑ Определяет маршрут (согласно алгоритму выбора маршрута)
 - Если подходящего маршрута нет, пакет уничтожается, источнику посылается ICMP-сообщение "Destination Unreachable/Network Unreachable"
 - ❑ Определяет IP-адрес следующего перехода и NIC, который следует использовать для передачи IP-пакета
 - ❑ Передает пакет и информацию об IP-адресе следующего перехода и NIC протоколу ARP, который определяет MAC-адрес следующего перехода и пересылает пакет



Маршрутизация IP

Обработка IP-пакетов

- Действия получателя при обработке IP-пакета
 - Проверяет контрольную сумму заголовка IP-пакета. В случае несовпадения со значением, записанным в заголовке, пакет уничтожается.
 - Если IP-адрес получателя (в IP-пакете) не совпадает с IP-адресом узла, пакет уничтожается
 - Передает датаграмму без IP-заголовка вышележащему протоколу, указанному в заголовке
 - Если указанный протокол отсутствует, пакет уничтожается, источнику посылается ICMP-сообщение "Destination Unreachable/Protocol Unreachable"
 - Для пакетов TCP и UDP проверяется порт назначения и обрабатывается TCP-сегмент или UDP-заголовок
 - Если на указанном UDP-порте нет зарегистрированного приложения, пакет уничтожается, источнику посылается ICMP-сообщение "Destination Unreachable/Port Unreachable"
 - Если на указанном TCP-порте нет зарегистрированного приложения, пакет уничтожается, источнику посылается TCP-сегмент "Connection Reset"



Маршрутизация IP

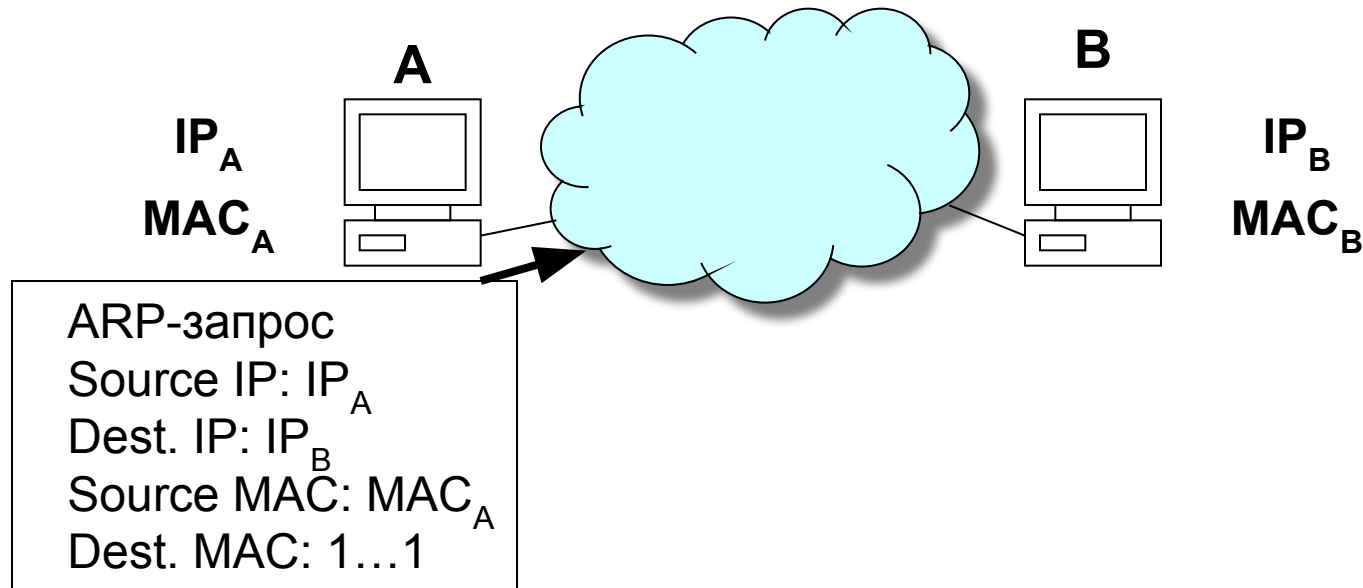
Address Resolution Protocol...

