

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)**

---

**С. С. Владимиров**

**ПРОТОКОЛЫ, СЕРВИСЫ И УСЛУГИ  
В IP-СЕТЯХ**

**Практикум**

**СПб ГУТ)))**

**Санкт-Петербург  
2019**

УДК 621.395.74 (076)

ББК 32.882 я73

В 57

Рецензент  
доцент кафедры СС и ПД,  
кандидат технических наук *Д. С. Кукунин*

*Рекомендован к печати редакционно-издательским советом СПбГУТ*

**Владимиров, С. С.**

В 57      Протоколы, сервисы и услуги в IP-сетях : практикум / С. С. Владимиров ;  
СПбГУТ. — СПб, 2019. — 76 с.

Призван ознакомить студентов старших курсов с протоколами и службами IP-сетей. Представленный материал служит справочным и методическим пособием при выполнении курса практических работ по дисциплинам «Протоколы, сервисы и услуги в IP-сетях» и «Интернет — протоколы, сервисы и услуги».

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

**УДК 621.395.74 (076)**

**ББК 32.882 я73**

© Владимиров С. С., 2019

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2019

## Содержание

<b>Практическая работа 1. Оценка избыточности технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей</b>	<b>5</b>
1.1. Цель работы. . . . .	5
1.2. Теоретические сведения. . . . .	5
1.3. Порядок выполнения задания . . . . .	10
1.4. Контрольные вопросы . . . . .	11
<b>Практическая работа 2. Расчет задержек при выборе конфигурации сети Ethernet</b>	<b>12</b>
2.1. Цель работы. . . . .	12
2.2. Теоретические сведения. . . . .	12
2.3. Порядок выполнения задания . . . . .	22
2.4. Контрольные вопросы . . . . .	25
<b>Практическая работа 3. Адресация IPv4</b>	<b>26</b>
3.1. Цель работы. . . . .	26
3.2. Теоретические сведения. . . . .	26
3.3. Порядок выполнения задания . . . . .	28
3.4. Контрольные вопросы . . . . .	30
Бланк к практической работе 3. . . . .	31
<b>Практическая работа 4. Расчет контрольной суммы заголовка протокола IP</b>	<b>32</b>
4.1. Цель работы. . . . .	32
4.2. Теоретические сведения. . . . .	32
4.3. Порядок выполнения задания . . . . .	35
4.4. Контрольные вопросы . . . . .	39
<b>Практическая работа 5. Формирование пакета ARP</b>	<b>40</b>
5.1. Цель работы. . . . .	40
5.2. Теоретические сведения. . . . .	40
5.3. Порядок выполнения задания . . . . .	43
5.4. Контрольные вопросы . . . . .	43
Бланк к практической работе 5. . . . .	47

<b>Практическая работа 6. Формат пакета и контрольная сумма протокола ICMP</b>	<b>48</b>
6.1. Цель работы . . . . .	48
6.2. Теоретические сведения . . . . .	48
6.3. Порядок выполнения задания . . . . .	49
6.4. Контрольные вопросы . . . . .	53
<b>Практическая работа 7. Адресация IPv6</b>	<b>54</b>
7.1. Цель работы . . . . .	54
7.2. Теоретические сведения . . . . .	54
7.3. Порядок выполнения задания . . . . .	60
7.4. Контрольные вопросы . . . . .	61
Бланк к практической работе 7. . . . .	62
<b>Практическая работа 8. Расчет контрольной суммы заголовка протоколов транспортного уровня TCP и UDP</b>	<b>63</b>
8.1. Цель работы . . . . .	63
8.2. Теоретические сведения . . . . .	63
8.3. Порядок выполнения задания . . . . .	67
8.4. Контрольные вопросы . . . . .	75

# Практическая работа 1

## Оценка избыточности технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей

### 1.1. Цель работы

Ознакомиться со структурой кадров основных технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей. Научиться разбивать заданный блок данных на кадры и оценивать избыточность полученного набора кадров.

### 1.2. Теоретические сведения

#### 1.2.1. Технология Ethernet. Структура кадра

Ethernet — семейство технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей.

Стандарты Ethernet определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде — на канальном уровне модели OSI. Ethernet в основном описывается стандартами IEEE группы 802.3.

Существует несколько вариантов структуры кадров Ethernet. Далее они будут рассмотрены в порядке их появления.

Стандарт Ethernet II (DIX<sup>1</sup>) был опубликован в 1982 г. В 1997 г. году данный стандарт был добавлен IEEE к стандарту 802.3, и на данный момент большинство пакетов в Ethernet сетях построены согласно этому стандарту. Структура кадра Ethernet II показана на рис. 1.1.

Preamble	Dest. MAC	Src. MAC	EtherType	Data	FSC	IFG
8 bytes	6 bytes	6 bytes	2 bytes	46-1500 bytes	4	12

Рис. 1.1. Структура кадра Ethernet II (DIX)

Назначение и длина полей кадра:

1. Preamble. 8 байт. Преамбула. Используется для синхронизации.
2. Destination MAC. 6 байт. MAC-адрес назначения.
3. Source MAC. 6 байт. MAC-адрес источника.
4. EtherType. 2 байта. Содержит код типа протокола верхнего уровня.

Например, 0x0800<sup>2</sup> для протокола IP.

5. Data. 46–1500 байт. Поле данных. Минимальная длина поля составляет 46 байт, что требуется для корректной работы механизма обнаружения

<sup>1</sup>Аббревиатура первых букв названий фирм-разработчиков DEC, Intel, Хероx.

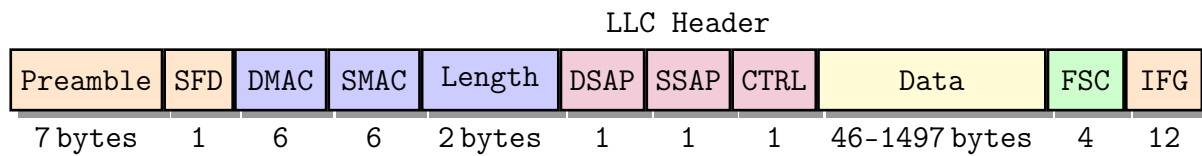
<sup>2</sup>Префикс 0x показывает, что число 0800 является шестнадцатеричным.

коллизий. Если данных не хватает, то добавляются нулевые байты заполнения (padding), чтобы обеспечить минимальную длину поля данных (46 байт).

6. Frame Check Sequences (FCS). 4 байта. Контрольная сумма для выявления ошибок передачи. Используется код CRC-32.

7. Inter Frame Gap (IFG). 12 байт. Межкадровый интервал.

**Стандарт Ethernet 802.3/802.2 (802.3 with LLC header)** был разработан комитетом IEEE в 1983 г. (черновик) и принят в 1985 г. Структура кадра Ethernet 802.3/802.2 показана на рис. 1.2.



*Рис. 1.2. Структура кадра Ethernet 802.3/802.2 (802.3 with LLC header)*

Назначение и длина полей кадра:

1. Preamble. 7 байт. Преамбула. Используется для синхронизации.
2. Start of Frame Delimiter (SFD). 1 байт. Начало ethernet кадра.
3. Destination MAC. 6 байт. MAC-адрес назначения.
4. Source MAC. 6 байт. MAC-адрес источника.
5. Length. 2 байта. Длина фрейма — количество байт, следующее за этим полем до поля FCS.

6. Destination Service Access Point (DSAP). 1 байт. Указывает тип протокола со стороны отправителя.

7. Source Service Access Point (SSAP). 1 байт. Указывает тип протокола со стороны получателя. На практике DSAP и SSAP обычно совпадают. Например, SAP для IP равен 6.

8. Control. 1 байт (2 байта в управляющих кадрах). Используется для обозначения типа кадра данных — информационный, управляющий или нумерованный. Кроме этого, в этом поле указываются порядковые номера отправленных и успешно принятых кадров, если подуровень LLC работает по процедуре LLC2 с установлением соединения.

Поля DSAP, SSAP и Control образуют заголовок LLC.

9. Data. 46–1497 байт. Поле данных. Минимальная длина поля составляет 46 байт, что требуется для корректной работы механизма обнаружения коллизий. Если данных не хватает, то добавляется поле заполнения, чтобы обеспечить минимальную длину поля данных (46 байт).

10. Frame Check Sequences (FCS). 4 байта. Контрольная сумма для выявления ошибок передачи. Используется код CRC-32.

11. Inter Frame Gap (IFG). 12 байт. Межкадровый интервал.

Стандарт **Ethernet 802.3 with SNAP header (Ethernet SNAP)** также был разработан комитетом IEEE. Структура кадра Ethernet SNAP показана на рис. 1.3.

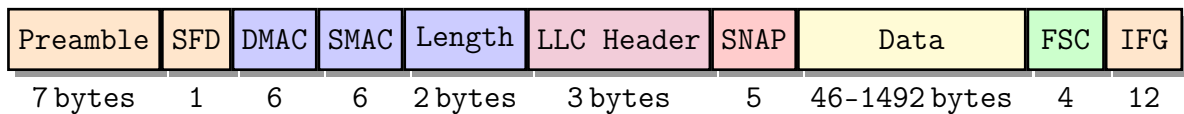


Рис. 1.3. Структура кадра Ethernet 802.3 with SNAP header

Отличия Ethernet SNAP от Ethernet 802.3 with LLC:

1. Subnetwork Access Protocol (SNAP). 5 байт. Состоит из двух частей:
  - Organizationally Unique Identifier (OUI). 3 байта. Идентификатор организации или производителя. Совпадает с первыми 3-мя байтами MAC адреса отправителя.
  - Protocol ID (PID). 2 байта. Соответствует полю EtherType из Ethernet II. Для указания того, что тип вышестоящего протокола нужно смотреть в поле SNAP, поля DSAP и SSAP принимают фиксированное значение 0xAA.
2. Data. 46–1492 байта. Из-за введения поля SNAP максимальная длина поля данных ограничена 1492 байтами.

Стандарт **Ethernet II with 802.1Q (802.3ac)** предложен комитетом IEEE. Это открытый стандарт, который описывает процедуру тегирования трафика для передачи информации о принадлежности к VLAN. Тэг 802.1Q добавляется перед полем EtherType. Общая длина фрейма без учета преамбулы и межкадрового интервала увеличивается до 1522 байт. Структура кадра Ethernet 802.1Q показана на рис. 1.4.

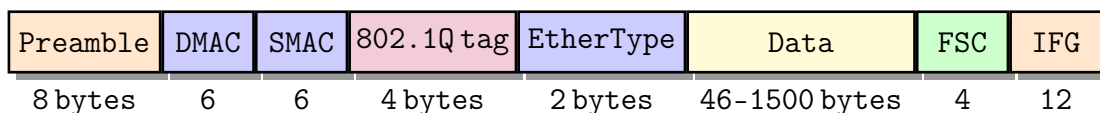


Рис. 1.4. Структура кадра Ethernet II with 802.1Q (802.3ac)

### 1.2.2. Frame Relay. Структура кадра

Frame Relay (FR) — протокол канального уровня сетевой модели OSI. Максимальная скорость, допускаемая протоколом FR — 34,368 Мбит/с (каналы E3). Коммутация: точка-точка.

Frame Relay был создан в начале 1990-х в качестве замены протоколу X.25 для быстрых надежных каналов связи. Технология FR архитектурно основана на X.25 и во многом сходна с этим протоколом, однако в отличие от X.25, рассчитанного на линии с достаточно высокой частотой ошибок, FR изначально ориентировался на физические линии с низкой частотой ошибок, и поэтому большая часть механизмов коррекции ошибок X.25 в состав стандарта FR не вошла. Frame relay обеспечивает множество независимых виртуальных каналов (Virtual Circuits, VC) в одной линии связи, идентифицируемых

в FR-сети по идентификаторам подключения к соединению (DLCI). Вместо средств управления потоком она включает функции извещения о перегрузках в сети. Возможно назначение минимальной гарантированной скорости (CIR) для каждого виртуального канала. В основном применяется при построении территориально распределённых корпоративных сетей, а также в составе решений, связанных с обеспечением гарантированной пропускной способности канала передачи данных (VoIP, видеоконференции и т. п.).

В технологии Frame Relay также существуют различные форматы кадров. Будем рассматривать только общий формат кадра. Он показан на рис. 1.5.

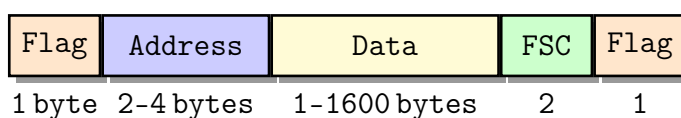


Рис. 1.5. Структура кадра Frame Relay

Назначение и длина полей кадра:

1. Flag («флаг»). 1 байт. Это поле начинает и замыкает кадр. В качестве флага используется последовательность «01111110». Для предотвращения случайной имитации последовательности «флаг» внутри кадра при его передаче после каждой последовательности из пяти идущих подряд бит «1» вставляется бит «0». Эта процедура (bit stuffing) обязательна при формировании любого кадра FR. При приёме вставленные биты «0» отбрасываются.

2. Address. 2–4 байт. Кроме собственно адресной информации, это поле содержит также и дополнительные поля управления потоком данных и уведомлений о перегрузке канала. В зависимости от адресного пространства меняется величина поля. При расчетах размер этого поля следует принимать равным 4 байтам.

3. Data. 1–1600 байт. Поле данных.

4. Frame Check Sequences (FCS). 2 байта. Служит для обнаружения ошибок. Формируется аналогично циклическому коду HDLC.

### 1.2.3. Token Ring. Структура кадра

Token Ring — протокол канального уровня модели OSI. Изначально технология была разработана компанией IBM в 1984 г. В 1985 г. комитет IEEE 802 на основе этой технологии принял стандарт IEEE 802.5. Станции в локальной вычислительной сети Token Ring логически организованы в кольцевую топологию с данными, передаваемыми последовательно от одной кольцевой станции до другой с управляющим маркером, циркулирующим вокруг кольцевого доступа управления.

Существуют 2 модификации Token Ring, отличающиеся по скоростям передачи: 4 Мбит/с и 16 Мбит/с. В Token Ring 16 Мбит/с используется технология раннего освобождения маркера. Суть этой технологии заключает-



ся в том, что станция, «захватившая» маркер, по окончании передачи данных генерирует свободный маркер и запускает его в сеть. Попытки внедрить 100 Мбит/с технологию не увенчались коммерческим успехом. В настоящее время технология Token Ring считается устаревшей.

Формат информационного кадра приведен на рис. 1.6.

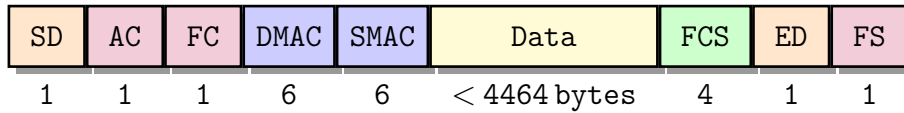


Рис. 1.6. Структура информационного кадра Token Ring

Назначение и длина полей кадра:

1. Start delimiter (SD). 1 байт. Флаг начала кадра.
2. Access-control byte (AC). 1 байт. Управление доступом.
3. Frame-control byte (FC). 1 байт. Управление кадром (0x01 для информационного кадра).
4. Destination MAC. 6 байт. MAC-адрес назначения.
5. Source MAC. 6 байт. MAC-адрес источника.
6. Data. До 4464 байт. Поле данных. Минимальная длина поля не определена, может быть равна нулю.
7. Frame Check Sequences (FCS). 4 байта. Контрольная сумма для выявления ошибок передачи. Используется код CRC-32.
8. End delimiter (ED). 1 байт. Флаг окончания кадра.
9. Frame Status (FS). 1 байт. Состояние кадра.

#### 1.2.4. Расчет избыточности и полезной скорости передачи данных

Под *избыточностью* в данном случае будем понимать объем/долю служебной информации в передаваемом потоке данных.

Таким образом, можно выделить *абсолютную избыточность*  $D$ , определяемую как количество служебных байт (заголовки, флаги, контрольные суммы и т. п.) во всем объеме передаваемой информации, и *относительную избыточность*  $d$ , определяемую как долю служебной информации в передаваемом потоке данных и рассчитываемую по формуле

$$d = \frac{D}{N},$$

где  $N$  — полный размер передаваемых данных (и полезная информация, и служебная вместе).

Необходимо отметить, что для рассматриваемых в работе технологий пакетной передачи данных, относящихся к канальному уровню семиуровневой модели OSI, полезной информацией считается вся информация, поступающая с вышележащих уровней модели.

Для оценки полезной скорости передачи данных, можно использовать формулу

$$R_{\text{пол.}} = (1 - d) \cdot R,$$

где  $R$  — полная скорость передачи данных.

### 1.3. Порядок выполнения задания

#### 1.3.1. Разбиение блока данных на кадры и расчет избыточности

1. Выбрать согласно своему номеру варианта размер блока данных и технологию передачи данных (табл. 1.1).

2. Определить количество кадров, требуемое для передачи заданного блока данных. Поле данных у кадров, идущих вначале, должно заполняться полностью. Например, если надо передать 2000 байт данных по технологии Ethernet II, то в первом кадре должно быть передано 1500 байт, а во втором — 500 байт.

3. Рассчитать абсолютную избыточность  $D$ . В кадре Ethernet нулевые байты заполнения (padding) также относятся к избыточности.

4. Рассчитать относительную избыточность  $d$ .

Таблица 1.1

Варианты задания 1.3.1  
(выбираются согласно номеру студента в журнале)

№	Данные, байт	Технология	№	Данные, байт	Технология
1	6028	Ethernet II	16	7504	Eth. II 802.1Q
2	7499	Eth. 802.3 LLC	17	8996	Frame Relay
3	8979	Eth. 802.3 SNAP	18	10504	Token Ring
4	10485	Eth. II 802.1Q	19	12016	Ethernet II
5	11968	Frame Relay	20	7476	Eth. 802.3 LLC
6	6000	Token Ring	21	8979	Eth. 802.3 SNAP
7	7531	Ethernet II	22	10506	Eth. II 802.1Q
8	9011	Eth. 802.3 LLC	23	11995	Frame Relay
9	10466	Eth. 802.3 SNAP	24	9001	Token Ring
10	12013	Eth. II 802.1Q	25	4517	Ethernet II
11	7496	Frame Relay	26	8999	Eth. 802.3 LLC
12	8983	Token Ring	27	10487	Eth. 802.3 SNAP
13	10478	Ethernet II	28	11962	Eth. II 802.1Q
14	11996	Eth. 802.3 LLC	29	7525	Frame Relay
15	13465	Eth. 802.3 SNAP	30	6020	Token Ring

### 1.3.2. Оценка полезной скорости передачи данных

1. Выбрать согласно своему номеру варианта средний размер блока данных в передаваемых кадрах, технологию передачи и скорость передачи данных (табл. 1.2).
2. Определить относительную избыточность.
3. Рассчитать полезную скорость передачи данных.

