

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

Основу транспортных средств стека протоколов TCP/IP составляет протокол межсетевого взаимодействия - Internet Protocol (IP). К основным функциям протокола IP относятся:

- перенос между сетями различных типов адресной информации в унифицированной форме,
- сборка и разборка пакетов при передаче их между сетями с различным максимальным значением длины пакета.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

**Пакет IP состоит из заголовка и поля данных.**

**Заголовок пакета имеет следующие поля:**

- Поле Номер версии (VERS) указывает версию протокола IP.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- **Поле Длина заголовка (HLEN) пакета IP** занимает 4 бита. Обычно заголовок имеет **длину в 20 байт**, но при увеличении объема служебной информации эта длина может быть увеличена за счет использования дополнительных байт в поле Резерв (IP OPTIONS).

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Тип сервиса (SERVICE TYPE) занимает 1 байт и задает приоритетность пакета и вид критерия выбора маршрута. Первые три бита этого поля образуют подполе приоритета пакета (PRECEDENCE). Приоритет может иметь значения от 0 (нормальный пакет) до 7 (пакет управляющей информации). Маршрутизаторы и компьютеры могут принимать во внимание приоритет пакета и обрабатывать более важные пакеты в первую очередь.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

Поле Тип сервиса содержит также три бита, определяющие критерий выбора маршрута. Установленный бит D (delay) говорит о том, что маршрут должен выбираться для минимизации задержки доставки данного пакета, бит T - для максимизации пропускной способности, а бит R - для максимизации надежности доставки.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Общая длина (TOTAL LENGTH) занимает 2 байта и указывает общую длину пакета с учетом заголовка и поля данных.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Идентификатор пакета (IDENTIFICATION) занимает 2 байта и используется для распознавания пакетов, образовавшихся путем фрагментации исходного пакета. Все фрагменты должны иметь одинаковое значение этого поля.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Флаги (FLAGS) занимает 3 бита, оно указывает на возможность фрагментации пакета (установленный бит Do not Fragment - DF - запрещает маршрутизатору фрагментировать данный пакет), а также на то, является ли данный пакет промежуточным или последним фрагментом исходного пакета (установленный бит More Fragments - MF - говорит о том пакет переносит промежуточный фрагмент).



# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Смещение фрагмента (FRAGMENT OFFSET) занимает 13 бит, оно используется для указания в байтах смещения поля данных этого пакета от начала общего поля данных исходного пакета, подвергнутого фрагментации.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Время жизни (TIME TO LIVE) занимает 1 байт и указывает предельный срок, в течение которого пакет может перемещаться по сети. Время жизни данного пакета измеряется в секундах и задается источником передачи средствами протокола IP.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Идентификатор Протокола верхнего уровня (PROTOCOL) занимает 1 байт и указывает, какому протоколу верхнего уровня принадлежит пакет (например, это могут быть протоколы TCP, UDP или RIP).

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Контрольная сумма (HEADER CHECKSUM) занимает 2 байта, она рассчитывается по всему заголовку.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поля Адрес источника (SOURCE IP ADDRESS);
- Адрес назначения (DESTINATION IP ADDRESS);

имеют одинаковую длину - 32 бита, и одинаковую структуру.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

- Поле Резерв (IP OPTIONS) является необязательным и используется обычно только при отладке сети. Это поле состоит из нескольких подполей, каждое из которых может быть одного из восьми predetermined типов. В этих подполях можно указывать точный маршрут прохождения маршрутизаторов, регистрировать проходимые пакетом маршрутизаторы, помещать данные системы безопасности, а также временные отметки.