- Address Resolution Protocol (ARP) – протокол разрешения адресов
 - определяет по IP-адресу следующего перехода MAC-адрес следующего перехода (выполняет разрешение адресов межсетевого уровня в адреса уровня доступа к сети)
 - выполняет передачу пакета по разрешенному MAC-адресу
- ARP поддерживает кеш ARP-запросов, который может содержать записи двух типов
 - динамические – формируются на основе результатов выполненных ARP-запросов и удаляются по истечении некоторого временного интервала (например, 10 мин.)
 - статические – формируются в результате выполнения специальных команд и присутствуют в кеше в течение неограниченного времени



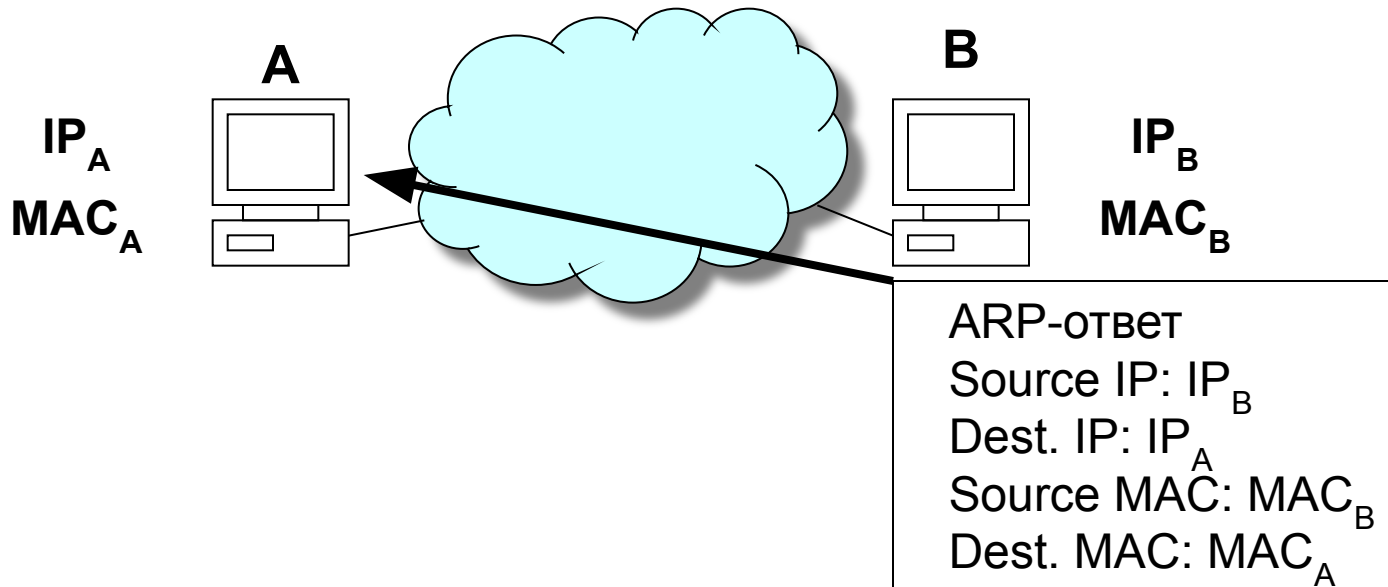
Маршрутизация IP

Address Resolution Protocol...



- Для определения MAC-адреса по известному IP-адресу посылается ARP-запрос
 - Тип операции: ARP-запрос
 - IP-адрес источника: IP_A
 - IP-адрес приемника: IP_B
 - MAC-адрес источника: MAC_A
 - MAC-адрес приемника: адрес широковещательной рассылки в используемой технологии передачи (обычно состоит из одних единиц)

Маршрутизация IP Address Resolution Protocol



- Все узлы получают и обрабатывают ARP-запрос. Узел, IP-адрес которого указан в запросе, формирует и посылает ARP-ответ
 - ❑ Тип операции: ARP-ответ
 - ❑ IP-адрес источника: IP_B
 - ❑ IP-адрес приемника: IP_A
 - ❑ MAC-адрес источника: MAC_B
 - ❑ MAC-адрес приемника: MAC_A