Таблица 1.2

Варианты задания 1.3.2  
(выбираются согласно номеру студента в журнале)

№	Данные байт	Технология	Скор. Мбит/с	№	Данные байт	Технология	Скор. Мбит/с
1	804	Eth. 802.3 SNAP	50	16	297	Token Ring	4
2	129	Eth. II 802.1Q	100	17	989	Ethernet II	10
3	824	Frame Relay	30	18	751	Eth. 802.3 LLC	100
4	415	Token Ring	4	19	674	Eth. 802.3 SNAP	50
5	205	Ethernet II	10	20	582	Eth. II 802.1Q	100
6	627	Eth. 802.3 LLC	50	21	805	Frame Relay	34
7	337	Eth. 802.3 SNAP	85	22	902	Token Ring	16
8	443	Eth. II 802.1Q	100	23	489	Ethernet II	10
9	90	Frame Relay	34	24	434	Eth. 802.3 LLC	85
10	140	Token Ring	16	25	73	Eth. 802.3 SNAP	100
11	346	Ethernet II	50	26	837	Eth. II 802.1Q	50
12	819	Eth. 802.3 LLC	85	27	63	Frame Relay	31
13	315	Eth. 802.3 SNAP	100	28	927	Token Ring	16
14	859	Eth. II 802.1Q	40	29	520	Ethernet II	100
15	727	Frame Relay	23	30	71	Eth. 802.3 LLC	85

### 1.4. Контрольные вопросы

1. Технология и формат кадра Ethernet II DIX.
2. Формат кадра Ethernet 802.3/802.2 (802.3 with LLC header).
3. Формат кадра 802.3 with SNAP header (Ethernet SNAP).
4. Формат кадра Ethernet II with 802.1Q (802.3ac).
5. Технология и формат кадра Frame Relay.
6. Технология и формат кадра Token Ring.
7. Избыточность при передаче данных и ее определение.

## Практическая работа 2

### *Расчет задержек при выборе конфигурации сети Ethernet*

#### 2.1. Цель работы

Ознакомиться с принципами построения сети Ethernet с использованием повторителей. Научиться оценивать задержки при передаче данных по сети Ethernet, построенной с использованием повторителей.

#### 2.2. Теоретические сведения

##### 2.2.1. Оценка конфигурации сети Ethernet (10 Мбит/с)

При выборе конфигурации сети Ethernet, состоящей из сегментов различных типов, возникают вопросы, связанные с максимально допустимым размером (диаметром) сети и максимально возможным числом различных элементов. Сеть будет работоспособной только в том случае, если задержка распространения сигнала в ней не превысит предельной величины. Это определяется выбранным методом управления обменом CSMA/CD, основанном на обнаружении и разрешении коллизий и предназначенном для работы в сети (участке сети) с общей шиной (средой передачи), образующей так называемый домен (область) коллизий (collision domain).

Для надежного распознавания коллизий необходимо, чтобы коллизия была обнаружена в процессе передачи кадра. В худшем варианте в конфликт могут вступить две наиболее удаленные друг от друга станции **A** и **B**. Пусть станция **A**, решив, что шина свободна, начинает передачу кадра. До самой удаленной от нее станции **B** этот кадр дойдет через некоторый промежуток времени  $t$ . Если в этот момент станция **B**, также решив, что шина свободна, начинает передачу своего кадра, возникает коллизия. Искорженная информация дойдет до станции **A** также через время  $t$ . Поэтому коллизия будет обнаружена станцией **A** через время  $2t$  после начала передачи ею кадра. К моменту обнаружения коллизии станция **A** не должна закончить передачу кадра. Следовательно, соотношение между временем, необходимым для передачи кадра минимальной длины, и задержкой сигнала при распространении в сети должно иметь вид

$$T_{\min} \geq 2t,$$

где  $t$  — время распространения сигнала по сети Ethernet. Удвоенное время распространения сигнала называют *временем двойного оборота* (Path Delay Value, PDV). Время двойного оборота в сети определяется максимальной длиной сети, а также устройствами (концентраторами, повторителями), вносящими задержку в распространение сигнала.

Стоит отметить, что подобная проблема возникает прежде всего при построении сетей на основе повторителей («репитеров») и/или концентраторов («хабов»), являющихся самыми простыми сетевыми устройствами. Такая сеть имеет общую среду передачи, логически не разделенную на сегменты, в связи с чем и требуется оценка возможных задержек. В настоящее время при построении сетей Ethernet чаще используются более сложные и, соответственно, более «умные» устройства, такие как коммутаторы («свитчи») и маршрутизаторы («роутеры»), которые фактически разделяют сеть Ethernet на отдельные сегменты «точка-точка» (отдельные домены коллизий), как показано на рис. 2.1. Тем не менее, повторители (и концентраторы, выполняющие их роль) могут использоваться, когда необходимо сформировать участки сети Ethernet большой длины, превышающей максимальную возможную длину сегмента для выбранной технологии с учетом используемых типов кабелей. Также повторители могут использоваться, когда необходимо сформировать длинный тракт Ethernet с использованием различных технологий, например, две ЭВМ соединены с повторителями при помощи витой пары, а повторители уже соединены между собой оптическим кабелем. Такая конфигурация тракта позволяет достичь значительно большего расстояния передачи, нежели при использовании только витой пары.

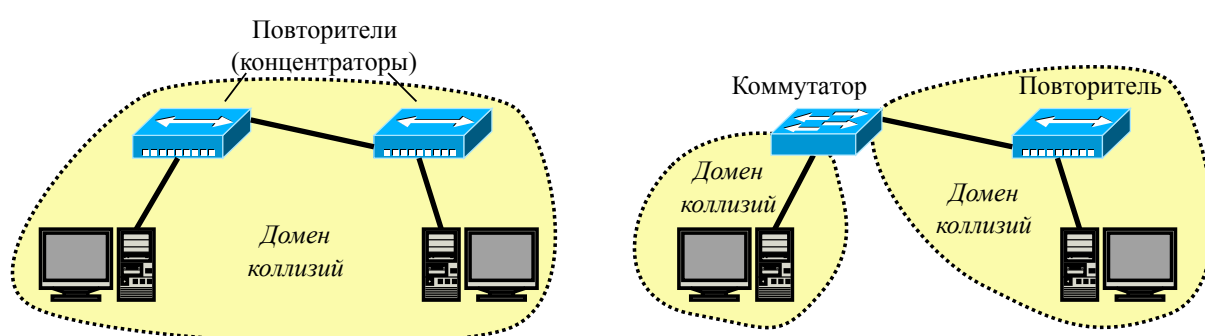


Рис. 2.1. Разделение сети Ethernet на отдельные домены коллизий с использованием коммутатора

В дальнейшем будем вести речь о сетях, участках сети и трактах Ethernet, построенных на повторителях. Размер (длина) такого участка сети определяется размером домена коллизий.

При выборе и оценке конфигурации сети Ethernet, построенной на повторителях, используются две основные модели.

### Модель 1

Первая модель формулирует набор правил, которые необходимо соблюдать проектировщику сети при соединении отдельных компьютеров и сегментов. Считается, что соблюдение данных правил гарантирует допустимую величину задержки сигнала в сети и никаких дополнительных расчетов в этом случае не требуется.

1. Репитер или концентратор, подключенный к сегменту сети, снижает на единицу максимально допустимое число абонентов, подключаемых к сегменту.

2. Полный путь между двумя любыми абонентами должен включать в себя не более пяти сегментов, четырех концентраторов (репитеров) и двух трансиверов (MAU).

3. Если путь между абонентами состоит из пяти сегментов и четырех повторителей/концентраторов, то количество сегментов, к которым подключены абоненты, не должно превышать трех, а остальные сегменты должны просто связывать между собой концентраторы (репитеры). Это так называемое «правило 5-4-3».

4. Если путь между абонентами состоит из четырех сегментов и трех повторителей/концентраторов, то должны выполняться следующие условия:

- максимальная длина оптоволоконного кабеля сегмента 10BASE-FL, соединяющего между собой повторители/концентраторы, не должна превышать 1000 метров;
- максимальная длина оптоволоконного кабеля сегмента 10BASE-FL, соединяющего повторители/концентраторы с компьютерами, не должна превышать 400 метров;
- ко всем сегментам могут подключаться компьютеры.

## **Модель 2**

Вторая модель, применяемая для оценки конфигурации Ethernet, основана на точном расчете временных характеристик выбранной конфигурации сети. Эта модель иногда позволяет выйти за пределы жестких ограничений модели 1. Применение модели 2 необходимо в том случае, когда размер проектируемой сети близок к максимально допустимому.

В модели 2 используются следующие две системы расчетов.

1. *Первая система* предполагает вычисление двойного оборота сигнала (PDV) по сети и сравнение его с максимально допустимой величиной.

2. *Вторая система* проверяет сокращение величины получаемого межкадрового временного интервала (IFG — InterFrame Gap) в сети (Path Variability Value, PVV).

Вычисления в обеих системах расчетов ведутся для наихудшего случая, для *пути максимальной длины*, т. е. для такого пути передаваемого по сети пакета, который требует для своего прохождения максимального времени.

В обеих системах в качестве меры измерения времени используется *битовый интервал (bt)*, т. е. время передачи одного бита. Максимально допустимая величина двойного времени прохождения сигнала по сети Ethernet составляет 575 bt, что обуславливается минимальным размером кадра Ethernet с учетом преамбулы (72 байта, или 576 бит). При этом, согласно рекоменда-

циям IEEE семейства 802.3, рекомендуется оставлять запас в пределах 1–4 bt для учета кабелей внутри соединительных шкафов и погрешностей измерения. Величина же IFG, как следует из структуры кадра Ethernet, составляет 12 байт или 96 bt.

При первой системе расчетов выделяются три типа сегментов:

- *начальный сегмент* соответствует началу пути максимальной длины;
- *конечный сегмент* расположен в конце пути максимальной длины;
- *промежуточный сегмент* входит в путь максимальной длины, но не является ни начальным, ни конечным.

Промежуточных сегментов в выбранном пути может быть несколько, а начальный и конечный сегменты при разных расчетах могут меняться местами друг с другом. Выделение этих трех типов сегментов позволяет автоматически учитывать задержки сигнала на всех концентраторах, входящих в путь максимальной длины, а также в приемопередающих узлах адаптеров.

Величины задержек, используемые для расчетов, представлены в табл. 2.1. Необходимо отметить, что эти данные приведены для усредненного случая. В зависимости от выбранного кабеля значения задержек могут изменяться.

Таблица 2.1

*Величины задержек в битовых интервалах для расчета двойного времени прохождения сигнала по сети Ethernet 10 Мбит/с*

Тип сегмента Ethernet	Макс. длина, м	Начальный сегмент		Промежут. сегмент		Конечный сегмент		Задержка на метр длины $t_l$
		$t_0$	$t_m$	$t_0$	$t_m$	$t_0$	$t_m$	
10BASE-5	500	11,8	55,0	46,5	89,8	169,5	212,8	0,087
10BASE-2	185	11,8	30,8	46,5	65,5	169,5	188,5	0,103
10BASE-T	100	15,3	26,6	42,0	53,3	165,0	176,3	0,113
10BASE-FL	2000	12,3	212,3	33,5	233,5	156,5	356,5	0,100
FOIRL	1000	7,8	107,8	29,0	129,0	152,0	252,0	0,100
AUI	50	0	5,1	0	5,1	0	5,1	0,103

Для справки приведем расшифровку обозначений, указанных в табл. 2.1 версий технологии Ethernet.

1. 10BASE-5, IEEE 802.3 («Толстый Ethernet») — первоначальная разработка технологии со скоростью передачи данных 10 Мбит/с. Использует коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом (RG-8), с максимальной длиной сегмента 500 метров.

2. 10BASE02, IEEE 802.3a («Тонкий Ethernet») — используется кабель RG-58, с максимальной длиной сегмента 185 метров. Компьютеры присоединяются один к другому. Для подключения кабеля к сетевой карте используется Т-коннектор, при этом на кабеле должен быть BNC-коннектор. Требуется

наличие терминаторов на каждом конце. Многие годы этот стандарт был основным для технологии Ethernet.

3. 10BASE-T, IEEE 802.3i — для передачи данных используется 4 провода кабеля витой пары (две скрученные пары) Cat.3 или Cat.5. Максимальная длина сегмента 100 метров.

4. FOIRL (Fiber-optic inter-repeater link) — базовый стандарт для технологии Ethernet, использующий для передачи данных оптический кабель. Максимальное расстояние передачи данных без повторителя — 1 км.

5. 10BASE-FL (Fiber Link) — улучшенная версия стандарта FOIRL. Улучшение коснулось увеличения длины сегмента до 2 км.

6. AUI (Attachment unit interface, интерфейс модуля присоединения) — 15-штырьковый разъем для соединения между сетевой платой компьютера и приемопередатчиком на магистральном кабеле Ethernet 10BASE5 при помощи короткого кабеля. Используется стандартный разъем DA-15 с несколько измененным креплением. Другое название интерфейса — DIX (по первым буквам названий компаний, участвовавших в разработке стандарта — DEC, Intel и Xerox).

Методика расчета сводится к следующим действиям.

1. В сети выделяется путь максимальной длины. Все дальнейшие расчеты ведутся для него. Если этот путь не очевиден, то рассчитываются все возможные пути, затем на основании этого выбирается путь максимальной длины.

2. Если длина сегмента, входящего в выбранный путь, не максимальна, то рассчитывается двойное (круговое) время прохождения в каждом сегменте выделенного пути по формуле:  $t_s = L \cdot t_l + t_o$ , где  $L$  — это длина сегмента в метрах (при этом надо учитывать тип сегмента: начальный, промежуточный или конечный).

3. Если длина сегмента равна максимально допустимой, то из таблицы для него берется величина максимальной задержки  $t_m$ .

4. Суммарная величина задержек всех сегментов выделенного пути не должна превышать предельной величины 575 bt.

5. Затем необходимо проделать те же действия для обратного направления выбранного пути (т. е. в данном случае конечный сегмент считается начальным и наоборот). Из-за разных задержек передающих и принимающих узлов концентраторов величины задержек в разных направлениях могут отличаться (но незначительно).

6. Если задержки в обоих случаях не превышают величины 575 bt с учетом рекомендуемого запаса, сеть считается работоспособной.

Тем не менее, чтобы сделать окончательный вывод о работоспособности сети, необходимо также проверить соответствие стандарту величины меж-



кадрового интервала (IFG), которая не должна быть меньше, чем 96 bt (9,6 мкс для скорости 10 Мбит/с). Однако при прохождении кадров через повторители/концентраторы IFG может сокращаться, вследствие чего два пакета могут восприниматься абонентами как один. Допустимое сокращение IFG определено стандартом в 49 bt (4,9 мкс для скорости 10 Мбит/с).

Для вычислений используются понятия начального и промежуточного сегментов. Конечный сегмент не вносит вклада в сокращение межпакетного интервала, так как пакет доходит по нему до принимающего компьютера без прохождения репитеров и концентраторов. Величины сокращения IFG для разных типов сегментов Ethernet показаны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

*Величины сокращения межкадрового интервала (IFG) для разных типов Ethernet 10 Мбит/с*

Сегмент	Начальный	Промежуточный
10BASE-2	16	11
10BASE-5	16	11
10BASE-T	16	11
10BASE-FL	11	8
FOIRL	11	8

Для получения полной величины сокращения IFG надо просуммировать величины из таблицы для сегментов, входящих в путь максимальной длины, и сравнить сумму с предельной величиной 49 bt. Если сумма меньше 49 bt, можно сделать вывод о работоспособности сети. Для гарантии расчет производится в обоих направлениях выбранного пути.

Если расчеты показывают, что сеть неработоспособна, то необходимо изменять конфигурацию или структуру сети.

1. Уменьшение длины кабелей с целью снижения задержки прохождения сигнала по сети (если возможно).
2. Уменьшение количества концентраторов для снижения задержек и сокращения IFG (если возможно).
3. Выбор кабеля с наименьшей задержкой. Кабели различных марок имеют разные задержки, т. е. разные скорости распространения сигнала.
4. Разбиение сети на несколько сегментов (доменов коллизий) с помощью коммутаторов. Для каждого нового сегмента сети также требуется произвести расчет работоспособности.
5. Переход на другую технологию построения локальной сети, например FDDI, которая позволяет строить максимальные по размеру сети. Однако оборудование ее очень дорого, и для связи с сетью Ethernet нужны мосты.

Для примера рассмотрим оценку конфигурации сети (тракта) Ethernet, приведенной на рис. 2.2. Тракт Ethernet, соединяющий два ПК, состоит из че-

тырех участков, построенных по разным технологиям, и трех повторителей, соединяющих эти участки.

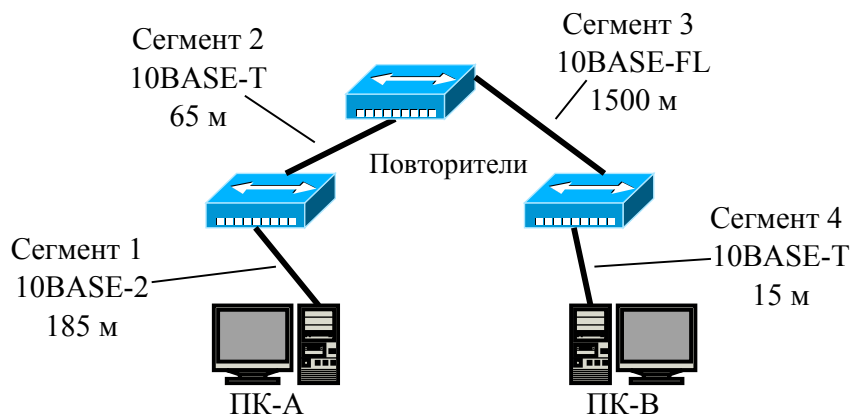


Рис. 2.2. Пример сети Ethernet для проведения оценки ее конфигурации

Вначале рассмотрим расчет времени двойного оборота при передаче от ПК-А к ПК-В.

- Сегмент 1 (начальный участок). Построен по технологии 10BASE-2 и, согласно табл. 2.1, имеет максимальную длину. Следовательно, его время задержки равно

$$t_1 = 30,8 \text{ bt.}$$

- Сегмент 2 (промежуточный). Построен по технологии 10BASE-T, имеет длину меньше максимальной, следовательно, его время задержки рассчитывается по формуле  $t_s = L \cdot t_l + t_o$ :

$$t_2 = 65 \cdot 0,113 + 42,0 = 49,4 \text{ bt.}$$

- Сегмент 3 (промежуточный). Построен по технологии 10BASE-FL, имеет длину меньше максимальной:

$$t_3 = 1500 \cdot 0,100 + 33,5 = 183,5 \text{ bt.}$$

- Сегмент 4 (конечный). Построен по технологии 10BASE-T, имеет длину меньше максимальной:

$$t_4 = 15 \cdot 0,113 + 165,0 = 166,7 \text{ bt.}$$

Таким образом, общее время двойного оборота от ПК-А к ПК-В равно

$$t_{PDVAB} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 430,4 \text{ bt} < 575 \text{ bt.}$$

Аналогично можно рассчитать время двойного оборота при передаче от ПК-В к ПК-А. Отличие будет лишь во времени для сегмента 1 и сегмента 4. Теперь 4 будет начальным, а сегмент 1 — конечным.