## Формат заголовка IP

Структура IP пакетов версії 4 представлена на рисунку

Октет	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	Версия			IHL			Тип обслуживания								Длина пакета																	
4	Идентификатор															Флаги		Смещение фрагмента														
8	Время жизни							Протокол							Контрольная сумма заголовка																	
12	IP-адрес отправителя																															
16	IP-адрес получателя																															
20	Параметры от 0-я до 10-и 32-х битовых слов																															
	Данные																															

Перехваченный IPv4 пакет с помощью sniffера Wireshark:

The image shows a Wireshark packet capture window. The title bar indicates it is capturing from a Realtek RTL8139/810x Family Fast Ethernet NIC. The menu bar includes File, Edit, View, Go, Capture, Analyze, Statistics, Telephony, Tools, Internals, and Help. The toolbar contains various icons for packet capture and analysis. The filter bar shows a filter of 'ip'. The packet list pane displays three packets, all of which are LLMNR Standard queries from 157.157.10.22 to 224.0.0.252. The packet details pane shows the selected packet (No. 2491) with its structure: Ethernet II, Internet Protocol Version 4, and its fields (Version, Header length, Differentiated Services Field, Total Length, Identification, Flags, Fragment offset, Time to live, Protocol, Header checksum, Source, Destination, etc.). The packet bytes pane shows the raw data in hexadecimal and ASCII.

Filter: `ip`

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2491	237.01399	157.157.10.22	224.0.0.252	LLMNR	69	Standard query 0xe11b A NPI88EB0D
2492	237.01407	192.168.1.11	224.0.0.252	LLMNR	69	Standard query 0xe11b A NPI88EB0D
2495	237.11409	157.157.10.22	224.0.0.252	LLMNR	69	Standard query 0xe11b A NPI88EB0D

Frame 2491: 69 bytes on wire (552 bits), 69 bytes captured (552 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: IntelCor\_49:81:de (00:1b:21:49:81:de), Dst: IPv4mcast\_00:00:fc (01:00:5e:00:00:fc)

Internet Protocol Version 4, Src: 157.157.10.22 (157.157.10.22), Dst: 224.0.0.252 (224.0.0.252)

- Version: 4
- Header length: 20 bytes
- Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable))
- Total Length: 55
- Identification: 0x26aa (9898)
- Flags: 0x00
- Fragment offset: 0
- Time to live: 1
- Protocol: UDP (17)
- Header checksum: 0x0a5d [correct]
- Source: 157.157.10.22 (157.157.10.22)
- Destination: 224.0.0.252 (224.0.0.252)
- [Source GeoIP: Unknown]
- [Destination GeoIP: Unknown]

0000 01 00 5e 00 00 fc 00 1b 21 49 81 de 08 00 45 00 ..A.....!I....E.

0010 00 37 26 aa 00 00 01 11 0a 5d 9d 9d 0a 16 e0 00 .7&.....].....

0020 00 fc f7 d8 14 eb 00 23 7f c1 e1 1b 00 00 00 01 ..#.....