Маршрутизация IP

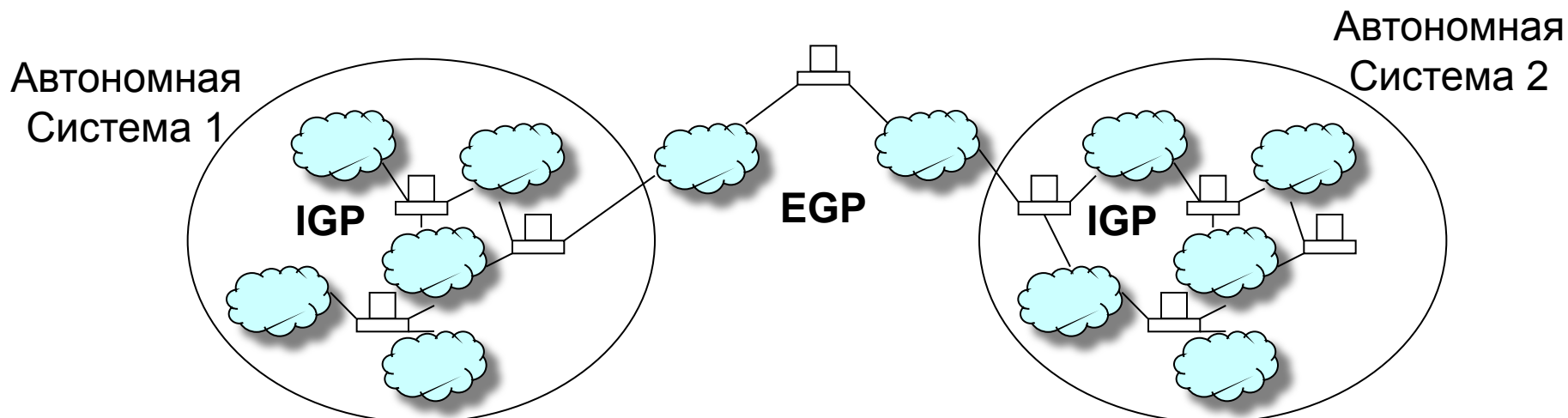
Динамическая маршрутизация...

- В ходе динамической маршрутизации маршрутизаторы обмениваются информацией о сетевых соединениях и автоматически изменяют свои таблицы маршрутизации
- Однако, Интернет очень велик, и обмен информацией между всеми маршрутизаторами привел бы к росту служебного трафика и сильной загруженности маршрутизаторов, поэтому Интернет разбит на **автономные системы**
- Автономная система – это группа маршрутизаторов из одной административной области, взаимодействующая с другими автономными системами посредством внешнего протокола маршрутизации, и использующая в пределах системы внутренний протокол маршрутизации
 - External Gateway Protocol (EGP) – внешний протокол маршрутизации
 - Interior Gateway Protocol (IGP) – внутренний протокол маршрутизации



Маршрутизация IP

Динамическая маршрутизация...



- Внутренние протоколы маршрутизации (IGP)
 - ❑ Routing Information Protocol (RIP)
 - ❑ Open Shortest Path First (OSPF)
 - ❑ Interior Gateway Routing Protocol (IGRP)
 - ❑ Extended Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)
 - ❑ Intermediate System to Intermediate System protocol (IS-IS)
- Внешние протоколы маршрутизации (EGP)
 - ❑ Border Gateway Protocol (BGP)
 - ❑ Exterior Gateway Protocol (EGP)

Маршрутизация IP

Динамическая маршрутизация...

- В зависимости от алгоритмов, на которых основан алгоритм маршрутизации, он относится к одному из двух типов
 - Дистанционно-векторные протоколы основаны на алгоритме вектор-длина (Distance Vector Algorithm, DVA)
 - Протоколы состояния канала связи основаны на алгоритме состояния канала (Link State Algorithm, LSA)



Маршрутизация IP

Динамическая маршрутизация...

■ Алгоритм вектор-длина

- ❑ Каждый маршрутизатор начинает функционировать, имея набор маршрутов к непосредственно подключенным сетям
- ❑ Периодически каждый маршрутизатор посылает копию своей таблицы маршрутизации всем маршрутизаторам, которым он может передавать данные через общую сеть
- ❑ Соседние маршрутизаторы, используя принятую информацию, обновляют свои таблицы маршрутизации

■ Недостатки алгоритма

- ❑ Медленное распространение информации об изменении структуры сети
- ❑ Большой объем передаваемой информации
- ❑ Не учитывается скорость и надежность каналов (маршрутов)



Маршрутизация IP

Динамическая маршрутизация...