- Сегмент 4 (начальный участок):

$$t_4 = 15 \cdot 0,113 + 15,3 = 17,0 \text{ bt.}$$

- Сегмент 1 (конечный участок):

$$t_1 = 188,5 \text{ bt.}$$

Общее время двойного оборота от ПК-В к ПК-А равно

$$t_{PDVBA} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 438,4 \text{ bt} < 575 \text{ bt.}$$

Можно сделать вывод, что приведенная на рис. 2.2 сеть Ethernet удовлетворяет требованию по времени двойного оборота.

Теперь рассчитаем сокращение межкадрового интервала:

$$t_{PVVAB} = 16 + 11 + 8 = 35 \text{ bt} < 49 \text{ bt,}$$

$$t_{PVVBA} = 16 + 11 + 8 = 35 \text{ bt} < 49 \text{ bt.}$$

Таким образом, сеть на рис. 2.2 удовлетворяет и требованиям по сокращению межкадрового интервала.

### **2.2.2. Оценка конфигурации сети Fast Ethernet (100 Мбит/с)**

В Fast Ethernet выделяют два типа повторителей.

1. Повторители 1-го класса. Они поддерживают все типы линейного кодирования (4В/5В, 8В/6Т и др.) и могут транслировать протоколы (например из 100Base-TX в 100Base-T4 и наоборот), из-за чего вносят при передаче сигнала большую задержку.

2. Повторители 2-го класса. Поддерживают только один тип линейного кодирования и не транслируют протоколы, соответственно, внося гораздо меньшую задержку.

Точно так же, как и в случае Ethernet, для определения работоспособности сети Fast Ethernet стандарт IEEE 802.3 предлагает две модели, называемые Transmission System Model 1 и Transmission System Model 2. Первая модель основана на нескольких несложных правилах. Она исходит из того, что все компоненты сети (в частности, кабели) имеют наилучшие из возможных временные характеристики, поэтому всегда дает результат со значительным запасом. Вторая модель использует систему точных расчетов с реальными временными характеристиками кабелей. В связи с этим ее применение позволяет иногда преодолеть жесткие ограничения модели 1.

## Transmission System Model 1

В соответствии с первой моделью, при выборе конфигурации надо руководствоваться следующими принципами.

1. Сегменты, выполненные на электрических кабелях (витых парах), не должны быть длиннее 100 метров. Это относится к кабелям всех категорий — 3, 4 и 5, к сегментам 100BASE-T4 и 100BASE-TX.
2. Сегменты, выполненные на оптоволоконных кабелях, не должны быть длиннее 412 метров.
3. Если используются адаптеры с внешними (выносными) трансиверами, то трансиверные кабели (МП) не должны быть длиннее 50 сантиметров.

## Transmission System Model 2

Как и в Ethernet 10 Мбит/с в Fast Ethernet вторая модель предполагает проведение расчета времени двойного оборота (PDV). Для этого комитет IEEE 802.3 приводит данные об удвоенных задержках, вносимых кабельными сегментами, сетевыми адаптерами и повторителями Fast Ethernet. По сравнению с аналогичными данными для Ethernet методика расчета изменилась — сегменты теперь не делятся на начальный, конечный и промежуточные; кроме того, вносимые сетевыми адаптерами задержки учитывают теперь преамбулы кадров, поэтому рассчитанное значение PDV нужно сравнивать не с 575 bt, а с 512 bt, т. е. временем передачи кадра минимальной длины без преамбулы. В соответствии с рекомендациями IEEE достаточным является запас в 4–6 bt.

В табл. 2.3–2.5 показаны усредненные задержки, вносимые кабелем, задержки адаптеров и удвоенные задержки повторителей, соответственно.

Таблица 2.3

*Усредненные задержки, вносимые кабелем для Fast Ethernet*

Тип кабеля	Задержка, bt/м
UTP cat.3	1,14
UTP cat.4	1,14
UTP cat.5	1,112
STP	1,112
Оптоволокно	1,0

Таблица 2.4

*Задержки, вносимые адаптером Fast Ethernet*

Тип адаптера	Задержка, bt
Два адаптера 100BASE-TX	100
Два адаптера 100BASE-FX	100
Два адаптера 100BASE-T4	138
Один TX или FX и один T4	127

Удвоенные задержки повторителей Fast Ethernet

Тип повторителя	Задержка, bt
класс 1	140
класс 2 (Т4)	67
класс 2 (ТХ)	92
класс 2 (FX)	92

Для справки приведем расшифровку обозначений, указанных в таблицах версий технологии Fast Ethernet.

1. 100BASE-TX, IEEE 802.3u — стандарт, использующий витую пару категории 5. Фактически используются только две неэкранированные пары проводников. Поддерживается дуплексная передача данных. Максимальная длина сегмента 100 м.

2. 100BASE-T4 — стандарт, использующий витую пару категории 3. Действуют все четыре пары проводников, передача данных идёт в полудуплексе.

3. 100BASE-FX — стандарт, использующий многомодовое волокно. Максимальная длина сегмента 400 метров в полудуплексе (для гарантированного обнаружения коллизий) или 2 километра в полном дуплексе.

Для примера рассмотрим оценку конфигурации сети (тракта) Fast Ethernet, приведенной на рис. 2.3. Тракт Ethernet, соединяющий два ПК, состоит из четырех участков, построенных по разным технологиям, и трех повторителей, соединяющих эти участки.

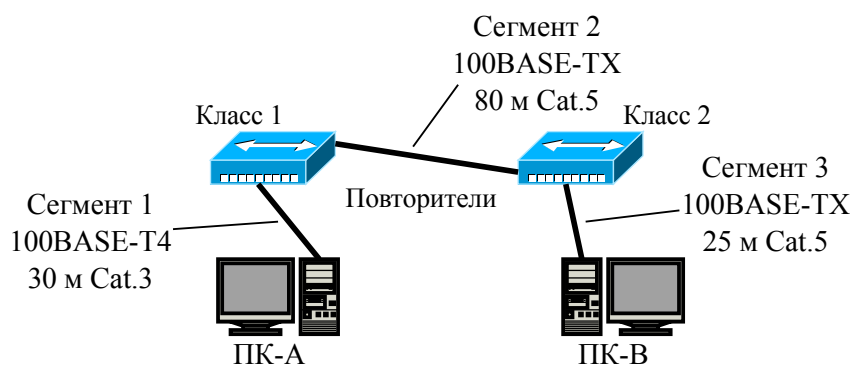


Рис. 2.3. Пример сети Fast Ethernet для проведения оценки ее конфигурации

Проведем расчет времени двойного оборота.

- Согласно табл. 2.3 рассчитаем задержки, вносимые кабелем:

$$t_{\text{каб.}} = 30 \cdot 1,14 + (80 + 25) \cdot 1,112 = 151,0 \text{ bt.}$$

- ПК-А подключен к сети, работающей по технологии 100BASE-T4, а ПК-В — к сети 100BASE-TX, следовательно, согласно табл. 2.4, задержки,

вносимые адаптерами, будут равны

$$t_{\text{адапт.}} = 127 \text{ bt.}$$

- Тракт Fast Ethernet содержит один повторитель класса 1 и один повторитель класса 2, следовательно, согласно табл. 2.5, вносимые ими задержки будут равны

$$t_{\text{повт.}} = 140 + 92 = 232.$$

Общее время двойного оборота равно

$$t_{PDV} = t_{\text{каб.}} + t_{\text{адапт.}} + t_{\text{повт.}} = 510 \text{ bt} < 512 \text{ bt.}$$

Можно сделать вывод, что приведенная на рис. 2.3 сеть Fast Ethernet удовлетворяет требованию по времени двойного оборота с запасом прочности, равным 2 bt.

## 2.3. Порядок выполнения задания

### 2.3.1. Оценка конфигурации сети Ethernet

1. Выбрать согласно своему номеру варианта параметры сети Ethernet (табл. 2.6). Структура оцениваемой сети показана на рис. 2.4.

2. Рассчитать время двойного оборота (PDV) при передаче данных от ПК-А к ПК-В и в обратном направлении. Сделать вывод о соответствии сети требованиям по PDV. В случае, если сеть не удовлетворяет требованиям, предложить вариант решения и подтвердить его расчетом.

3. Рассчитать сокращение межкадрового интервала (PVV) от ПК-А к ПК-В и в обратном направлении. Сделать выводы. В случае, если сеть не удовлетворяет требованиям, предложить вариант решения и подтвердить его расчетом.

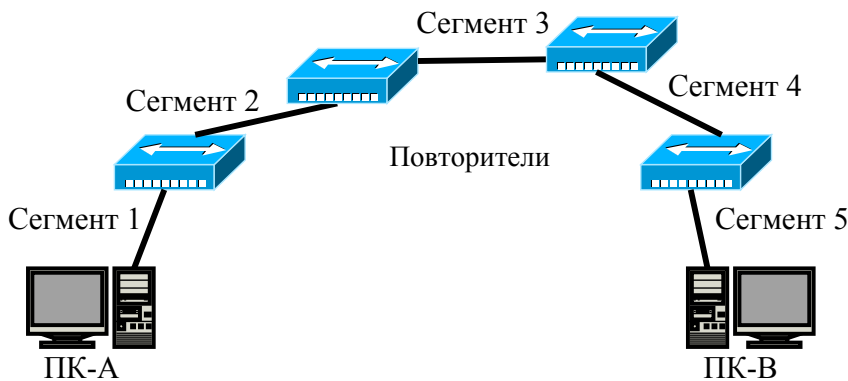


Рис. 2.4. Структура сети Ethernet для задания 2.3.1

Таблица 2.6

Варианты задания 2.3.1  
(выбираются согласно номеру студента в журнале)

№	Сегмент 1		Сегмент 2		Сегмент 3		Сегмент 4		Сегмент 5	
	Стандарт	l, м	Стандарт	l, м	Стандарт	l, м	Стандарт	l, м	Стандарт	l, м
1	10BASE-5	500	10BASE-5	256	10BASE-FL	779	10BASE-T	62	FOIRL	231
2	10BASE-2	185	10BASE-2	35	FOIRL	885	10BASE-FL	342	10BASE-5	471
3	10BASE-T	100	10BASE-T	33	10BASE-5	130	FOIRL	564	10BASE-2	115
4	10BASE-FL	2000	10BASE-FL	272	10BASE-2	137	10BASE-5	83	10BASE-T	74
5	FOIRL	1000	FOIRL	648	10BASE-T	39	10BASE-2	72	10BASE-FL	145
6	10BASE-5	500	10BASE-5	254	10BASE-FL	918	10BASE-T	45	FOIRL	628
7	10BASE-2	185	10BASE-2	148	FOIRL	915	10BASE-FL	231	10BASE-5	426
8	10BASE-T	100	10BASE-T	87	10BASE-5	468	FOIRL	795	10BASE-2	134
9	10BASE-FL	2000	10BASE-FL	456	10BASE-2	64	10BASE-5	117	10BASE-T	76
10	FOIRL	1000	FOIRL	840	10BASE-T	47	10BASE-2	75	10BASE-FL	127
11	10BASE-5	500	10BASE-5	113	10BASE-FL	432	10BASE-T	52	FOIRL	233
12	10BASE-2	185	10BASE-2	58	FOIRL	570	10BASE-FL	430	10BASE-5	214
13	10BASE-T	100	10BASE-T	48	10BASE-5	211	FOIRL	511	10BASE-2	148
14	10BASE-FL	2000	10BASE-FL	513	10BASE-2	58	10BASE-5	482	10BASE-T	42
15	FOIRL	1000	FOIRL	500	10BASE-T	76	10BASE-2	138	10BASE-FL	240
16	10BASE-5	500	10BASE-5	127	10BASE-FL	953	10BASE-T	44	FOIRL	130
17	10BASE-2	185	10BASE-2	137	FOIRL	990	10BASE-FL	346	10BASE-5	86
18	10BASE-T	100	10BASE-T	51	10BASE-5	316	FOIRL	591	10BASE-2	146
19	10BASE-FL	2000	10BASE-FL	647	10BASE-2	115	10BASE-5	148	10BASE-T	77
20	FOIRL	1000	FOIRL	892	10BASE-T	57	10BASE-2	150	10BASE-FL	140
21	10BASE-5	500	10BASE-5	69	10BASE-FL	437	10BASE-T	30	FOIRL	137
22	10BASE-2	185	10BASE-2	121	FOIRL	807	10BASE-FL	380	10BASE-5	110
23	10BASE-T	100	10BASE-T	32	10BASE-5	416	FOIRL	841	10BASE-2	75
24	10BASE-FL	2000	10BASE-FL	200	10BASE-2	136	10BASE-5	449	10BASE-T	62
25	FOIRL	1000	FOIRL	574	10BASE-T	73	10BASE-2	103	10BASE-FL	133
26	10BASE-5	500	10BASE-5	80	10BASE-FL	267	10BASE-T	29	FOIRL	205
27	10BASE-2	185	10BASE-2	125	FOIRL	504	10BASE-FL	561	10BASE-5	227
28	10BASE-T	100	10BASE-T	58	10BASE-5	245	FOIRL	864	10BASE-2	86
29	10BASE-FL	2000	10BASE-FL	973	10BASE-2	56	10BASE-5	399	10BASE-T	62
30	FOIRL	1000	FOIRL	976	10BASE-T	93	10BASE-2	145	10BASE-FL	360

### 2.3.2. Оценка конфигурации сети Fast Ethernet

1. Выбрать согласно своему номеру варианта параметры сети Fast Ethernet (табл. 2.7). Структура оцениваемой сети показана на рис. 2.5.
2. Определить и указать на схеме сети классы повторителей.
3. Рассчитать время двойного оборота (PDV) при передаче данных от ПК-А к ПК-В и в обратном направлении. Сделать вывод о соответствии сети требованиям по PDV. В случае, если сеть не удовлетворяет требованиям, предложить вариант решения и подтвердить его расчетом.

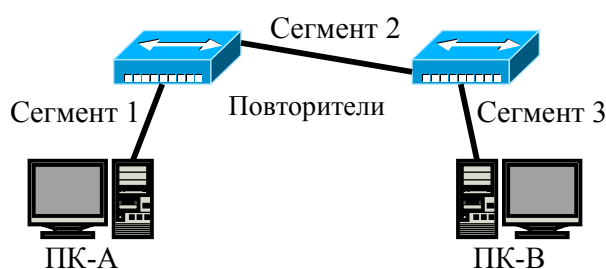


Рис. 2.5. Структура сети Fast Ethernet для задания 2.3.2

Таблица 2.7

#### Варианты задания 2.3.2

(выбираются согласно номеру студента в журнале)

№	Сегмент 1		Сегмент 2		Сегмент 3	
	Стандарт	$l, м$	Стандарт	$l, м$	Стандарт	$l, м$
1	100BASE-T4	65	100BASE-T4	21	100BASE-FX	50
2	100BASE-TX	26	100BASE-TX	33	100BASE-T4	24
3	100BASE-FX	70	100BASE-FX	63	100BASE-TX	31
4	100BASE-T4	28	100BASE-T4	66	100BASE-FX	68
5	100BASE-TX	55	100BASE-TX	38	100BASE-T4	66
6	100BASE-FX	70	100BASE-FX	53	100BASE-TX	69
7	100BASE-T4	69	100BASE-T4	42	100BASE-FX	67
8	100BASE-TX	31	100BASE-TX	21	100BASE-T4	38
9	100BASE-FX	55	100BASE-FX	35	100BASE-TX	40
10	100BASE-T4	56	100BASE-T4	61	100BASE-FX	48
11	100BASE-TX	66	100BASE-TX	52	100BASE-T4	58
12	100BASE-FX	23	100BASE-FX	67	100BASE-TX	37
13	100BASE-T4	59	100BASE-T4	29	100BASE-FX	21
14	100BASE-TX	69	100BASE-TX	34	100BASE-T4	54
15	100BASE-FX	44	100BASE-FX	54	100BASE-TX	58
16	100BASE-T4	24	100BASE-T4	20	100BASE-FX	20
17	100BASE-TX	25	100BASE-TX	20	100BASE-T4	25
18	100BASE-FX	66	100BASE-FX	67	100BASE-TX	63
19	100BASE-T4	46	100BASE-T4	67	100BASE-FX	30
20	100BASE-TX	42	100BASE-TX	63	100BASE-T4	55
21	100BASE-FX	49	100BASE-FX	42	100BASE-TX	53
22	100BASE-T4	51	100BASE-T4	21	100BASE-FX	62



Варианты задания 2.3.2  
(выбираются согласно номеру студента в журнале)

№	Сегмент 1		Сегмент 2		Сегмент 3	
	Стандарт	l, м	Стандарт	l, м	Стандарт	l, м
23	100BASE-TX	69	100BASE-TX	68	100BASE-T4	41
24	100BASE-FX	22	100BASE-FX	22	100BASE-TX	36
25	100BASE-T4	49	100BASE-T4	33	100BASE-FX	47
26	100BASE-TX	50	100BASE-TX	69	100BASE-T4	52
27	100BASE-FX	51	100BASE-FX	65	100BASE-TX	61
28	100BASE-T4	50	100BASE-T4	65	100BASE-FX	59
29	100BASE-TX	30	100BASE-TX	28	100BASE-T4	65
30	100BASE-FX	27	100BASE-FX	43	100BASE-TX	55

## 2.4. Контрольные вопросы

1. Особенности построения сетей Ethernet с использованием повторителей/концентраторов.
2. Понятие о домене коллизии.
3. Первая модель выбора схемы построения сети Ethernet.
4. Вторая модель выбора схемы построения сети Ethernet.
5. Основные технологии сети Ethernet.
6. Понятие времени двойного оборота.
7. Понятие о сокращении межкадрового интервала.
8. Варианты модернизации структуры сети Ethernet в случае ее несоответствия требованиям к PDV и PVV.
9. Первая модель выбора схемы построения сети Fast Ethernet.
10. Вторая модель выбора схемы построения сети Fast Ethernet.
11. Основные технологии сети Fast Ethernet.

## Практическая работа 3

### Адресация IPv4

#### 3.1. Цель работы

Изучить формат адреса IPv4, понятия классовой и бесклассовой адресации, а также процедуру маршрутизации пакета на хосте-отправителе.

#### 3.2. Теоретические сведения

##### 3.2.1. Адрес IPv4

Адрес IPv4 — это сетевой или логический адрес устройства. В версии IPv4 он имеет длину 4 байта (32 бита). IP-адрес можно разделить на две части — адрес сети и адрес узла в сети, как показано на рис. 3.1. Традиционной формой записи IPv4 адреса является запись в виде четырёх десятичных чисел (от 0 до 255), разделённых точками.