0030 00 00 00 00 00 00 09 4e 50 49 38 38 45 42 30 44 .....N PI88EB0D

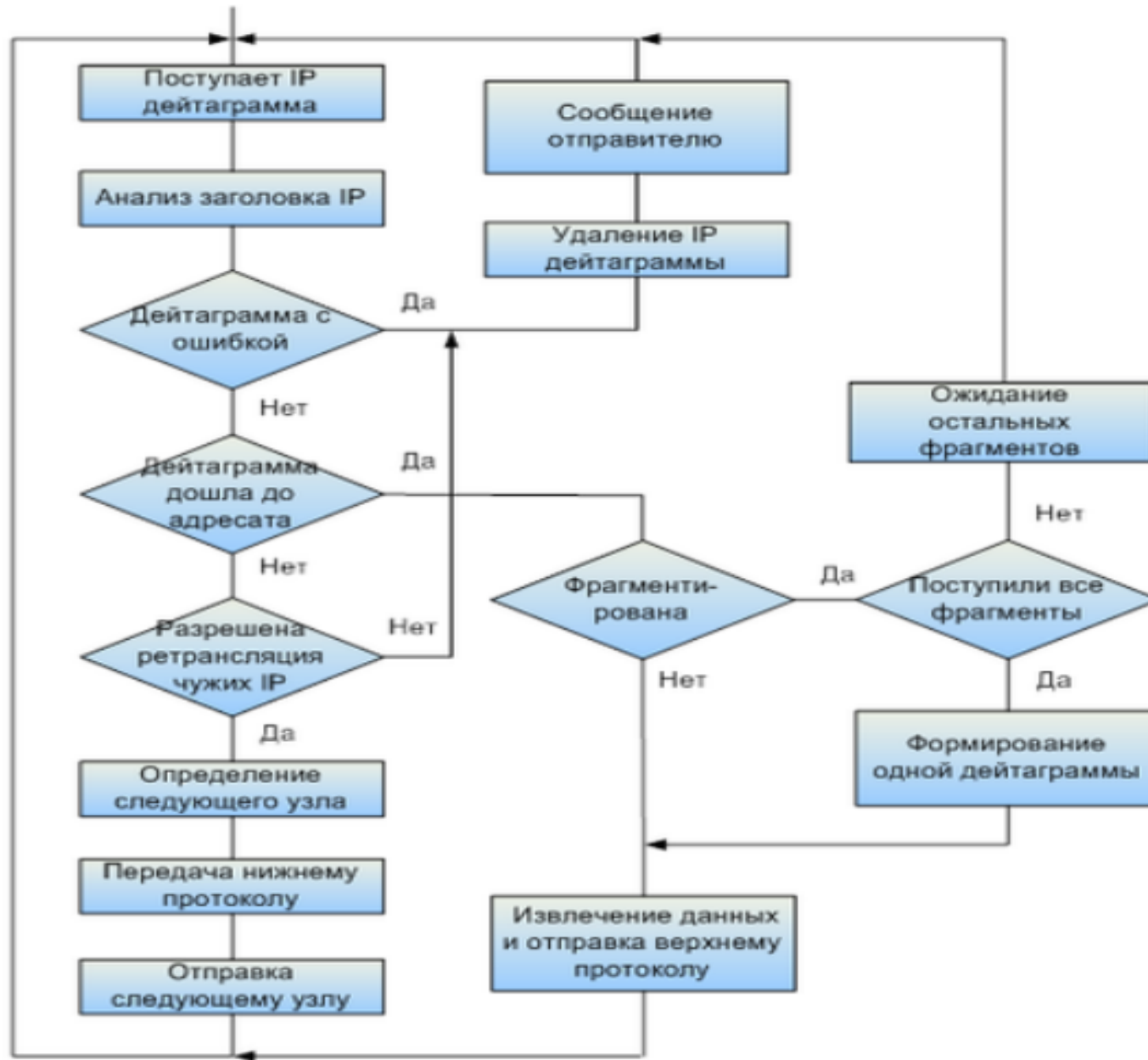
0040 00 00 01 00 01 .....

Internet Protocol Version 4 (ip), 20 bytes

Pack... Profile: Default



# Алгоритм работы протокола IP



# IP-адреса, используемые в локальных сетях

Диапазоны IP-адресов, используемых в локальных сетях
10.0.0.0 – 10.255.255.255
172.16.0.0 – 172.31.255.255
192.168.0.0 – 192.168.255.255

---

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

Максимальная длина поля данных пакета ограничена разрядностью поля, определяющего эту величину, и составляет 65535 байтов, однако при передаче по сетям различного типа длина пакета выбирается с учетом максимальной длины пакета протокола нижнего уровня, несущего IP-пакеты.

# Протокол межсетевого взаимодействия IP

Если это кадры Ethernet, то выбираются пакеты с максимальной длиной в 1500 байтов, уместающиеся в поле данных кадра Ethernet.

# Управление фрагментацией

Протоколы транспортного уровня (протоколы TCP или UDP), пользующиеся сетевым уровнем для отправки пакетов, считают, что максимальный размер поля данных IP-пакета равен 65535, и поэтому могут передать ему сообщение такой длины для транспортировки через интернет.

# Управление фрагментацией

В функции уровня IP входит разбиение слишком длинного для конкретного типа составляющей сети сообщения на более короткие пакеты с созданием соответствующих служебных полей, нужных для последующей сборки фрагментов в исходное сообщение.