■ Алгоритм состояния канала

- Каждый маршрутизатор предоставляет остальным информацию о
 - каналах, непосредственно подключенных к нему;
 - состоянию (стоимости) этих каналов;
 - узлах, подключенных к этим каналам
- Таким образом, каждый маршрутизатор имеет базу топологии, описывающие все узлы в его области (база одинакова на всех маршрутизаторах)
- База топологии используется маршрутизатором для построения дерева кратчайших путей для каждого пункта назначения с собой в корне
- На основании дерева кратчайших путей строится таблица маршрутизации



Маршрутизация IP

Динамическая маршрутизация

■ Алгоритм состояния канала

□ Достоинства

- Обычно посылается только информация о каналах состояние которых изменилось (передача полной информации выполняется, как правило, 1-2 раза в час)
- Протоколы обычно позволяют разбивать сеть на области, при этом маршрутизаторы должны поддерживать базу топологии только для своей области
- Стоимость каналов можно определять на основе любых критериев (тип, пропускная способность, стоимость и т. д.)

□ Недостатки

- Хранение и обработка базы топологии может потребовать значительного объема памяти (оперативной и дисковой)
- Обработка базы топологии может потребовать большой вычислительной мощности



Формат IP-пакета

Формат IP-пакета (v4)

- Vers – версия протокола IP (мы рассматриваем 4 версию)
- Len – длина заголовка IP в 32-битных словах
- Type Of Service (TOS) – тип сервиса IP-пакета, содержит 3 поля
 - Precedence (3 бита) – определяет происхождение и приоритет пакета (обычный, приоритетный, критический,...)
 - Type Of Service (4 бита) – определяет тип сервиса
 - Минимальная задержка
 - Максимальная пропускная способность
 - Максимальная надежность
 - Минимальные денежные затраты
 - Обычный сервис
 - Must Be Zero (MBZ, 1 бит) – должно быть 0

Vers(4)	Len(4)
TOS (8 bit)	
Total Length (16 bit)	
Identification (16 bit)	
flags(3)	fragment offset (13 bit)
TTL (8 bit)	
Protocol (8 bit)	
Header	
Checksum (16 bit)	
Source IP (32 bit)	
Destination IP (32 bit)	
Options+Padding (N*32 bit)	
Data	



Формат IP-пакета (v4)

- Total Length – общая длина пакета (заголовка и данных) в байтах (максимум, $64\text{Kб}-1=65535$)
- Identification – уникальный номер, присваиваемый пакету источником, и используемый при сборке IP-пакета из фрагментов
- Flags
 - MBZ (1 бит)
 - Don't Fragment (DF, 1 бит) – если $DF=1$, пакет нельзя фрагментировать
 - More Fragments (MF, 1 бит) – если $MF=0$, то данный фрагмент – последний
- Fragment Offset – смещение данных из данного фрагмента в поле данных исходного пакета, выраженное в 64-битных блоках

Vers(4)	Len(4)
TOS (8 bit)	
Total Length (16 bit)	
Identification (16 bit)	
flags(3)	fragment offset (13 bit)
TTL (8 bit)	
Protocol (8 bit)	
Header	
Checksum (16 bit)	
Source IP (32 bit)	
Destination IP (32 bit)	
Options+Padding g (N*32 bit)	
Data	



Формат IP-пакета (v4)

- Time To Live (TTL) – определяет время в секундах, в течение которого может передаваться данный пакет (в реальности время жизни меньше, поскольку маршрутизатор при обработке IP-пакета уменьшает это время на 1, а время обработки намного меньше 1 с)
- Protocol – протокол вышележащего уровня, которому предназначены данные IP-пакета (список протоколов в UNIX можно посмотреть в файле /etc/protocols)
- Header Checksum – контрольная сумма заголовка IP-пакета
- Source IP-address – IP-адрес источника
- Destination IP-address – IP-адрес получателя

Vers(4)	Len(4)
TOS (8 bit)	
Total Length (16 bit)	
Identification (16 bit)	
flags(3)	fragment offset (13 bit)
TTL (8 bit)	
Protocol (8 bit)	
Header Checksum (16 bit)	
Source IP (32 bit)	
Destination IP (32 bit)	
Options+Padding g (N*32 bit)	
Data	



Формат IP-пакета (v4)

- Options – опции доставки IP-пакета, может содержать несколько опций и имеет переменную длину. С помощью опций можно
 - ❑ Указать полностью или частично маршрут, по которому IP-пакет должен доставляться получателю
 - ❑ Записать маршрут, который прошел IP-пакет
 - ❑ Указать маршрутизаторам ставить в IP-пакете временную отметку, соответствующую времени обработки
 - ❑ и т.д.
- Padding – дополнения поля Options до размера, кратного 32 битам
- Data – данные протокола вышележащего уровня

Vers(4)	Len(4)
TOS (8 bit)	
Total Length (16 bit)	
Identification (16 bit)	
flags(3)	fragment offset (13 bit)
TTL (8 bit)	
Protocol (8 bit)	
Checksum (16 bit)	
Source IP (32 bit)	
Destination IP (32 bit)	
Options+Padding (N*32 bit)	
Data	



Формат IP-пакета

Фрагментация IP-пакетов...