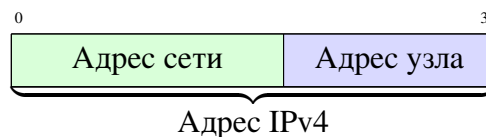


Рис. 3.1. Структура адреса IPv4

В рамках одной сети биты адреса сети неизменны.

Если в IP-адресе под адрес узла отведено  $n$  бит, то такая сеть содержит

$$N = 2^n - 2 \text{ узлов.}$$

Оставшиеся два адреса отведены

- под адрес сети, в котором все биты адреса узла равны 0;
- под широковещательный адрес (broadcast), в котором все биты адреса узла равны 1.

В протоколе IPv4 выделяют два вида адресации:

- классовая адресация (Classful network);
- бесклассовая адресация (Classless Inter-Domain Routing, CIDR).

##### 3.2.2. Классовая адресация IP сетей

Под классовой адресацией (Classful network) понимают принцип сетевой адресации, использовавшийся в Интернете в период с 1981 по 1993 г. Адресное пространство протокола IPv4 делится на пять классов адресов: А, В, С, D и Е. Принадлежность адреса к конкретному классу задаётся первыми битами адреса. Каждый класс определяет либо соответствующий размер сети, т. е. количество возможных адресов хостов внутри данной сети (классы

А, В, С), либо сеть многоадресной (multicast) передачи (класс D). Диапазон адресов пятого класса (Е) был зарезервирован для будущих или экспериментальных целей. Классы адресов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Классы адресов IPv4

Класс	Первые биты	Байты под Сеть, Хост	Число сетей	Хостов в сети	Начальный адрес	Конечный адрес
А	0	С.Х.Х.Х	128	16777214	0.0.0.0	127.255.255.255
В	10	С.С.Х.Х	16384	65534	128.0.0.0	191.255.255.255
С	110	С.С.С.Х	2097152	254	192.0.0.0	223.255.255.255
Д	1110	Групповой адрес			224.0.0.0	239.255.255.255
Е	1111	Зарезервировано			240.0.0.0	255.255.255.255

### 3.2.3. Бесклассовая адресация IP сетей

Под бесклассовой адресацией (Classless Inter-Domain Routing, CIDR) понимают метод IP-адресации, позволяющий гибко управлять пространством IP-адресов, не используя жёсткие рамки классовой адресации. Этот метод позволяет экономно использовать ограниченный ресурс IP-адресов, за счет деления больших сетей на подсети меньшего размера с помощью специальных *битовых масок* — *масок подсети*. Данный метод адресации определен в RFC 1519.

Маска подсети (Variable length subnet mask, VLSM) — это битовая маска, определяющая, какая часть IP-адреса узла сети относится к адресу сети (эти биты в маске равны 1), а какая — к адресу самого узла в этой сети (биты маски, равные 0). Маска подсети не является частью IP-пакета. Она указывается в сетевых настройках узла сети.

В RFC 4632 (2006 г.) понятие маски подсети было заменено на понятие *префикса* или *длины префикса*. Тем не менее понятие маски подсети все еще широко используется.

Зная IP-адрес и маску подсети (префикс), можно определить, к какой сети относится данный IP-адрес. Для этого необходимо применить к адресу и маске операцию поразрядной конъюнкции (логическое И).

С помощью маски подсети узел-отправитель определяет что необходимо сделать с пакетом, предназначенным для передачи на определенный IP-адрес. Если после наложения маски подсети на IP-адрес получателя оказывается, что он находится в той же сети, что и отправитель, то пакет передается получателю. Если же оказывается, что получатель находится в другой сети, то пакет передается согласно таблице маршрутизации, записанной в настройках узла.

Пример использования маски подсети для определения адреса сети и широковещательного (broadcast) адреса показан в табл. 3.2.

Таблица 3.2

*Пример использования маски подсети*

Адрес	Двоичный вид	Десятичный вид
IP-адрес:	11000000.10101000.00000001.00000010	192.168.1.2
Маска подсети:	11111111.11111111.11111110.00000000	255.255.254.0
Адрес сети:	11000000.10101000.00000000.00000000	192.168.0.0
Broadcast:	11000000.10101000.00000001.11111111	192.168.1.255

Существует три основных способа записи маски подсети:

- десятичный: 255.255.254.0;
- двоичный: 11111111.11111111.11111110.00000000;
- постфиксный: /23.

Следует отдельно отметить адресацию в сетях, состоящих из двух узлов (соединение вида точка-точка). Такие подсети обычно используются для соединения между собой маршрутизаторов. Согласно RFC 3021, для таких сетей допускается использовать маску /31, определяющую подсеть, состоящую из двух адресов. В этом случае подсеть не содержит адреса сети и широковещательного адреса. Оба адреса используются для адресации соединенных между собой узлов. Этот механизм позволяет значительно сэкономить адресное пространство, но его поддерживает не все сетевое оборудование. Также в таких сетях могут некорректно работать протоколы, использующие широковещательную передачу данных с использованием IP-адресов.

### 3.3. Порядок выполнения задания

Задание на практическую работу выполняется на бланке, форма которого приведена в конце описания работы. Вариант задания выбирается согласно номеру студента в журнале группы.

#### 3.3.1. Классовая адресация

По заданному в табл. 3.3 адресу хоста определить:

- класс сети;
- адрес сети;
- количество хостов в сети;
- адреса первого и последнего хостов в сети;
- широковещательный адрес (broadcast).

Таблица 3.3

*Адрес IPv4*  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Адрес IPv4	№	Адрес IPv4	№	Адрес IPv4
1	186.101.221.144	11	132.211.222.243	21	92.23.76.45
2	114.32.41.123	12	69.39.58.38	22	231.48.81.64
3	97.231.37.111	13	185.38.59.36	23	47.28.49.61
4	43.33.134.211	14	213.28.48.93	24	162.85.103.39
5	211.124.76.38	15	182.48.29.91	25	85.91.127.37
6	38.142.22.115	16	148.82.63.69	26	201.56.93.105
7	157.34.36.76	17	82.132.56.73	27	61.85.71.69
8	198.34.76.36	18	159.92.63.69	28	126.38.91.47
9	151.48.32.94	19	37.58.87.29	29	194.71.68.36
10	87.39.57.28	20	205.37.59.32	30	149.93.28.58

### 3.3.2. Бесклассовая адресация

По заданному в табл. 3.3 адресу хоста и заданной в табл. 3.4 маске подсети определить:

- адрес сети;
- количество хостов в сети;
- адреса первого и последнего хостов в сети;
- широковещательный адрес (broadcast).

Таблица 3.4

*Маска подсети IPv4*  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Маска подсети	№	Маска подсети	№	Маска подсети
1	/26	11	/26	21	/21
2	/27	12	/22	22	/23
3	/23	13	/23	23	/22
4	/26	14	/28	24	/20
5	/22	15	/22	25	/22
6	/27	16	/21	26	/27
7	/21	17	/27	27	/23
8	/28	18	/23	28	/22
9	/21	19	/21	29	/21
10	/22	20	/22	30	/22

### 3.3.3. Определение подсети заданного размера

По заданному в табл. 3.3 адресу хоста и заданному в табл. 3.5 количеству хостов в подсети определить:

- адрес и маску подсети для сети минимального размера, включающей в себя все заданное количество хостов;
- адреса первого и последнего хостов в сети;
- широковещательный адрес (broadcast).

Таблица 3.5

*Количество хостов в подсети IPv4  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)*

№	Кол-во хостов	№	Кол-во хостов	№	Кол-во хостов
1	43	11	78	21	68
2	116	12	54	22	255
3	97	13	341	23	119
4	61	14	69	24	345
5	23	15	513	25	39
6	121	16	311	26	89
7	257	17	65	27	316
8	288	18	254	28	98
9	611	19	79	29	267
10	97	20	289	30	511

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Структура IP-адреса.
2. Классовая адресация.
3. Бесклассовая адресация.
4. Маска подсети.
5. Принцип деления сети на подсети.

**Бланк к практической работе 3**  
**Адресация IPv4**

Группа	№	ФИО студента

***Классовая адресация***

Адрес хоста: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_    Класс сети: \_\_\_\_    Кол-во хостов: \_\_\_\_\_

Адреса	Десятичный вид	Двоичный вид
Сеть	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Перв. хост	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Посл. хост	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Broadcast	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____

***Бесклассовая адресация***

Адрес хоста: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ / \_\_\_\_    Кол-во хостов: \_\_\_\_\_

Адреса	Десятичный вид	Двоичный вид
Сеть	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Маска	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Перв. хост	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Посл. хост	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Broadcast	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____

***Определение подсети заданного размера***

Адрес хоста: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_    Кол-во хостов: \_\_\_\_\_    Маска: / \_\_\_\_

Адреса	Десятичный вид	Двоичный вид
Сеть	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Маска	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Перв. хост	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Посл. хост	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____
Broadcast	____ . ____ . ____ . ____	_____ . _____ . _____ . _____

## Практическая работа 4

### Расчет контрольной суммы заголовка протокола IP

#### 4.1. Цель работы

Изучить формат заголовка пакета IPv4 и разобрать механизм вычисления 16-битовой контрольной суммы, используемой для обнаружения ошибок в заголовке протокола IP.

#### 4.2. Теоретические сведения

Структура заголовка пакета IPv4 приведена на рис. 4.1. Сверху рисунка указаны номера бит. В табл. 4.1 приведено назначение каждого из полей заголовка IPv4.

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
Версия				Длина заг.				Тип сервиса				Длина пакета																			
Идентификатор пакета								Флаги				Смещение фрагмента																			
Время жизни				Тип протокола				Контрольная сумма																							
IP-адрес отправителя																															
IP-адрес получателя																															
Опции ...																								Заполнение							

Рис. 4.1. Структура заголовка пакета IPv4

Таблица 4.1

Значения полей заголовка пакета IPv4

Поле	Значение
Версия	Содержит версию протокола IP. Для IPv4 значение этого поля равно 0x4. Для IPv6 — 0x6
Длина заголовка	Содержит размер заголовка пакета в 32-битных словах. Минимальное значение равно 5 (20 байт), максимальное — 15 (60 байт)
Тип сервиса	Используется для разделения трафика на классы обслуживания, например, для установки чувствительному к задержкам трафику, такому как VoIP, большего приоритета
Длина пакета	Полный размер IP-пакета в байтах, включая заголовок и данные. Минимальный размер равен 20 байтам (заголовок без данных), максимальный — 65535 байт
Идентификатор пакета	Преимущественно используется для идентификации фрагментов пакета, если он был фрагментирован. Существуют эксперименты по его использованию для других целей, таких как добавление информации о трассировке пакета для упрощения отслеживания пути пакета с подделанным адресом источника



Значения полей заголовка пакета IPv4

Поле	Значение
Флаги	Поле содержит флаги контроля над фрагментацией. Биты, от старшего к младшему, означают: 0: Зарезервирован, должен быть равен 0. 1: Не фрагментировать. Если флаг установлен, то в случае необходимости фрагментации такой пакет будет уничтожен. 2: У пакета ещё есть фрагменты. Устанавливается в 1 у всех фрагментов пакета, кроме последнего. У нефрагментированных пакетов устанавливается в 0
Смещение фрагмента	Указывает смещение текущего фрагмента от начала передачи фрагментированного пакета в блоках по 8 байт. Первый фрагмент имеет нулевое смещение
Время жизни (TTL)	Позволяет предотвратить закольцовывание пакетов в сети путем уничтожения пакетов, превысивших время жизни. Определяет число узлов (маршрутизаторов), которые может пройти пакет. Каждый узел уменьшает время жизни пакета на 1
Тип протокола	Указывает, данные какого протокола содержит пакет. Присвоенные номера протоколов размещены на сайте IANA
Контрольная сумма	Используется для проверки целостности заголовка
IP-адрес отправителя	Сетевой адрес отправителя пакета. Может не совпадать с настоящим адресом отправителя из-за трансляции адресов
IP-адрес получателя	Сетевой адрес получателя пакета
Опции	Поле дополнительных опций
Заполнение	Используется для дополнения заголовка IP до размера, кратного 4 байтам

В протоколе IPv4 контрольная сумма рассчитывается только для заголовка пакета. Данные не проверяются, поскольку инкапсулируемые в IPv4 протоколы имеют свою контрольную сумму, учитывающую как их заголовок, так и данные. К тому же, заголовок пакета IPv4 меняется при прохождении маршрутизаторов. Следовательно, контрольная сумма должна вычисляться каждым маршрутизатором заново. Если бы она учитывала и данные пакета IPv4, то это бы значительно повысило нагрузку на процессоры маршрутизаторов и увеличило время обработки каждого пакета.

Контрольная сумма  $CS_{IP}$  заголовка передаваемого пакета IPv4 рассчитывается по следующему алгоритму:

1. Заголовок разбивается на слова  $W_i$  по 16 бит. При необходимости последнее слово заголовка дополняется нулями справа (биты заполнения), чтобы «выровнять» длину заголовка в битах кратно 16.

2. Значение поля контрольной суммы, которому соответствует слово  $W_6$ , принимается равным нулю:

$$W_6 = 0x0000.$$

3. Полученные 16-битные слова  $W_i$  поэлементно суммируются между собой как двоичные числа с переносом в старшие разряды:

$$W_s = \sum_i W_i.$$

4. В том случае, если результат сложения  $W_s$  в двоичном представлении превышает по длине 16 бит, он разбивается на два 16-битных слова, которые складываются между собой. Эту процедуру называют «круговым переносом», т. е. переполнение старшего разряда переносится в младший, например,

$$\text{если } W_s = 0x2A4E3, \text{ то } W_s = 0x0002 + 0xA4E3 = 0xA4E5.$$

5. Если результат сложения  $W_s$  снова превышает 16 бит, предыдущая операция повторяется.

6. Находится двоичное поразрядное дополнение результата сложения, которое и записывается в поле контрольной суммы:

$$CS_{IP} = 0xFFFF - W_s.$$

Более подробно процедура вычисления контрольной суммы в протоколах сетевого и транспортного уровня сети Интернет описана в RFC 1071.

Для примера рассмотрим расчет контрольной суммы заголовка IP-пакета, приведенного на рис. 4.2. Пакет записан в шестнадцатеричной системе счисления. Поле контрольной суммы выделено цветом и обнулено перед началом формирования передаваемого IP-пакета.

0	15 16	31
4500	0076	
252D	4000	
4011	0000	
C0A8	010F	
C1C8	B708	

Рис. 4.2. Пример заголовка пакета IPv4 с обнуленным полем контрольной суммы

1. Разбиваем заголовок с обнуленным полем контрольной суммы на слова по 16 бит и суммируем полученные 16-битные слова между собой:

$$0x4500 + 0x0076 + 0x252D + 0x4000 + 0x4011 + \\ + 0x0000 + 0xC0A8 + 0x010F + 0xC1C8 + 0xB708 = 0x3253B.$$

2. Поскольку результат сложения в двоичном представлении превышает 16 разрядов (или 4 шестнадцатеричных цифры), разбиваем его на два слова по 16 бит каждое и снова их суммируем:

$$0x0003 + 0x253B = 0x253E.$$

3. Находим контрольную сумму как двоичное поразрядное дополнение результата сложения:

$$CS_{IP} = 0xFFFF - 0x253E = 0xDAC1.$$

Полученное число заносится в поле контрольной суммы заголовка IP-пакета (рис. 4.2).

Проверка контрольной суммы при приеме IP-пакета производится по аналогичному алгоритму, отличаясь только тем, что в расчете участвует и контрольная сумма принятого IP-пакета. Если итоговое поразрядное двоичное дополнение полученной суммы равно 0, т. е. 0x(0000), то это говорит о корректности контрольной суммы.

Для примера проверим корректность вычисленной контрольной суммы заголовка IP-пакета, приведенного на рис. 4.2.

1. Суммируем все 16-битные слова заголовка между собой:

$$0x4500 + 0x0076 + 0x252D + 0x4000 + 0x4011 + \\ + 0xDAC1 + 0xC0A8 + 0x010F + 0xC1C8 + 0xB708 = 0x3FFFC.$$

2. Поскольку результат сложения превышает 16 бит, разбиваем его на два слова по 16 бит каждое и снова их суммируем:

$$0x0003 + 0xFFFC = 0xFFFF.$$

3. Находим двоичное поразрядное дополнение результата сложения:

$$0xFFFF - 0xFFFF = 0x0000.$$

Таким образом, мы проверили, что приведенная в пакете на рис. 4.2 контрольная сумма верна.

Можно последнюю операцию поразрядного двоичного дополнения не проводить. Тогда правильность контрольной суммы принятого IP-пакета будет подтверждаться результатом суммирования 0xFFFF на втором шаге алгоритма проверки.

### 4.3. Порядок выполнения задания

1. Выбрать из табл. 4.2 согласно своему номеру варианта сетевой пакет в 16-ричном представлении, записанный, начиная с заголовка Ethernet (Ethernet DIX). В заданном пакете поле контрольной суммы заменено на нули. Первый столбец обозначает номер строки в 16-ричном представлении.

2. Выделить из заданного сетевого пакета заголовок протокола IP. Разбить заголовок протокола IP на поля, выписать их и указать назначение.

3. Рассчитать контрольную сумму заголовка протокола IP.

4. Провести проверку правильности вычисления контрольной суммы.