# Управление фрагментацией

В большинстве типов локальных и глобальных сетей определяется такое понятие как максимальный размер поля данных кадра или пакета, в которые должен инкапсулировать свой пакет протокол IP. Эту величину обычно называют максимальной единицей транспортировки - *Maximum Transfer Unit, MTU*. Сети Ethernet имеют значение MTU, равное 1500 байт, сети FDDI - 4096 байт, а сети X.25 чаще всего работают с MTU в 128 байт.

# Управление фрагментацией

Работа протокола IP по фрагментации пакетов в хостах и маршрутизаторах иллюстрируется рисунком.

Пусть компьютер 1 связан с сетью, имеющей значение MTU в 4096 байтов, например, с сетью FDDI. При поступлении на IP-уровень компьютера 1 сообщения от транспортного уровня размером в 5600 байтов, протокол IP делит его на два IP-пакета, устанавливая в первом пакете признак фрагментации и присваивая пакету уникальный идентификатор, например, 486.



# Управление фрагментацией

В первом пакете величина поля смещения равна 0, а во втором - 2800. Признак фрагментации во втором пакете равен нулю, что показывает, что это последний фрагмент пакета. Общая величина IP-пакета составляет  $2800 + 20$  (размер заголовка IP), то есть 2820 байтов, что уместится в поле данных кадра FDDI.

# Управление фрагментацией

Далее на рисунке показана Фрагментация IP-пакетов при передаче между сетями с разными максимальными размерами пакетов. K1 и Ф1 канальный и физический уровень сети 1, K2 и Ф2 канальный и физический уровень сети 2

## Компьютер 1

Транспортный  
уровень

IP

K1

Φ1

Сеть 1

## Компьютер 2

Транспортный  
уровень

IP

K2

Φ2

Сеть 2

Интернет

Маршрутизатор

Передача

IP

K1

Φ1

K2

Φ2

Пакет

Заголовок

Поле данных

Сообщ

Сообщ



# Управление фрагментацией

Далее компьютер 1 передает эти пакеты на канальный уровень K1, а затем и на физический уровень Ф1, который отправляет их маршрутизатору, связанному с данной сетью.

Маршрутизатор видит по сетевому адресу, что прибывшие два пакета нужно передать в сеть 2, которая имеет меньшее значение MTU, равное 1500. Вероятно, это сеть Ethernet. Маршрутизатор извлекает фрагмент транспортного сообщения из каждого пакета FDDI и делит его еще пополам, чтобы каждая часть уместилась в поле данных кадра Ethernet. Затем он формирует новые пакеты IP, каждый из которых имеет длину  $1400 + 20 = 1420$  байтов, что меньше 1500 байтов, поэтому они нормально помещаются в поле данных кадров Ethernet.

# Управление фрагментацией

В результате на компьютер 2 по сети Ethernet приходит четыре IP-пакета с общим идентификатором 486, что позволяет протоколу IP, работающему в компьютере 2, правильно собрать исходное сообщение. Если пакеты пришли не в том порядке, в котором были посланы, то смещение укажет правильный порядок их объединения.

# Управление фрагментацией

Отметим, что IP-маршрутизаторы не собирают фрагменты пакетов в более крупные пакеты, даже если на пути встречается сеть, допускающая такое укрупнение. Это связано с тем, что отдельные фрагменты сообщения могут перемещаться по интерсети по различным маршрутам, поэтому нет гарантии, что все фрагменты проходят через какой-либо промежуточный маршрутизатор на их пути.

# Управление фрагментацией

При приходе первого фрагмента пакета узел назначения запускает таймер, который определяет максимально допустимое время ожидания прихода остальных фрагментов этого пакета. Если таймер истекает раньше прибытия последнего фрагмента, то все полученные к этому моменту фрагменты пакета отбрасываются, а в узел, пославший исходный пакет, направляется сообщение об ошибке с помощью протокола ICMP.