- При передаче IP-пакета могут использоваться различные технологии уровня доступа к сети
- Технологии передачи имеют характеристику MTU (Maximum Transmission Unit), ограничивающую максимальный размер кадра
- Если IP-пакет нельзя передать в одном кадре, он разбивается на фрагменты и передается фрагментами. Сборка исходного пакета из фрагментов производится получателем.
- Для использования IP необходимо, чтобы размер MTU был не менее 576 байт



Формат IP-пакета

Фрагментация IP-пакетов...

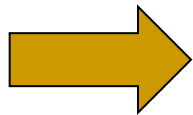
- В исходном пакете значения полей
 - More Fragments (MF) = 0
 - Fragment Offset (FO) = 0
- При разбиении на фрагменты
 - Если флаг Don't Fragment = 1, пакет уничтожается
 - Исходя из значения MTU поле данных разбивается на несколько частей; размер блоков данных должен быть кратен 8
 - Блоки данных размещаются в IP-пакетах, которые представляют собой копии исходного пакета со следующими отличиями
 - Флаг MF устанавливается в единицу у всех фрагментов кроме последнего
 - Поле FO заполняется в соответствии с размещением данных фрагмента в поле данных исходного пакета
 - Копируются опции пакета (если в опциях задано копирование опции в каждый фрагмент)
 - Рассчитываются контрольные суммы заголовков фрагментов
 - Рассчитывается длина каждого фрагмента



Формат IP-пакета

Фрагментация IP-пакетов...

Total Length = 2020
Identification = 12345
DF flag = 0
MF flag = 0
Fragment Offset = 0
Header Checksum
Source IP = 1.2.3.4
Destination IP = 5.6.7.8
Data
Исходный пакет



Фрагменты

Total Length = 1020
Identification = 12345
DF flag = 0
MF flag = 1
Fragment Offset = 0
Header Checksum
Source IP = 1.2.3.4
Destination IP = 5.6.7.8
Data

Total Length = 1020
Identification = 12345
DF flag = 0
MF flag = 0
Fragment Offset = 125
Header Checksum
Source IP = 1.2.3.4
Destination IP = 5.6.7.8
Data



Формат IP-пакета

Фрагментация IP-пакетов

- Каждый из фрагментов доставляется как независимый IP-пакет (например, они могут быть доставлены по разным маршрутам)
- При сборке фрагментов получатель выделяет буфер при приходе первого фрагмента и запускает таймер обратного отсчета
 - Начальное значение таймера берется из поля TTL фрагмента
- При поступлении фрагментов данные из них записываются в буфер по заданному смещению
- Если IP-пакет получен полностью, его обработка продолжается, если к истечению времени работы таймера IP-пакет не собран – он уничтожается



Internet Control Message
Protocol (ICMP), Reversed
Address Resolution Protocol
(RARP)