Таблица 4.2

**Пакет IPv4**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет IPv4
1	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 6e 86 40 00 40 06 00 00 ac 10 64 29 40 e9 0020 a2 5f d7 82 01 bb 78 ea 6c bb 3c 25 ac 7a 80 10 0030 00 ed 69 cf 00 00 01 01 08 0a e4 51 97 c8 17 1b 0040 dd c5
2	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 4a d8 40 00 40 06 00 00 ac 10 64 29 ad c2 0020 dc 61 d9 d8 01 bb 7e 90 54 ef d9 c6 8f a0 80 10 0030 00 fe ee 34 00 00 01 01 08 0a d9 ce 2e cb 3a 94 0040 91 83
3	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3e ed 9e 40 00 40 11 00 00 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d 81 11 00 35 00 2a fa ac 26 43 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 08 74 6f 70 2d 66 77 7a 31 04 0040 6d 61 69 6c 02 72 75 00 00 01 00 01
4	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 34 9a e7 00 00 2f 06 00 00 ad c2 dc 61 ac 10 0020 64 29 01 bb d9 d8 d9 c6 8f a0 7e 90 55 3d 80 11 0030 00 fe cc 70 00 00 01 01 08 0a 3a 94 a2 40 d9 ce 0040 3f 83
5	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 47 ed bf 40 00 40 11 00 00 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d ab 80 00 35 00 33 61 b4 d8 a1 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 04 70 75 73 68 08 73 65 72 76 0040 69 63 65 73 07 6d 6f 7a 69 6c 6c 61 03 63 6f 6d 0050 00 00 01 00 01
6	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 34 a4 62 40 00 de 06 00 00 32 70 a4 10 ac 10 0020 64 29 01 bb a0 0c dd 6b e3 14 06 02 a3 5e 80 10 0030 00 6e 77 96 00 00 01 01 08 0a 58 41 7b f4 5e 08 0040 da 17
7	0000 01 00 5e 00 00 01 d4 8c b5 76 bd 00 08 00 46 c0 0010 00 20 52 16 00 00 01 02 00 00 ac 10 04 04 e0 00 0020 00 01 94 04 00 00 11 64 ee 9b 00 00 00 00 00 00 0030 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
8	0000 01 00 5e 00 00 fb d8 50 e6 a2 37 61 08 00 46 c0 0010 00 20 00 00 40 00 01 02 00 00 ac 10 64 29 e0 00 0020 00 fb 94 04 00 00 16 00 09 04 e0 00 00 fb

## Пакет IPv4

(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет IPv4																
9	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	41	0e	a9	40	00	40	11	00	00	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	cb	55	00	35	00	2d	29	c4	df	2f	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	04	61	6a	61	78	0a	67	6f	6f	67
	0040	6c	65	61	70	69	73	03	63	6f	6d	00	00	01	00	01	
10	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3c	0e	af	40	00	40	11	00	00	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	c5	80	00	35	00	28	34	2b	2a	5b	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	03	63	6e	74	07	72	61	6d	62	6c
	0040	65	72	02	72	75	00	00	01	00	01						
11	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3c	fc	00	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	5f	a7
	0020	7a	0a	d3	36	01	bb	82	7d	14	a3	00	00	00	00	a0	02
	0030	72	10	13	74	00	00	02	04	05	b4	04	02	08	0a	8d	45
	0040	df	38	00	00	00	00	01	03	03	07						
12	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	28	88	62	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	51	13
	0020	58	50	e8	7c	01	bb	4e	53	66	b5	52	d5	0a	c4	50	10
	0030	fd	5c	fc	00	00	00										
13	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	34	8f	b5	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	ad	c2
	0020	dd	61	d2	26	01	bb	8f	c0	67	a9	fa	2a	37	4e	80	10
	0030	01	28	3c	3d	00	00	01	01	08	0a	42	5c	ef	47	d4	3f
	0040	9b	51														
14	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	28	ab	e8	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	cd	b9
	0020	d0	34	bd	1a	01	bb	a3	8a	34	2b	00	00	00	00	50	04
	0030	00	00	6b	2d	00	00										
15	0000	d8	50	e6	a2	37	61	00	01	02	a0	a7	ee	08	00	45	00
	0010	00	34	d5	27	40	00	38	06	00	00	5f	a7	7a	0a	ac	10
	0020	64	29	01	bb	d3	40	5c	73	f9	e3	91	66	03	43	80	10
	0030	00	87	f0	80	00	00	01	01	08	0a	23	f2	40	b5	8d	45
	0040	e9	e0														
16	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	34	f5	a3	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	5f	a7
	0020	7a	0a	d3	3c	01	bb	73	64	20	c4	ae	3a	f6	d3	80	10
	0030	00	f5	84	a0	00	00	01	01	08	0a	8d	46	10	ec	23	f2
	0040	36	e9														

**Пакет IPv4**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет IPv4
17	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 cb ae 40 00 40 06 00 00 ac 10 64 29 40 e9 0020 a4 6c bc 42 03 e1 97 8e d0 98 c6 a2 d0 2a 80 10 0030 05 a4 b5 08 00 00 01 01 08 0a 54 e4 dc 38 4d 2d 0040 89 1e
18	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 f3 66 40 00 40 06 00 00 ac 10 64 29 40 e9 0020 a2 6d 92 e6 03 e1 53 d3 5d f8 9d 70 fc 1d 80 10 0030 26 62 1c c6 00 00 01 01 08 0a ec 5a 92 b1 63 eb 0040 7a eb
19	0000 90 2b 34 99 6b d8 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 30 11 16 40 00 72 06 00 00 ac 10 64 13 ac 10 0020 64 56 ec 50 00 50 ce d5 4a 06 00 00 00 00 70 02 0030 ff ff 5d 68 00 00 02 04 05 64 01 01 04 02
20	0000 01 00 5e 00 00 01 d4 8c b5 76 bd 00 08 00 46 c0 0010 00 20 55 f2 00 00 01 02 00 00 ac 10 04 04 e0 00 0020 00 01 94 04 00 00 11 64 ee 9b 00 00 00 00 00 0030 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
21	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3e 43 e7 40 00 40 11 00 00 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d ec 72 00 35 00 2a 09 f3 ab 80 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 08 74 6f 70 2d 66 77 7a 31 04 0040 6d 61 69 6c 02 72 75 00 00 1c 00 01
22	0000 01 00 5e 00 00 fb d8 50 e6 a2 37 61 08 00 46 c0 0010 00 20 00 00 40 00 01 02 00 00 ac 10 64 29 e0 00 0020 00 fb 94 04 00 00 16 00 09 04 e0 00 00 fb
23	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 45 2c 40 00 40 11 00 00 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d a1 ce 00 35 00 28 3e ef 43 49 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 03 63 6e 74 07 72 61 6d 62 6c 0040 65 72 02 72 75 00 00 01 00 01
24	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 2d b6 40 00 40 06 00 00 ac 10 64 29 b2 ed 0020 14 14 bd e0 00 50 d7 34 77 d6 5c 69 ab 66 80 10 0030 00 e5 79 40 00 00 01 01 08 0a 61 83 60 69 7b 99 0040 d2 ca
25	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 28 1c 8e 40 00 40 06 00 00 ac 10 64 29 d9 45 0020 88 af eb a2 01 bb 5d f7 d2 1e 00 00 00 00 50 04 0030 00 00 20 3e 00 00

**Пакет IPv4**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет IPv4																
26	0000	d8	50	e6	a2	37	61	00	01	02	a0	a7	ee	08	00	45	00
	0010	00	34	99	a3	40	00	40	06	00	00	b2	ed	14	14	ac	10
	0020	64	29	00	50	bd	e0	5c	69	ad	63	d7	34	78	d5	80	10
	0030	04	10	21	f7	00	00	01	01	08	0a	7b	9a	23	46	61	83
	0040	61	0f														
27	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	34	f5	b2	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	40	e9
	0020	a2	6d	92	e6	03	e1	53	d3	62	91	9d	8d	95	9d	80	10
	0030	26	62	74	ff	00	00	01	01	08	0a	ec	5c	97	78	63	ed
	0040	7f	b1														
28	0000	d8	50	e6	a2	37	61	00	01	02	a0	a7	ee	08	00	45	00
	0010	00	3c	a1	de	40	00	40	06	00	00	c1	7c	76	86	ac	10
	0020	64	29	00	50	a0	92	ba	36	d7	64	4a	d8	64	29	a0	12
	0030	ff	ff	f6	a3	00	00	02	04	05	b4	01	03	03	06	04	02
	0040	08	0a	2a	ef	c1	74	11	9b	29	92						
29	0000	d8	50	e6	a2	37	61	00	01	02	a0	a7	ee	08	00	45	00
	0010	00	3c	a1	df	40	00	40	06	00	00	5b	ee	e6	5e	ac	10
	0020	64	29	00	50	8b	52	63	0e	2f	e7	54	f8	a9	1f	a0	12
	0030	ff	ff	dc	f3	00	00	02	04	05	b4	01	03	03	06	04	02
	0040	08	0a	42	c9	c8	ac	44	52	ab	fe						
30	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	34	56	a0	40	00	40	06	00	00	ac	10	64	29	c1	7c
	0020	76	86	a0	92	00	50	4a	d8	64	29	ba	36	d7	65	80	11
	0030	00	e5	10	ff	00	00	01	01	08	0a	11	9b	3d	1c	2a	ef
	0040	c1	74														

#### 4.4. Контрольные вопросы

1. Структура заголовка IPv4.
2. Фрагментация пакета IPv4.
3. Принцип расчета контрольной суммы заголовка IPv4.

## Практическая работа 5

### Формирование пакета ARP

#### 5.1. Цель работы

Изучить механизм работы протокола ARP и научиться формировать пакеты ARP, соответствующие различным сценариям его работы.

#### 5.2. Теоретические сведения

##### 5.2.1. Протокол ARP

ARP (Address Resolution Protocol — протокол определения адреса) — протокол в компьютерных сетях, предназначенный для определения MAC-адреса сетевого устройства по известному IP-адресу.

Наибольшее распространение ARP получил благодаря повсеместности сетей IP, построенных поверх Ethernet, поскольку в подавляющем большинстве случаев при таком сочетании используется ARP. В семействе протоколов IPv6 протокола ARP не существует, его функции возложены на ICMPv6.

Описание протокола было опубликовано в ноябре 1982 г. в RFC 826. ARP был спроектирован для случая передачи IP-пакетов через сегмент Ethernet. При этом общий принцип, предложенный для ARP, был использован и для сетей других типов.

Существуют следующие типы сообщений ARP: запрос ARP (ARP-request) и ответ ARP (ARP-reply). Система-отправитель при помощи запроса ARP запрашивает физический адрес системы-получателя. Ответ (физический адрес узла-получателя) приходит в виде ответа ARP.

*Принцип работы протокола:* узел (хост *A*), которому нужно выполнить отображение IP-адреса хоста *B* на его MAC-адрес, формирует ARP-запрос, вкладывает его в кадр протокола канального уровня, указывая в нем известный IP-адрес хоста *B*, и рассылает запрос широковещательно (в поле «MAC-адрес назначения» заголовка Ethernet указывается широковещательный MAC-адрес FF:FF:FF:FF:FF:FF). Все узлы локальной сети получают ARP-запрос и сравнивают указанный там IP-адрес с собственным. Определивший совпадение узел (хост *B*) формирует ARP-ответ, в котором указывает свой IP-адрес и свой MAC-адрес и отправляет его уже направленно, так как в ARP запросе отправитель (хост *A*) указывает свой локальный адрес.

Схема работы протокола показана на рис. 5.1.

При получении ARP-ответа хост *A* записывает в кэш ARP запись с соответствием IP-адреса хоста *B* и MAC-адреса хоста *B*, полученного из ARP-ответа. Время хранения такой записи ограничено. По истечении времени хранения хост *A* посылает повторный запрос, теперь уже адресно, на известный



MAC-адрес хоста *B*. В случае, если ответ не получен, снова посылается широковещательный запрос.

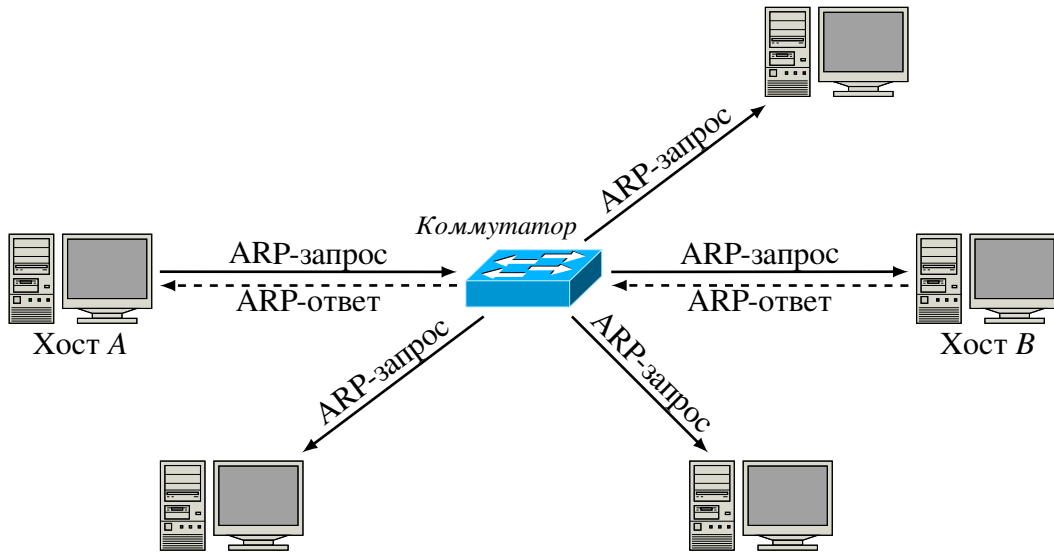


Рис. 5.1. Схема работы протокола ARP

Структура кадра ARP с учетом заголовка Ethernet показана на рис. 5.2. Сверху рисунка указаны номера байт.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Destination MAC						Source MAC						ETH TYPE	HTYPE		
PTYPE		HLEN	PLEN	OP CODE		Sender MAC						Sender IP			
Target MAC						Target IP									

Рис. 5.2. Кадр протокола ARP

Значения полей заголовка кадра ARP приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Значения полей заголовка кадра ARP

Поле	Значение
HTYPE	Номер протокола передачи канального уровня (0x0001 для протокола Ethernet)
PTYPE	Код протокола сетевого уровня (0x0800 для протокола IPv4)
HLEN	Длина физического адреса в байтах. MAC-адреса Ethernet имеют длину 6 байт
PLEN	Длина логического адреса в байтах. IPv4 адреса имеют длину 4 байта
OP CODE	Код операции: 0x01 в случае ARP-запроса и 0x02 в случае ARP-ответа
Sender MAC	Физический адрес отправителя
Sender IP	Сетевой адрес отправителя
Target MAC	Физический адрес получателя. При запросе поле заполняется нулями
Target IP	Сетевой адрес получателя

Самопроизвольный ARP (gratuitous ARP) — это такое поведение ARP, при котором ARP-ответ присылается, когда в этом (с точки зрения получателя) нет особой необходимости. То есть это ответ ARP, присланный без запроса. Он применяется для определения конфликтов IP-адресов в сети: как только станция получает адрес по DHCP или адрес присваивается вручную, рассылается ARP-ответ gratuitous ARP.

Самопроизвольный ARP может быть полезен в следующих случаях:

- обновление ARP-таблиц, в частности, в кластерных системах;
- информирование коммутаторов;
- извещение о включении сетевого интерфейса.

Несмотря на эффективность самопроизвольного ARP, он является особенно небезопасным, поскольку с его помощью можно уверить удаленный узел в том, что MAC-адрес какой-либо системы, находящейся с ней в одной сети, изменился, и указать, какой адрес используется теперь.

### 5.2.2. Сетевая атака ARP-спуфинг

Сетевая атака ARP-спуфинг (ARP-spoofing) основана на использовании самопроизвольного ARP.

Чтобы перехватить сетевые пакеты, которые атакуемый хост (A) отправляет на хост B, атакующий хост (C) формирует ARP-ответ, в котором ставит в соответствие IP-адресу хоста B свой MAC-адрес. Далее этот пакет отправляется на хост A. В том случае, если хост A поддерживает самопроизвольный ARP, он модифицирует собственную ARP-таблицу и помещает туда запись, где вместо настоящего MAC-адреса хоста B стоит MAC-адрес атакующего хоста C. Теперь пакеты, отправляемые хостом A на хост B, будут передаваться хосту C.

Схема атаки показана на рис. 5.3. Для простоты коммутатор на рисунке не показан.

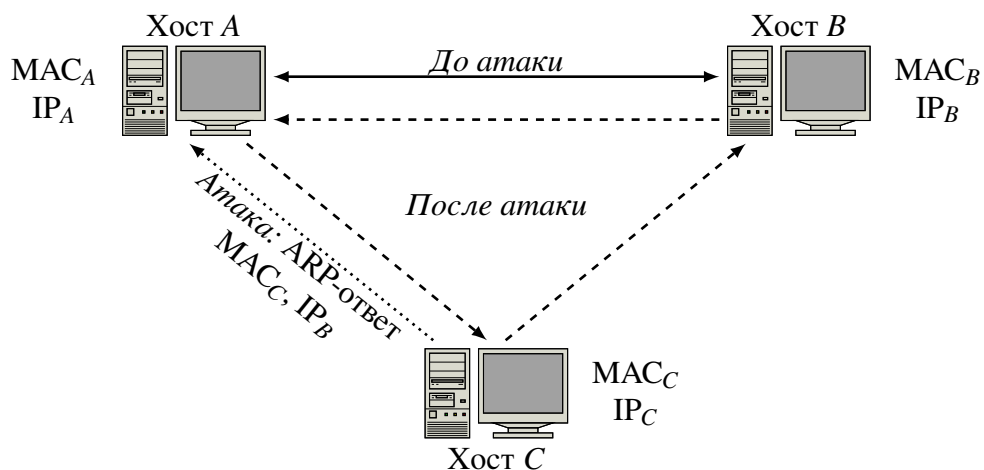


Рис. 5.3. Схема сетевой атаки ARP-спуфинг

### 5.3. Порядок выполнения задания

В практической работе рассматривается представленный на рис. 5.4 участок локальной сети, состоящий из трех сетевых хостов.

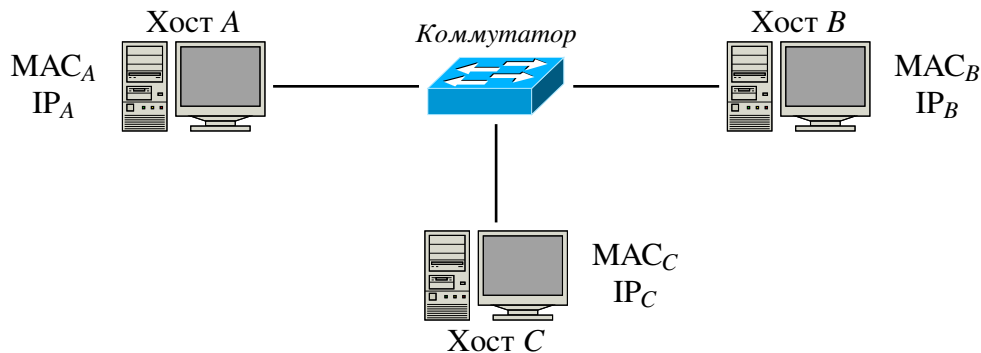


Рис. 5.4. Участок сети, рассматриваемый в практической работе

Задание выполняется на бланке, форма которого приведена в конце описания работы. Вариант задания выбирается согласно номеру студента в журнале группы.

1. Выбрать из табл. 5.2–5.4 MAC-адреса и IP-адреса хостов А, В и С соответственно.

2. Исходя из схемы сети (рис. 5.4), сформировать кадр ARP-запроса, отправленный хостом А для определения MAC-адреса хоста В, и кадр ARP-ответа, соответствующий этому ARP-запросу.

3. Исходя из схемы сети (рис. 5.4), сформировать кадр ARP-ответа, отправленный хостом С для перехвата трафика, передаваемого от хоста А к хосту В.

### 5.4. Контрольные вопросы

1. Протокол ARP.
2. Структура пакета ARP.
3. Атака ARP-спуфинг.

Таблица 5.2

MAC-адрес и IP-адрес для хоста А  
(выбираются по номеру студента в списке группы)

№	MAC-адрес	IP-адрес
1	86:20:4d:e3:01:bf	186.101.221.144
2	66:c0:f5:ec:c8:05	114.32.41.123
3	c6:18:ef:b0:0e:6a	97.231.37.111
4	0a:a3:30:72:4b:10	43.33.134.211
5	e6:49:cd:c0:4d:50	211.124.76.38
6	5a:0d:80:1a:b3:b7	38.142.22.115
7	aa:07:9f:3e:dc:68	157.34.36.76
8	72:89:f4:35:06:70	198.34.76.36
9	f2:bd:a2:65:55:b4	151.48.32.94
10	02:87:e5:fa:78:f3	87.39.57.28
11	4e:e6:16:ad:73:2c	132.211.222.243
12	56:e1:67:a3:c0:43	69.39.58.38
13	da:7e:1e:f2:90:af	185.38.59.36
14	5e:fa:e5:f6:67:e5	213.28.48.93
15	06:a6:da:03:14:33	182.48.29.91
16	4a:fe:af:15:30:5e	148.82.63.69
17	a6:5e:16:49:81:16	82.132.56.73
18	a2:a0:ea:9f:3e:38	159.92.63.69
19	36:97:b1:8c:45:ea	37.58.87.29
20	66:63:4d:15:eb:7f	205.37.59.32
21	fe:bd:03:3d:bd:4a	92.23.76.45
22	32:65:b6:86:3c:db	231.48.81.64
23	da:05:99:80:a4:67	47.28.49.61
24	ee:07:d6:b7:7a:e2	162.85.103.39
25	4e:cc:94:96:4c:d6	85.91.127.37
26	b2:7e:02:f2:77:61	201.56.93.105
27	b6:45:93:c0:12:9c	61.85.71.69
28	ba:e9:67:30:be:b8	126.38.91.47
29	22:20:75:51:2d:cf	194.71.68.36
30	fe:ad:55:d1:39:90	149.93.28.58

Таблица 5.3

*MAC-адрес и IP-адрес для хоста В  
(выбираются по номеру студента в списке группы)*

№	MAC-адрес	IP-адрес
1	4a:14:1f:e0:e4:4f	186.101.221.145
2	82:ac:ac:2a:5a:e7	114.32.41.124
3	8a:f6:02:82:9f:76	97.231.37.112
4	a2:2a:e2:b2:23:14	43.33.134.212
5	be:2a:62:dd:d6:f7	211.124.76.39
6	22:f1:d6:e1:76:77	38.142.22.116
7	c6:59:39:8d:2e:a5	157.34.36.77
8	3e:30:da:fb:0e:19	198.34.76.37
9	0e:3c:e9:11:f2:4f	151.48.32.95
10	c6:74:48:aa:52:25	87.39.57.29
11	ae:f0:b3:b9:50:4d	132.211.222.244
12	76:f3:1d:ea:f0:e8	69.39.58.39
13	b6:ae:13:c7:9f:1e	185.38.59.37
14	9e:a3:07:65:6a:94	213.28.48.94
15	36:10:2c:07:b6:45	182.48.29.92
16	96:e8:4f:c4:46:7d	148.82.63.70
17	42:77:42:73:2c:b8	82.132.56.74
18	1a:ba:5b:77:e6:45	159.92.63.70
19	42:7d:36:ee:5f:2d	37.58.87.30
20	56:81:11:4e:5f:c6	205.37.59.33
21	4e:0f:a9:ad:ac:68	92.23.76.46
22	ae:57:50:59:ef:cc	231.48.81.65
23	6e:98:7a:9c:d9:e4	47.28.49.62
24	82:59:4f:17:1d:40	162.85.103.40
25	de:24:ff:dc:55:99	85.91.127.38
26	8e:84:76:80:93:1a	201.56.93.106
27	46:42:f2:4a:eb:56	61.85.71.70
28	2e:90:dd:9b:ce:a1	126.38.91.48
29	ca:47:83:4e:6e:a7	194.71.68.37
30	46:43:d0:73:68:b1	149.93.28.59

Таблица 5.4

MAC-адрес и IP-адрес для хоста С  
(выбираются по номеру студента в списке группы)

№	MAC-адрес	IP-адрес
1	5e:53:f1:f6:89:6b	186.101.221.146
2	ea:60:f6:b8:6e:19	114.32.41.125
3	a2:98:6b:1b:33:3d	97.231.37.113
4	62:84:77:7c:bf:ae	43.33.134.213
5	42:71:93:00:99:d5	211.124.76.40
6	6e:92:11:ca:95:62	38.142.22.117
7	9a:1a:05:40:bd:c4	157.34.36.78
8	8a:85:39:2f:c3:b5	198.34.76.38
9	7e:82:5b:d3:ee:63	151.48.32.96
10	da:93:19:a0:ad:a1	87.39.57.30
11	72:ef:fe:3b:49:bc	132.211.222.245
12	96:3d:fd:38:a0:b7	69.39.58.40
13	ce:15:b0:0e:00:8f	185.38.59.38
14	be:76:c2:31:15:df	213.28.48.95
15	92:2f:66:68:92:65	182.48.29.93
16	46:2e:e8:c6:07:ff	148.82.63.71
17	ee:a2:8a:12:54:b3	82.132.56.75
18	16:7c:cf:96:9d:a8	159.92.63.71
19	2a:2b:2b:f9:cf:9e	37.58.87.31
20	b2:21:db:a8:ad:d8	205.37.59.34
21	3a:d4:65:86:b4:d8	92.23.76.47
22	1e:1d:ef:bd:96:84	231.48.81.66
23	d6:8b:f2:b8:6a:4c	47.28.49.63
24	be:65:a7:1c:b4:21	162.85.103.41
25	e2:df:ca:0b:c0:a5	85.91.127.39
26	72:5b:9c:90:91:5f	201.56.93.107
27	5a:89:87:fc:31:58	61.85.71.71
28	3a:c6:f4:da:c4:88	126.38.91.49
29	aa:29:89:97:86:a9	194.71.68.38
30	22:39:dd:e8:90:5b	149.93.28.60

## Бланк к практической работе 5 Формирование пакета ARP

Группа	№	ФИО студента

### *Исходные данные*

	Хост А	Хост В	Хост С
MAC-адрес			
IP-адрес			

### *Формирование ARP-запроса и соответствующего ему ARP-ответа*

#### ARP-запрос

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Destination MAC						Source MAC						ETH TYPE		HTYPE	
PTYPE		HLEN	PLEN	OP CODE		Sender MAC						Sender IP			
Target MAC						Target IP									

#### ARP-ответ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Destination MAC						Source MAC						ETH TYPE		HTYPE	
PTYPE		HLEN	PLEN	OP CODE		Sender MAC						Sender IP			
Target MAC						Target IP									

### *Формирование ARP-пакета для сетевой атаки ARP-спуфинг*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Destination MAC						Source MAC						ETH TYPE		HTYPE	
PTYPE		HLEN	PLEN	OP CODE		Sender MAC						Sender IP			
Target MAC						Target IP									

## Практическая работа 6

### Формат пакета и контрольная сумма протокола ICMP

#### 6.1. Цель работы

Изучить формат пакета ICMP и на примере разобрать механизм вычисления 16-битовой контрольной суммы, используемой для обнаружения ошибок в пакете протокола ICMP.

#### 6.2. Теоретические сведения

В протоколе ICMP контрольная сумма рассчитывается для всего пакета. Структура пакета ICMP приведена на рис. 6.1. Сверху рисунка указаны номера бит.



Рис. 6.1. Структура пакета ICMP

Алгоритм вычисления контрольной суммы полностью аналогичен такому для заголовка протокола IP. Рассмотрим вычисление контрольной суммы на примере ICMP-пакета, приведенного на рис. 6.2. Поле контрольной суммы выделено цветом.

0	15	16	31
0800		7C6B	
6F83		0001	
0001		0203	
0405		0607	

Рис. 6.2. Пример пакета ICMP

1. Разбиваем заголовок на слова по 16 бит, принимаем значение поля контрольной суммы равным нулю и суммируем полученные 16-битные слова между собой:

$$0x0800 + 0x0000 + 0x6F83 + 0x0001 + \\ + 0x0001 + 0x0203 + 0x0405 + 0x0607 = 0x8394.$$

2. Находим контрольную сумму, как двоичное поразрядное дополнение результата сложения:

$$CS_{ICMP} = 0xFFFF - 0x8394 = 0x7C6B.$$

Как можно видеть, результат совпадает со значением поля контрольной суммы, приведенным на рис. 6.2. Проверка контрольной суммы аналогична рассмотренной для протокола IPv4.



### 6.3. Порядок выполнения задания

1. Выбрать из табл. 6.1 согласно своему номеру варианта сетевой пакет в 16-ричном представлении, записанный начиная с заголовка Ethernet (Ethernet DIX). В заданном пакете поле контрольной суммы заменено на нули. Первый столбец обозначает номер строки в 16-ричном представлении.

2. Выделить из заданного сетевого пакета часть, относящуюся к протоколу ICMP. Определить тип и код ICMP-сообщения и записать его назначение. Разбить ICMP сообщение на поля.

3. Рассчитать контрольную сумму протокола ICMP.

4. Провести проверку правильности вычисления контрольной суммы.

Таблица 6.1

Пакет ICMP  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет ICMP																
1	0000	e8	de	27	8e	0f	75	74	d0	2b	ae	ec	02	08	00	45	00
	0010	00	54	31	7e	40	00	40	01	f4	86	c0	a8	01	0f	57	fa
	0020	fa	f2	08	00	00	00	55	7a	00	01	05	d2	e3	59	00	00
	0030	00	00	2a	54	03	00	00	00	00	00	10	11	12	13	14	15
	0040	16	17	18	19	1a	1b	1c	1d	1e	1f	20	21	22	23	24	25
	0050	26	27	28	29	2a	2b	2c	2d	2e	2f	30	31	32	33	34	35
	0060	36	37														
2	0000	e8	de	27	8e	0f	75	74	d0	2b	ae	ec	02	08	00	45	00
	0010	00	54	56	33	40	00	40	01	3f	6f	c0	a8	01	0f	40	e9
	0020	a2	66	08	00	00	00	55	7b	00	01	10	d2	e3	59	00	00
	0030	00	00	54	e5	01	00	00	00	00	00	10	11	12	13	14	15
	0040	16	17	18	19	1a	1b	1c	1d	1e	1f	20	21	22	23	24	25
	0050	26	27	28	29	2a	2b	2c	2d	2e	2f	30	31	32	33	34	35
	0060	36	37														
3	0000	74	d0	2b	ae	ec	02	e8	de	27	8e	0f	75	08	00	45	60
	0010	00	54	00	00	00	00	2d	01	e8	42	40	e9	a2	66	c0	a8
	0020	01	0f	00	00	00	00	55	7b	00	01	10	d2	e3	59	00	00
	0030	00	00	54	e5	01	00	00	00	00	00	10	11	12	13	14	15
	0040	16	17	18	19	1a	1b	1c	1d	1e	1f	20	21	22	23	24	25
	0050	26	27	28	29	2a	2b	2c	2d	2e	2f	30	31	32	33	34	35
	0060	36	37														
4	0000	74	d0	2b	ae	ec	02	e8	de	27	8e	0f	75	08	00	45	60
	0010	00	54	b1	06	00	00	31	01	c3	9e	57	fa	fa	f2	c0	a8
	0020	01	0f	00	00	00	00	55	7a	00	01	05	d2	e3	59	00	00
	0030	00	00	2a	54	03	00	00	00	00	00	10	11	12	13	14	15
	0040	16	17	18	19	1a	1b	1c	1d	1e	1f	20	21	22	23	24	25
	0050	26	27	28	29	2a	2b	2c	2d	2e	2f	30	31	32	33	34	35
	0060	36	37														

**Пакет ICMP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет ICMP
5	0000 74 d0 2b ae ec 02 e8 de 27 8e 0f 75 08 00 45 c0 0010 00 58 32 9c 00 00 40 01 c3 e8 c0 a8 01 01 c0 a8 0020 01 0f 0b 00 00 00 00 00 00 00 45 00 00 3c 77 f4 0030 00 00 01 11 2d 19 c0 a8 01 0f 57 fa fa f2 a5 ee 0040 82 9a 00 28 cd 6b 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 0050 4a 4b 4c 4d 4e 4f 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 0060 5a 5b 5c 5d 5e 5f
6	0000 74 d0 2b ae ec 02 e8 de 27 8e 0f 75 08 00 45 60 0010 00 58 ad 57 00 00 35 01 c3 49 57 fa fa f2 c0 a8 0020 01 0f 03 03 00 00 00 00 00 00 45 60 00 3c 78 15 0030 00 00 01 11 2c 98 c0 a8 01 0f 57 fa fa f2 c3 e1 0040 82 bb 00 28 af 57 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 0050 4a 4b 4c 4d 4e 4f 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 0060 5a 5b 5c 5d 5e 5f
7	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 54 e7 88 40 00 40 01 81 4c c0 a8 01 0f ac 10 0020 64 0c 08 00 00 00 55 e2 00 01 f3 d2 e3 59 00 00 0030 00 00 20 7f 07 00 00 00 00 00 10 11 12 13 14 15 0040 16 17 18 19 1a 1b 1c 1d 1e 1f 20 21 22 23 24 25 0050 26 27 28 29 2a 2b 2c 2d 2e 2f 30 31 32 33 34 35 0060 36 37
8	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 54 e8 6c 40 00 40 01 80 68 c0 a8 01 0f ac 10 0020 64 0c 08 00 00 00 55 e2 00 02 f4 d2 e3 59 00 00 0030 00 00 ca a5 07 00 00 00 00 00 10 11 12 13 14 15 0040 16 17 18 19 1a 1b 1c 1d 1e 1f 20 21 22 23 24 25 0050 26 27 28 29 2a 2b 2c 2d 2e 2f 30 31 32 33 34 35 0060 36 37
9	0000 74 d0 2b ae ec 02 e8 de 27 8e 0f 75 08 00 45 c0 0010 00 4f 32 9b 00 00 40 01 c3 f2 c0 a8 01 01 c0 a8 0020 01 0f 03 03 00 00 00 00 00 00 45 00 00 33 00 01 0030 00 00 40 11 f7 58 c0 a8 01 0f c0 a8 01 01 ac 4e 0040 98 58 00 1f 59 45 05 71 01 00 00 01 00 00 00 0050 00 00 02 79 61 02 72 75 00 00 01 00 01
10	0000 74 d0 2b ae ec 02 e8 de 27 8e 0f 75 08 00 45 60 0010 00 38 d7 e7 00 00 fc 01 0e 57 d4 e8 41 86 c0 a8 0020 01 0f 03 0d 00 00 00 00 00 00 45 60 00 33 00 01 0030 00 00 3c 11 b1 97 c0 a8 01 0f 0a 0a 01 01 ac 4e 0040 01 2c 00 1f a7 10

**Пакет ICMP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет ICMP
11	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 45 00 01 00 00 40 01 f7 56 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 09 00 00 00 00 00 00 00 31 33 35 31 34 36
	0030 35 31 34 33 35 31 33 35 34 36 38 31 34 33 35 61
	0040 33 31 63 61 35 31 61 33 35 31 61 63 33 35 31 66
	0050 33 61 31
12	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 50 00 01 00 00 40 01 f7 4b c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 09 00 00 00 00 00 00 00 31 33 35 31 34 36
	0030 35 31 34 33 35 31 33 35 34 36 38 31 34 33 35 61
	0040 33 31 63 61 35 31 61 33 35 31 61 63 33 35 31 66
	0050 33 61 31 66 31 64 33 66 35 31 64 66 31 64
13	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 4d 00 01 00 00 40 01 f7 4e c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 0d 00 00 00 00 00 00 00 03 cc 81 51 03 cc
	0030 81 51 03 cc 81 51 31 31 32 32 32 33 35 35 38 31
	0040 33 31 63 61 33 64 35 31 63 33 31 61 63 33 64 35
	0050 31 63 61 35 31 63 33 61 64 31 63
14	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 43 00 01 00 00 40 01 f7 58 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 0f 00 00 00 00 12 00 22 31 31 32 32 64 73
	0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61
	0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 61 64 31
	0050 63
15	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 4a 00 01 00 00 40 01 f7 51 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 0f 00 00 00 00 12 00 22 31 31 32 32 64 73
	0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61
	0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 61 64 31
	0050 63 61 76 74 62 61 66 64
16	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 4e 00 01 00 00 40 01 f7 4d c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 11 00 00 00 00 12 00 22 00 00 00 00 31 31
	0030 32 32 64 73 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64
	0040 35 31 63 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63
	0050 33 61 64 31 63 61 76 74 62 61 66 64
17	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 4a 00 01 00 00 40 01 f7 51 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 11 00 00 00 00 12 00 22 00 00 00 00 31 31
	0030 32 32 64 73 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64
	0040 35 31 63 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63
	0050 33 61 64 31 63 61 76 74

**Пакет ICMP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет ICMP
18	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 1e 00 00 00 00 00 00 00 31 31 32 32 64 73 0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61 0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 61 64 31 0050 63 61 76 74
19	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 03 0d 00 00 00 00 00 00 31 31 32 32 64 73 0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61 0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 61 64 31 0050 63 61 76 74
20	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 48 00 01 00 00 40 01 f7 53 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 11 00 00 00 00 63 00 18 00 00 00 00 6e 6b 0030 6c 32 33 31 33 6a 66 34 36 35 34 64 6e 76 6b 63 0040 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63 0050 6c 31 63 61 76 74
21	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 0f 00 00 00 00 13 00 0e 33 31 63 61 33 64 0030 35 31 61 63 6e 6b 6c 6a 66 64 6e 76 6b 63 61 64 0040 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63 6c 31 0050 63 61 76 74
22	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 0a 02 00 00 00 00 00 00 33 31 63 61 33 64 0030 35 31 61 63 6e 6b 6c 6a 66 64 6e 76 6b 63 61 64 0040 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63 6c 31 0050 63 61 76 74
23	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 47 00 01 00 00 40 01 f7 54 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 03 0a 00 00 00 00 00 00 64 6b 6d 6b 63 73 0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61 0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63 6c 0050 31 63 61 76 74
24	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00 0010 00 48 00 01 00 00 40 01 f7 53 c0 a8 01 0f c0 a8 0020 01 01 11 00 00 00 00 13 00 0e 00 00 00 00 6e 6b 0030 6c 32 33 31 33 6a 66 34 36 35 34 64 6e 76 6b 63 0040 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63 0050 6c 31 63 61 76 74

**Пакет ICMP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет ICMP
25	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 0a 00 00 00 00 00 00 00 33 31 63 61 33 64
	0030 35 31 61 63 6e 6b 6c 6a 66 64 6e 76 6b 63 61 64
	0040 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63 6c 31
	0050 63 61 76 74
26	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 4e 00 01 00 00 40 01 f7 4d c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 11 00 00 00 00 12 00 22 00 00 00 31 31
	0030 32 32 64 73 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64
	0040 35 31 63 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63
	0050 33 61 64 31 63 61 76 74 62 61 66 64
27	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 4a 00 01 00 00 40 01 f7 51 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 11 00 00 00 00 12 00 22 00 00 00 31 31
	0030 32 32 64 73 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64
	0040 35 31 63 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63
	0050 33 61 64 31 63 61 76 74
28	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 1e 00 00 00 00 00 00 00 31 31 32 32 64 73
	0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61
	0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 61 64 31
	0050 63 61 76 74
29	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 46 00 01 00 00 40 01 f7 55 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 03 0d 00 00 00 00 00 00 31 31 32 32 64 73
	0030 64 73 63 73 38 31 33 31 63 61 33 64 35 31 63 61
	0040 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 61 64 31
	0050 63 61 76 74
30	0000 e8 de 27 8e 0f 75 74 d0 2b ae ec 02 08 00 45 00
	0010 00 48 00 01 00 00 40 01 f7 53 c0 a8 01 0f c0 a8
	0020 01 01 11 00 00 00 00 63 00 18 00 00 00 6e 6b
	0030 6c 32 33 31 33 6a 66 34 36 35 34 64 6e 76 6b 63
	0040 61 64 66 33 31 61 35 31 66 33 35 31 63 33 73 63
	0050 6c 31 63 61 76 74

#### 6.4. Контрольные вопросы

1. Структура пакета ICMP.
2. Принцип расчета контрольной суммы пакета ICMP.