ICMP

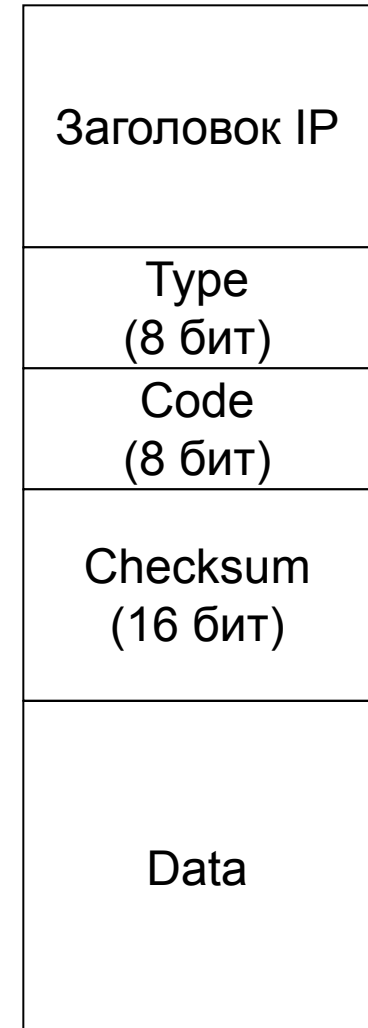
- Internet Control Message Protocol (ICMP) – протокол управляющих сообщений Интернет, используется для оповещения источника об ошибках, возникших при доставке IP-пакета
 - ❑ Протокол сетевого уровня
 - ❑ Использует IP в качестве нижележащего протокола
 - ❑ Не обеспечивает надежность доставки
 - ❑ Используется для сообщения об ошибках доставки любых IP-пакетов за исключением тех, которые содержат ICMP-пакеты
 - ❑ В случае фрагментированных пакетов сообщается об ошибке доставки только первого пакета
 - ❑ Маршрутизатор или получатель не обязательно посылают ICMP-сообщение при возникновении ошибки



ICMP

Формат пакета

- Заголовок IP
 - Type Of Service = 0
 - Protocol = 1 (ICMP)
- Type – тип сообщения
 - 0 – echo reply
 - 3 – destination unreachable
 - ...
- Code – код ошибки
- Checksum – контрольная сумма сообщения ICMP
- Data – дополнительная информация ICMP (обычно, заголовок и первые 64 бита данных IP-пакета, при доставке которого произошла ошибка)

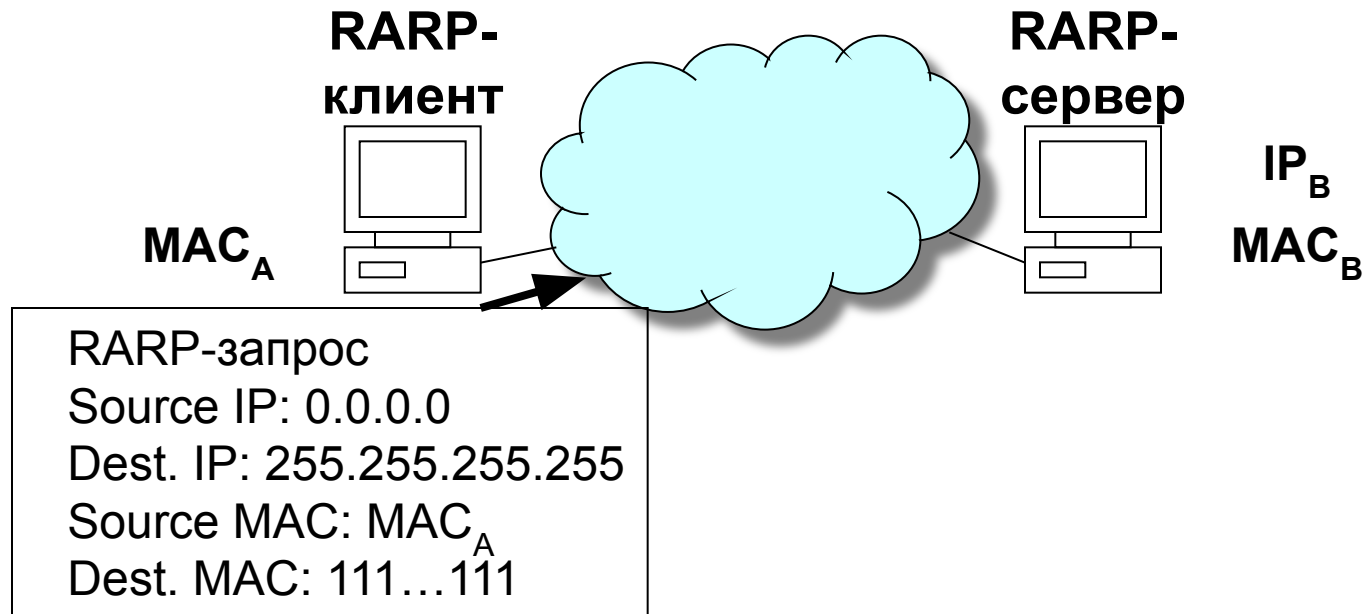


RARP

- Reversed Address Resolution Protocol (RARP) – протокол обратного разрешения адресов, используется узлами, не имеющими собственных IP-адресов
- При старте сетевой системы узел, не имеющий IP-адреса, посылает широковещательный RARP-запрос
- RARP предполагает, что в сети имеется RARP-сервер, поддерживающий базу соответствия между MAC-адресами и IP-адресами, и формирующий RARP-ответы

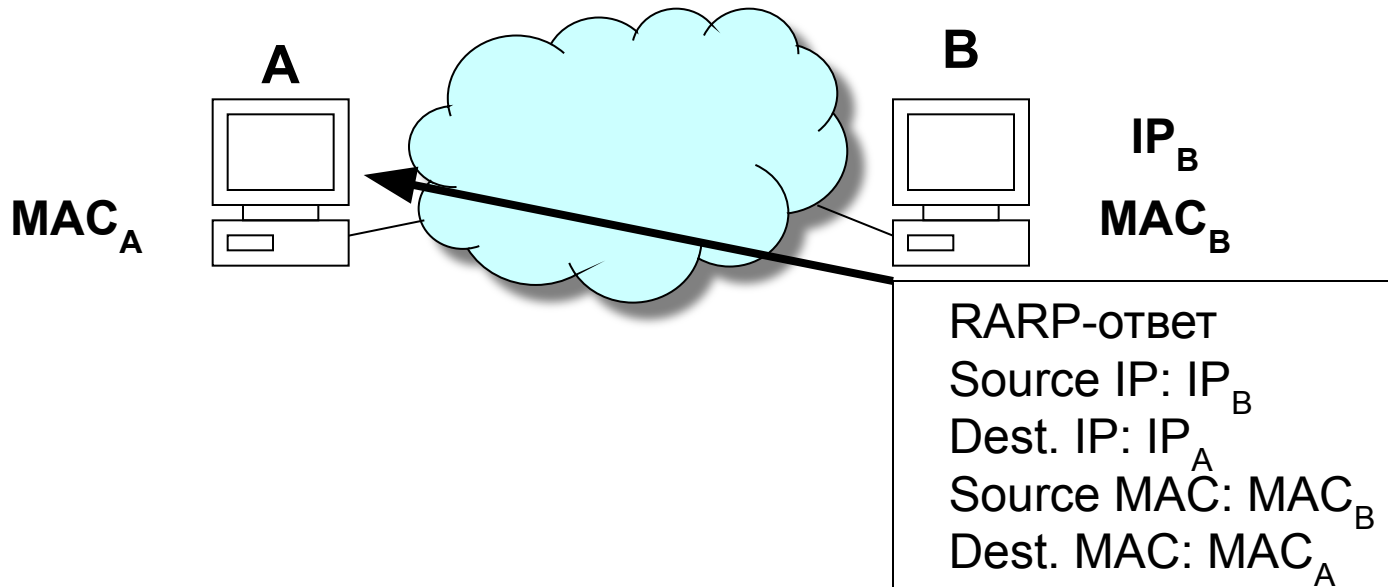


RARP...



- Для определения своего IP-адреса узел посылает RARP-запрос
 - ❑ Тип операции: RARP-запрос
 - ❑ IP-адрес источника: 0.0.0.0
 - ❑ IP-адрес приемника: 255.255.255.255
 - ❑ MAC-адрес источника: MAC_A
 - ❑ MAC-адрес приемника: адрес широковещательной рассылки в используемой технологии передачи (обычно состоит из одних единиц)

RARP



- RARP-сервера, получившие запрос, формируют и посылают RARP-ответ
 - ❑ Тип операции: ARP-ответ
 - ❑ IP-адрес источника: IP_B
 - ❑ IP-адрес приемника: IP_A
 - ❑ MAC-адрес источника: MAC_B
 - ❑ MAC-адрес приемника: MAC_A
- Узел будет использовать IP-адрес из первого полученного им RARP-ответа

Заключение

- Существует несколько способов управления маршрутизацией в сети (статическое, динамическое с разными протоколами)
- Вспомогательные протоколы межсетевого уровня
 - Address Resolution Protocol
 - Reversed Address Resolution Protocol
 - Internet Control Message Protocol



Тема следующей лекции

- Уровень Хост-Хост модели TCP/IP
 - Протокол UDP
 - Протокол TCP
- Программный интерфейс сокетов



Вопросы для обсуждения



Литература

- Сети TCP/IP. Ресурсы Microsoft Windows 2000 Server. – М.: Русская редакция, 2001.
- В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: Питер, 2001.