# Практическая работа 7

## Адресация IPv6

### 7.1. Цель работы

Изучить формат адреса IPv6 и процедуру его формирования.

### 7.2. Теоретические сведения

#### 7.2.1. Адрес IPv6

Формат адреса IPv6 показан на рис. 7.1. Длина IPv6-адресов составляет 128 бит, написанных в виде строки шестнадцатеричных цифр, сгруппированных в блоки по 4 цифры (16-битные сегменты — *хекстеты*). Каждая шестнадцатеричная цифра кодирует 4 бита адреса. Всего 32 цифры. Адресация IPv6 определена в RFC 4291.

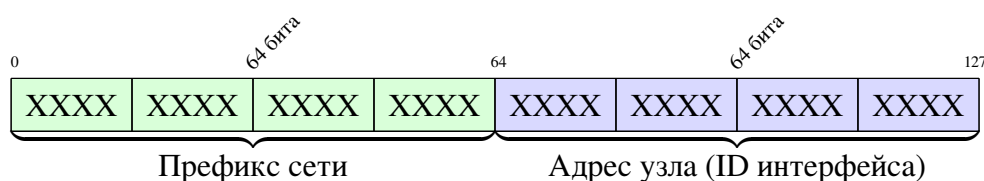


Рис. 7.1. Формат адреса IPv6

Поскольку адрес IPv6 имеет значительную длину, на практике для его записи применяют определенные правила. Рассмотрим их на примере:

2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334

#### 1. Пропуск всех начальных 0 в шестнадцатеричной записи

01AB -> 1AB      09F0 -> 9F0      0A00 -> A00      00AB -> AB

2001:db8:85a3:0:0:8a2e:370:7334

Это правило применяется только к начальным нулям, а не к завершающим, иначе адрес будет записан неоднозначно.

2. Двойное двоеточие (: :) может заменить любую единую, смежную последовательность одного или нескольких нулевых хекстетов. Двойное двоеточие может использоваться в адресе только один раз:

2001:db8:85a3::8a2e:370:7334

Пример неверного адреса:

2001:0DB8::ABCD::1234

### 7.2.2. Unicast адреса IPv6

Unicast адреса идентифицируют только один сетевой интерфейс. Протокол IPv6 доставляет пакеты, отправленные на такой адрес, на конкретный интерфейс. Существует шесть типов Unicast адресов.

1. Global unicast адреса являются глобально уникальными адресами, которые используются для адресации узлов (и маршрутизации пакетов) в сети Интернет. Глобальные индивидуальные адреса могут быть настроены статически или присвоены динамически.

2. Loopback-адрес используется узлом для отправки пакета самому себе и не может быть назначен физическому интерфейсу. Для проверки настроек TCP/IP на локальном узле можно послать эхо-запрос на loopback-адрес IPv6. Loopback-адрес IPv6 состоит из нулей, за исключением последнего бита, и выглядит как `::1/128` или просто `::1` в сжатом формате.

3. Link-local IPv6-адрес позволяет устройству обмениваться данными с другими устройствами под управлением IPv6 в одной сети. Пакеты с локальным адресом канала источника или назначения не могут маршрутизироваться за пределы той сети, в которой они были созданы. Локальный адрес формируется автоматически, как правило на основе физического MAC-адреса сетевой карты. Часто он формируется, даже если у устройства уже есть global unicast или unique local адрес IPv6, полученный им у маршрутизатора или прописанный вручную. Локальные IPv6-адреса находятся в диапазоне `FE80::/10`.

4. Неопределённый адрес (Unspecified address) состоит из нулей и в сжатом формате представлен как `::/128` или просто `::`. Он не может быть назначен интерфейсу и используется только в качестве адреса источника в IPv6-пакете, когда устройству еще не назначен постоянный IPv6-адрес или когда источник пакета не относится к месту назначения.

5. Unique local IPv6-адреса (RFC 4193) имеют некоторые общие особенности с частными («серыми») адресами для IPv4, но при этом между ними имеются и значительные различия. Уникальные локальные адреса используются для локальной адресации в пределах сети или между ограниченным количеством сетей. Эти адреса не должны маршрутизироваться в глобальной сети. Уникальные локальные адреса находятся в диапазоне от `FC00::/7` до `FDFE::/7`.

6. Встроенные IPv4-адреса (IPv4 embedded). Использование этих адресов способствует переходу с протокола IPv4 на IPv6. Эти адреса определены в RFC 6052. Выделяют так называемый *IPv4 совместимый IPv6 адрес* вида `::FFFF:xx.xx.xx.xx/96`, в котором нижние 32 бита — это адрес IPv4. Данный вид адреса устарел и больше не используется. Также выделяют *адрес IPv4, отображённый на IPv6* вида `::xx.xx.xx.xx/96`.

### 7.2.3. Global unicast IPv6

Global unicast IPv6-адреса уникальны по всему миру и доступны для маршрутизации через Интернет IPv6. Эти адреса эквивалентны публичным адресам IPv4. В настоящее время назначаются только глобальные индивидуальные адреса с первыми тремя битами 0b001 или 2000::/3. Это лишь 1/8 от всего доступного адресного пространства IPv6. Адрес 2001:0DB8::/32 был зарезервирован для документации, в том числе для использования в примерах. Структура Global unicast адреса показана на рис. 7.2.

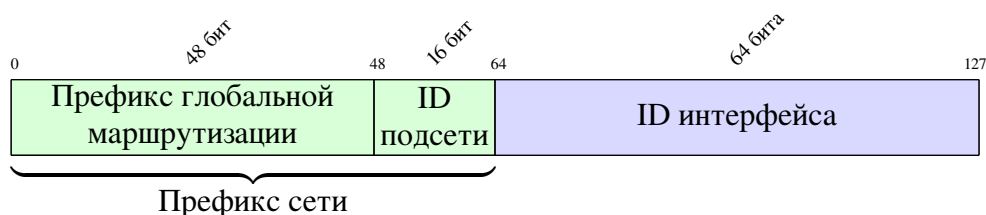


Рис. 7.2. Структура Global unicast IPv6-адреса

- *Префикс глобальной маршрутизации* — это сетевая часть адреса, назначаемая интернет-провайдером заказчику или узлу. Для его обозначения используется префикс (маска) /48. Префикс глобальной маршрутизации интернет-провайдеры назначают своим заказчикам — корпоративным сетям и индивидуальным пользователям. Адресного пространства, предоставляемого одним префиксом /48, более чем достаточно для большинства заказчиков.

- *Идентификатор подсети* используется организациями для разделения префикса глобальной маршрутизации на подсети. То есть используется для структурирования сети организации.

- *Идентификатор интерфейса* эквивалентен адресу узла в IPv4. Термин «идентификатор интерфейса» обычно используется, когда один узел может иметь несколько интерфейсов, каждый из которых обладает одним или более IPv6-адресами. Идентификатор интерфейса часто формируется автоматически на основе MAC-адреса сетевого интерфейса.

### 7.2.4. Процесс EUI-64

Для формирования 64-битного идентификатора интерфейса адреса IPv6 из 48-битного MAC-адреса сетевого интерфейса используется так называемый изменённый процесс EUI-64, разработанный IEEE. Использование такого идентификатора удобно тем, что он обеспечивает однозначное соответствие между сетевым интерфейсом (сетевой картой) и сетевым адресом, что позволяет отслеживать IPv6-адрес до конечных устройств. Однако именно эта возможность отследить как пакеты устройства, так и перемещение самого устройства между сетями привела к тому, что были высказаны опасения о



нарушении приватности пользователей, а также об уменьшении уровня безопасности сети. Соответственно, современные ОС на конечных устройствах позволяют генерировать идентификатор интерфейса адреса IPv6 случайным образом.

Рассмотрим процедуру формирования идентификатора интерфейса адреса IPv6 на примере.

1. На первом шаге 48-битный MAC-адрес сетевого интерфейса преобразуется в расширенный уникальный идентификатор EUI-64. Для этого в середину MAC-адреса между 24-битным идентификатором организации (OUI) и уникальным номером сетевого интерфейса вставляют 16 бит — FF:FE:

$$02:0C:29:0C:47:D5 \longrightarrow 02:0C:29:FF:FE:0C:47:D5$$

2. На втором шаге производится инверсия бита Unique/Local, который указывает, является ли MAC-адрес уникальным, записанным на предприятии, или же он был присвоен системным администратором устройства.

$$02:0C:29:FF:FE:0C:47:D5 \longrightarrow 00:0C:29:FF:FE:0C:47:D5$$

Второй шаг позволяет администратору задать такой MAC-адрес, который преобразуется в короткий, легко заметный при анализе трафика идентификатор интерфейса адреса IPv6. Пример получения адреса IPv6 из локального MAC-адреса:

$$02:00:00:00:00:01 \implies FE80::FF:FE00:1$$

### 7.2.5. Multicast IPv6

*Multicast адрес* или *групповой адрес* используется для отправки одного пакета *группе мультивещания*, которая может состоять из одного или нескольких сетевых устройств. Соответственно, multicast адреса могут быть только адресами назначения, а не адресами источника. Multicast адреса IPv6 имеют префикс FF00::/8.

Существует два типа multicast адресов IPv6:

- 1) назначенные (присвоенные) (assigned multicast);
- 2) запрошенные (solicited multicast).

*Присвоенные групповые адреса* (assigned multicast) — это фиксированные адреса, используемые для заданных групп устройств, работающих в одной сети, использующих один протокол или сервис. Например, существует присвоенный групповой адрес, используемый в протоколе DHCPv6. Ниже приведены примеры присвоенных групповых адресов IPv6.

1. FF02::1 — группа мультивещания для всех IPv6-узлов, к которой подключены все устройства одной сети под управлением протокола IPv6. Пакет, отправленный этой группе, получается и обрабатывается всеми IPv6-интерфейсами в сети. Эта группа адресов работает так же, как широковещательный адрес в протоколе IPv4.

2. FF02::2 — группа мультивещания для всех маршрутизаторов, к которой подключены все IPv6-маршрутизаторы одной сети.

3. FF02::5 — все маршрутизаторы OSPFv3.

4. FF02::A — все маршрутизаторы EIGRP (IPv6).

5. FF02::1:2 — все серверы и агенты ретрансляции протокола DHCPv6, работающие в одном сегменте локальной сети.

*Групповой адрес запрашиваемого узла (solicited multicast)* создается автоматически при назначении глобального или локального индивидуально-го адреса. Групповой IPv6-адрес запрашиваемого узла создается посредством объединения специального префикса FF02:0:0:0:0:1:FF00::/104 с крайними правыми 24 битами его индивидуального адреса. Эти адреса используются в таких протоколах как MLD (ICMPv6), позволяя передать пакет, предназначенный конкретному устройству, широковещательно.

Поскольку в одной сети в идентификаторах интерфейса устройств одинаковые крайние правые 24 бита встречаются крайне редко, такой способ формирования запрашиваемых адресов IPv6 не влечет за собой никаких проблем. Каждое сетевое устройство, у которого совпали крайние правые 24 бита, по-прежнему будет обрабатывать инкапсулированное сообщение, в котором содержится полный IPv6-адрес запрашиваемого устройства.

Для отображения групповых адресов IPv6 на канальный уровень используются специальные MAC-адреса 33:33:xx:xx:xx:xx. В них последние 32 бита равны последним 32 битам группового адреса IPv6.

### **7.2.6. Разбиение сети IPv6 на подсети**

Разбиение сети IPv6 в отличие от сетей IPv4 в первую очередь производится не с целью экономии адресов, а для обеспечения иерархической логической структуры сети. Разбиение на подсети в IPv6 возможно провести двумя вариантами.

1. *Разбиение на подсети с использованием идентификатора подсети.* Блок адресов IPv6 с префиксом /48 содержит 16-битный идентификатор подсети, который позволяет организовать 65536 возможных подсетей /64. Поэтому нет необходимости заимствовать биты из идентификатора интерфейса или узловой части адреса. Каждая IPv6-подсеть /64 содержит примерно  $18 \cdot 10^{18}$  адресов, что гораздо больше, чем когда-либо понадобится в одном сегменте IP-сети. Префикс глобальной маршрутизации является одинаковым

для всех подсетей. Для каждой подсети увеличивается только четырёхрядный идентификатор подсети, как показано на рис. 7.3. Для примера взят префикс глобальной маршрутизации 2001:01A5:BD3F/48.

0	48 бит	48	16 бит	64	64 бита	127
2001:01A5:BD3F	0000	::				
2001:01A5:BD3F	0001	::				
2001:01A5:BD3F	0002	::				
...	...	...				
2001:01A5:BD3F	FFFE	::				
2001:01A5:BD3F	FFFF	::				
Префикс глоб. маршр.		ID подсети		ID интерфейса		

Рис. 7.3. Разбиение на подсети с использованием идентификатора подсети

2. Разбиение на подсети с использованием идентификатора интерфейса. В сетях IPv6 по аналогии IPv4 можно позаимствовать биты из идентификатора интерфейса для создания дополнительных IPv6-подсетей, как показано на рис. 7.4. Как правило, это делается по соображениям безопасности, чтобы уменьшить число узлов в подсети и создать дополнительные подсети. При этом способе разбиения рекомендуется создавать подсеть на границе полубайта (4 бита или одна шестнадцатеричная цифра). Например, на рис. 7.4 префикс подсети /64 расширяется на четыре бита до префикса /68 за счет уменьшения идентификатора интерфейса на 4 бита (с 64 до 60). Начиная с /64, масками подсети (префиксами), выровненными по полубайту, будут: /68, /72, /76, вплоть до /124. Можно создать подсеть с префиксом не кратным 4, однако это не рекомендуется, поскольку сводит на нет преимущества быстрого определения префикса из идентификатора интерфейса. Например, если использовать префикс /66, то первые два бита шестнадцатеричной цифры будут частью идентификатора подсети, а вторые два бита — частью идентификатора интерфейса.

0	48 бит	48	20 бит	68	60 бит	127
2001:01A5:BD3F	00000	::				
2001:01A5:BD3F	00001	::				
2001:01A5:BD3F	00002	::				
...	...	...				
2001:01A5:BD3F	FFFEE	::				
2001:01A5:BD3F	FFFFF	::				
Префикс глоб. маршр.		ID подсети		ID интерфейса		

Рис. 7.4. Разбиение на подсети с использованием идентификатора интерфейса

### 7.3. Порядок выполнения задания

Задание на практическую работу выполняется на бланке, форма которого приведена в конце описания работы. Вариант задания выбирается согласно номеру студента в журнале группы.

1. По заданному в табл. 7.1 сокращенному представлению адреса IPv6 записать полную форму адреса IPv6. Выделить префикс маршрутизации, адрес подсети и идентификатор интерфейса.

2. По заданному в табл. 7.2 локально-администрируемому адресу EUI-48 (MAC-адрес) сформировать link-local адрес IPv6, запрошенный групповой адрес IPv6 (solicited multicast). Оба адреса записать в полной и в сокращенной формах. Также сформировать групповой MAC-адрес, соответствующий сформированному групповому адресу IPv6

3. По заданному в табл. 7.3 количеству хостов в подсети произвести разбиение блока адресов IPv6 на подсети с использованием идентификатора интерфейса. Префикс маршрутизации взять из адреса IPv6, заданного в табл. 7.1. Указать адрес первой, второй и последней подсетей блока. Результат записать в полной и в сокращенной формах.

Таблица 7.1

Сокращенная форма адреса IPv6  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Адрес IPv6	№	Адрес IPv6
1	12:143:0:0:1a3f::234	16	d321:0:d4::345:5
2	f42:3::43:0:21	17	12:10:0:e6f::242
3	ad::d23:0:3:45	18	::5:ed5:e212:0:2a
4	b:5e::7:502:0:83	19	4a:c8e::f97:15:7c5:70
5	35f:f3::39db:2b:40	20	d:2b5:172:f346:e::38f
6	::54:b:0:0:38f:73	21	0:cf6:6c:f62::ec9:10
7	321:110:48::a:0:526	22	fe6:70:497::8:d41:3dc
8	514::b9ca:8e:0:f8:b	23	4c:516::475:840:4:1d
9	1b:0:b::a32:1e	24	71::2a4:f2b8:e:2a7:47
10	5:e4::f97:cce:7d:f	25	181f:f:72c:38:b1d::b7
11	27:101::58cb:187:2fd	26	2a:1bd:2:2cd::c5:50
12	331::75e:9b4:70:3	27	47:dc6::8a:a0:ced:a8
13	7d:206:4::71:206	28	::39e:300:b:83:bd4:3
14	b5:392:af::dd4:52	29	b56a:2:93:65:b0::bc0
15	c:55e:d::707:1d:b	30	6b::1:c23:1b79:30:b80

Таблица 7.2

*Локально-администрируемый адрес EUI-48 (MAC-адрес)  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)*

№	Адрес EUI-48	№	Адрес EUI-48
1	86:20:4d:e3:01:bf	16	4e:0f:a9:ad:ac:68
2	66:c0:f5:ec:c8:05	17	ae:57:50:59:ef:cc
3	c6:18:ef:b0:0e:6a	18	6e:98:7a:9c:d9:e4
4	0a:a3:30:72:4b:10	19	82:59:4f:17:1d:40
5	e6:49:cd:c0:4d:50	20	de:24:ff:dc:55:99
6	5a:0d:80:1a:b3:b7	21	8e:84:76:80:93:1a
7	aa:07:9f:3e:dc:68	22	46:42:f2:4a:eb:56
8	72:89:f4:35:06:70	23	2e:90:dd:9b:ce:a1
9	f2:bd:a2:65:55:b4	24	ca:47:83:4e:6e:a7
10	02:87:e5:fa:78:f3	25	46:43:d0:73:68:b1
11	4e:e6:16:ad:73:2c	26	5e:53:f1:f6:89:6b
12	56:e1:67:a3:c0:43	27	ea:60:f6:b8:6e:19
13	da:7e:1e:f2:90:af	28	a2:98:6b:1b:33:3d
14	5e:fa:e5:f6:67:e5	29	62:84:77:7c:bf:ae
15	06:a6:da:03:14:33	30	42:71:93:00:99:d5

Таблица 7.3

*Количество хостов в подсети  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)*

№	Кол-во хостов	№	Кол-во хостов
1, 11, 21	$4,5 \cdot 10^{15}$	6, 16, 26	$2,8 \cdot 10^{14}$
2, 12, 22	$1,7 \cdot 10^{13}$	7, 17, 27	$1,0 \cdot 10^{12}$
3, 13, 23	$6,8 \cdot 10^{10}$	8, 18, 28	$4,2 \cdot 10^9$
4, 14, 24	$2,6 \cdot 10^8$	9, 19, 29	$1,6 \cdot 10^7$
5, 15, 25	$1,0 \cdot 10^6$	10, 20, 30	$7,2 \cdot 10^{16}$

#### 7.4. Контрольные вопросы

1. Структура IPv6-адреса.
2. Виды unicast адресов IPv6.
3. Виды multicast адресов IPv6.
4. Принцип деления сети IPv6 на подсети.

**Бланк к практической работе 7**  
**Адресация IPv6**

Группа	№	ФИО студента

***Восстановление адреса IPv6***

Сокращенный адрес: \_\_\_\_\_

Полный адрес: \_\_\_\_\_

***Формирование адреса IPv6 из EUI-48***

Адрес EUI-48: \_\_\_\_\_

Адрес EUI-64: \_\_\_\_\_

Link-local IPv6 (полн.): \_\_\_\_\_

Link-local IPv6 (сокр.): \_\_\_\_\_

Solic. mult. IPv6 (полн.): \_\_\_\_\_

Solic. mult. IPv6 (сокр.): \_\_\_\_\_

Групповой MAC: \_\_\_\_\_

***Разбиение блока адресов IPv6 на подсети с использованием идентификатора интерфейса***

Префикс маршр.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Кол-во хостов: \_\_\_\_\_

Первая подсеть (полн.): \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Первая подсеть (сокр.): \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Вторая подсеть (полн.): \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Вторая подсеть (сокр.): \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Послед. подсеть (полн.): \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Послед. подсеть (сокр.): \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## Практическая работа 8

### *Расчет контрольной суммы заголовка протоколов транспортного уровня TCP и UDP*

#### 8.1. Цель работы

Изучить формат заголовка протоколов TCP и UDP и разобрать механизм вычисления 16-битовой контрольной суммы, используемой для обнаружения ошибок в протоколах транспортного уровня.

#### 8.2. Теоретические сведения

##### 8.2.1. Структура пакета TCP

Структура пакета протокола TCP показана на рис. 8.1. Вверху рисунка указаны номера бит. В табл. 8.1 приведено назначение каждого из полей заголовка TCP.

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
Порт отправителя																Порт получателя															
Номер пакета																															
Номер подтверждения																															
Длина заг.				Зарезерв.				Флаги				Размер окна																			
Контрольная сумма																Указатель важности»															
Опции...																								Заполнение							
Данные																															

*Рис. 8.1. Структура пакета TCP*

*Таблица 8.1*

*Значения полей заголовка пакета TCP*

Поле	Значение
Порт отправителя	Идентифицирует приложение (протокол), с которого отправлен пакет.
Порт получателя	Идентифицирует приложение (протокол), на который отправлен пакет
Номер пакета	Задаёт номер пакета в пределах TCP соединения. Обеспечивает соблюдение последовательности обработки принимаемых пакетов
Номер подтверждения	Используется вместе с флагом АСК. Содержит номер последовательности, ожидаемый получателем в следующий раз. Работает как подтверждение получения
Длина заголовка	Определяет размер заголовка пакета TCP в 4-байтных словах. Минимальный размер составляет 5 слов (20 байт), а максимальный — 15 (60 байт)

Значения полей заголовка пакета TCP

Поле	Значение
Зарезервировано	Поле, зарезервированное для будущего использования. Должно устанавливаться в ноль. В RFC 3168 определены биты 5 и 6, которые отведены под специальные флаги управления перегрузкой: <ul style="list-style-type: none"> <li>• CWR (Congestion Window Reduced, Окно перегрузки уменьшено) — устанавливается отправителем, чтобы указать, что получен пакет с флагом ECE.</li> <li>• ECE (ECN-Echo, Эхо ECN) — указывает, что данный узел способен на ECN (явное уведомление перегрузки), а также для указания отправителю о перегрузках в сети</li> </ul>
Флаги	Управляющие биты: <ul style="list-style-type: none"> <li>• URG — поле «Указатель важности» задействовано.</li> <li>• ACK — поле «Номер подтверждения» задействовано.</li> <li>• PSH — передать данные, накопившиеся в приемном буфере, в приложение пользователя.</li> <li>• RST — разорвать TCP соединение и очистить приемный буфер.</li> <li>• SYN — синхронизация номеров последовательности.</li> <li>• FIN — указывает на завершение соединения</li> </ul>
Размер окна	Содержит размер данных в байтах, которые отправитель готов принять
Контрольная сумма	16-битное дополнение к сумме всех 16-битных слов заголовка, псевдозаголовка и данных
Указатель важности	16-битное значение положительного смещения от порядкового номера в данном сегменте. Указывает порядковый номер октета, которым заканчиваются важные данные. Используется только с установленным флагом URG
Опции	Могут применяться в некоторых случаях для расширения протокола. Иногда используются для тестирования. На данный момент в опции часто включают 2 байта NOP (0x01) и 10 байт, задающих временные метки (timestamps). Вычислить длину поля опций можно через значение поля длины заголовка
Заполнение	Используется для дополнения заголовка TCP до размера, кратного 4 байтам

### 8.2.2. Контрольная сумма протокола TCP

Алгоритм расчета контрольной суммы пакета TCP практически аналогичен таковому для заголовка пакета IP. Контрольная сумма рассчитывается для всего пакета TCP, а также учитывает IP-адреса отправителя и получателя. Для этого перед расчетом контрольной суммы формируется специальный псевдозаголовок, структура которого показана на рис. 8.2.



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
IPv4-адрес отправителя																															
IPv4-адрес получателя																															
Нули								Тип протокола								Длина пакета TCP/UDP															

Рис. 8.2. Структура псевдозаголовка TCP/UDP

Указанный в псевдозаголовке тип протокола берется из заголовка протокола IP. Для TCP он равен 0x06, а для UDP — 0x11.

### 8.2.3. Структура пакета UDP

Структура пакета протокола UDP показана на рис. 8.3. Вверху рисунка указаны номера бит. В табл. 8.2 приведено назначение каждого из полей заголовка UDP.

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
Порт отправителя																Порт получателя															
Длина датаграммы																Контрольная сумма															
Данные																															

Рис. 8.3. Структура пакета UDP

Таблица 8.2

Значения полей заголовка пакета UDP

Поле	Значение
Порт отправителя	Идентифицирует приложение (протокол), с которого отправлен пакет
Порт получателя	Идентифицирует приложение (протокол), на который отправлен пакет
Длина датаграммы	Длина UDP-датаграммы в байтах
Контрольная сумма	16-битное дополнение к сумме всех 16-битных слов заголовка, псевдозаголовка и данных

### 8.2.4. Контрольная сумма протокола UDP

Алгоритм расчета контрольной суммы датаграммы UDP аналогичен таковому для заголовка пакета TCP. Контрольная сумма рассчитывается для всей датаграммы UDP, а также учитывает IP-адреса отправителя и получателя. Для этого, как и в случае протокола TCP, перед расчетом контрольной суммы формируется специальный псевдозаголовок, структура которого показана на рис. 8.2.

Рассмотрим вычисление контрольной суммы UDP на примере датаграммы, показанной на рис. 8.4. Датаграмма записана, начиная с заголовка протокола IPv4. Расцветка соответствует рис. 4.1 и 8.3.

0	15 16	31	
4500		0038	} Заголовок IPv4
DAF5		0000	
4011		6537	
C0A8		010F	
C1C8		B708	} Заголовок UDP
E4DD		0035	
0024		0B54	} Данные UDP
C0FD		0100	
0001		0000	
0000		0000	
0667		6F6F	
676C		6503	
636F		6D00	
0001		0001	

Рис. 8.4. Пример пакета UDP с заголовком IPv4

Расчет контрольной суммы происходит в следующем порядке.

1. Формируется псевдозаголовок (рис. 8.5).

0	15 16	31
C0A8		010F
C1C8		B708
0011		0024

Рис. 8.5. Псевдозаголовок пакета UDP

2. Разбиваем заголовок UDP, блок данных и псевдозаголовок на слова по 16 бит, принимаем значение поля контрольной суммы равным нулю и суммируем полученные 16-битные слова между собой:

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{(0xE4DD + 0x0035 + 0x0024 + 0x0000)}_{\text{Заголовок UDP}} + \\
 & + (0xC0FD + 0x0100 + 0x0001 + 0x0000 + \\
 & + 0x0000 + 0x0000 + 0x0667 + 0x6F6F + 0x676C + \\
 & + 0x6503 + 0x636F + 0x6D00 + 0x0001 + 0x0001) + \\
 & + \underbrace{(0xC0A8 + 0x010F + 0xC1C8 + 0xB708 + 0x0011 + 0x0024)}_{\text{Псевдозаголовок}} = 0x5F4A6.
 \end{aligned}$$

3. Поскольку двоичная запись результата сложения превышает 16 бит, разбиваем его на два слова по 16 бит каждое и снова их суммируем:

$$0x0005 + 0xF4A6 = 0xF4AB.$$

4. Находим контрольную сумму как двоичное поразрядное дополнение результата сложения:

$$CS_{UDP} = 0xFFFF - 0xF4AB = 0x0B54.$$

Как можно видеть, результат совпадает со значением поля контрольной суммы, приведенным на рис. 8.4.

Проверка контрольной суммы аналогична рассмотренной для протокола IPv4.

### 8.3. Порядок выполнения задания

#### 8.3.1. Расчет контрольной суммы протокола TCP

1. Выбрать из табл. 8.3 согласно своему номеру варианта сетевой пакет в 16-ричном представлении, записанный начиная с заголовка Ethernet (Ethernet DIX). В заданном пакете поле контрольной суммы TCP заменено на нули. Первый столбец обозначает номер строки в 16-ричном представлении.

2. Выделить из заданного сетевого пакета заголовок протокола TCP. Разбить заголовок протокола TCP на поля, выписать их и указать назначение.

3. Рассчитать контрольную сумму протокола TCP.

4. Провести проверку правильности вычисления контрольной суммы.

#### 8.3.2. Расчет контрольной суммы протокола UDP

1. Выбрать из табл. 8.4 согласно своему номеру варианта сетевой пакет в 16-ричном представлении, записанный начиная с заголовка Ethernet (Ethernet DIX). В заданном пакете поле контрольной суммы UDP заменено на нули. Первый столбец обозначает номер строки в 16-ричном представлении.

2. Выделить из заданного сетевого пакета заголовок протокола UDP. Разбить заголовок протокола UDP на поля, выписать их и указать назначение.

3. Рассчитать контрольную сумму протокола UDP.

4. Провести проверку правильности вычисления контрольной суммы.

Таблица 8.3

#### Пакет TCP

(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет TCP
1	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 34 fe 53 40 00 40 06 33 2c ac 10 64 29 d8 ef
	0020 20 1b c2 ac 01 bb 8b 79 69 62 52 e2 d2 c4 80 10
	0030 01 7f 00 00 00 00 01 01 08 0a 17 8b eb 22 00 a1
	0040 27 a2

**Пакет TCP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет TCP
2	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 23 3b 40 00 40 06 c4 fa ac 10 64 29 5b ee 0020 e6 5e e5 08 00 50 ac 54 66 80 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a 5a 89 0040 ba a7 00 00 00 00 01 03 03 07
3	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c 98 0e 40 00 40 06 50 27 5b ee e6 5e ac 10 0020 64 29 00 50 e5 08 75 20 5c 66 ac 54 66 81 a0 12 0030 ff ff 00 00 00 00 02 04 05 b4 01 03 03 06 04 02 0040 08 0a 8a 10 41 c9 5a 89 ba a7
4	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 23 3e 40 00 40 06 c4 ff ac 10 64 29 5b ee 0020 e6 5e e5 08 00 50 ac 54 69 6b 75 20 5d ea 80 10 0030 00 ed 00 00 00 00 01 01 08 0a 5a 89 bf 4c 8a 10 0040 46 6e
5	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c 00 00 40 00 3e 06 ea 35 5b ee e6 5e ac 10 0020 64 29 01 bb ae 80 ed f9 e6 e5 0e b8 e3 1e a0 12 0030 71 20 00 00 00 00 02 04 05 64 04 02 08 0a 5d c5 0040 ac cf 5a 89 c3 30 01 03 03 07
6	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c c4 80 40 00 40 06 23 b5 ac 10 64 29 5b ee 0020 e6 5e ae 8a 01 bb de 70 83 61 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a 5a 89 0040 c3 3f 00 00 00 00 01 03 03 07
7	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c 00 00 40 00 3e 06 ea 35 5b ee e6 5e ac 10 0020 64 29 01 bb ae 8a b9 d1 21 77 de 70 83 62 a0 12 0030 71 20 00 00 00 00 02 04 05 64 04 02 08 0a 5d c5 0040 ac d3 5a 89 c3 3f 01 03 03 07
8	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 48 86 40 00 40 06 ea d8 ac 10 64 29 ad c2 0020 49 61 ae 52 01 bb 67 3b 0f 69 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a 82 bf 0040 1e 58 00 00 00 00 01 03 03 07
9	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 40 48 8d 40 00 40 06 ea cd ac 10 64 29 ad c2 0020 49 61 ae 52 01 bb 67 3b 12 6b 3f d1 e7 a0 b0 10 0030 00 ed 00 00 00 00 01 01 08 0a 82 bf 1e 75 a3 1d 0040 08 ab 01 01 05 0a 3f d1 e7 7a 3f d1 e7 a0

**Пакет TCP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет TCP
10	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 83 fc 40 00 40 06 57 6d ac 10 64 29 58 d4 0020 f6 44 85 ba 00 50 fa c5 ca d3 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a ae f7 0040 b7 ea 00 00 00 00 01 03 03 07
11	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c 98 1f 40 00 40 06 43 4a 58 d4 f6 44 ac 10 0020 64 29 00 50 85 ba d9 b8 14 63 fa c5 ca d4 a0 12 0030 ff ff 00 00 00 00 02 04 05 b4 01 03 03 06 04 02 0040 08 0a 79 d0 d9 27 ae f7 b7 ea
12	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 03 3a 40 00 40 06 0a 0e ac 10 64 29 58 d4 0020 c4 66 c9 8a 01 bb d7 12 4a 09 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a a7 c5 0040 90 36 00 00 00 00 01 03 03 07
13	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c 1c d3 00 00 33 06 08 3e 57 fa fa 77 ac 10 0020 64 29 01 bb b4 e0 68 c2 44 7d 15 4c 62 7f a0 12 0030 6d 38 00 00 00 00 02 04 05 64 04 02 08 0a 77 94 0040 30 49 f1 e0 d2 2c 01 03 03 08
14	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 83 ff 40 00 40 06 57 72 ac 10 64 29 58 d4 0020 f6 44 85 ba 00 50 fa c5 ce 70 d9 b8 16 85 80 10 0030 00 ed 00 00 00 00 01 01 08 0a ae f7 b9 bf 79 d0 0040 da fc
15	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c de 6d 40 00 40 06 fc fb ac 10 64 29 58 d4 0020 f6 44 85 c0 00 50 ff 8e 97 bc 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a ae f7 0040 ba 6f 00 00 00 00 01 03 03 07
16	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 de 70 40 00 40 06 fd 00 ac 10 64 29 58 d4 0020 f6 44 85 c0 00 50 ff 8e 98 fa b7 12 e8 fa 80 10 0030 00 ed 00 00 00 00 01 01 08 0a ae f7 ba 7f 6f 9a 0040 f4 fb
17	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 de 73 40 00 40 06 fc fd ac 10 64 29 58 d4 0020 f6 44 85 c0 00 50 ff 8e 9a e0 b7 12 eb bc 80 10 0030 00 fe 00 00 00 00 01 01 08 0a ae f7 bc 02 6f 9a 0040 f6 7e

**Пакет TCP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет TCP
18	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 7c 50 40 00 40 06 d4 6c ac 10 64 29 5f a7 0020 7a 1e e4 ae 01 bb 8e 2f 31 d5 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a d5 2d 0040 b3 d3 00 00 00 00 01 03 03 07
19	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c 00 00 40 00 38 06 58 bd 5f a7 7a 1e ac 10 0020 64 29 01 bb e4 ae 08 b0 fb f1 8e 2f 31 d6 a0 12 0030 38 90 00 00 00 00 02 04 05 64 04 02 08 0a 3b 24 0040 1f 1e d5 2d b3 d3 01 03 03 07
20	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 c1 f0 40 00 40 06 26 4d ac 10 64 29 5b ee 0020 e6 5e ae 86 01 bb 1b 9d 88 63 9e a3 79 9f 80 11 0030 00 ed 00 00 00 00 01 01 08 0a 5a 89 da 40 5d c5 0040 ac e0
21	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 34 a2 72 40 00 3e 06 47 cb 5b ee e6 5e ac 10 0020 64 29 01 bb ae 8c aa 6b 38 e0 aa 06 66 e9 80 10 0030 00 eb 00 00 00 00 01 01 08 0a 5d c5 b2 93 5a 89 0040 da 40
22	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 34 f9 89 40 00 38 06 1b c6 58 d4 c4 66 ac 10 0020 64 29 01 bb c9 8a 89 cd 54 7e d7 12 4c 62 80 14 0030 01 ff 00 00 00 00 01 01 08 0a 8b f1 73 9e a7 c5 0040 a5 d6
23	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 34 26 40 00 40 06 fe dd ac 10 64 29 ad c2 0020 49 c4 ec 0a 01 bb 37 b2 b4 d2 01 14 f9 60 80 11 0030 01 3d 00 00 00 00 01 01 08 0a aa d0 12 56 50 1e 0040 22 64
24	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 66 ef 40 00 40 06 91 d7 ac 10 64 29 b9 a7 0020 78 14 dd da 00 50 f1 07 29 33 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a c3 cc 0040 2c 41 00 00 00 00 01 03 03 07
25	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c a7 20 40 00 40 06 51 a6 ac 10 64 29 b9 a7 0020 78 14 dd de 00 50 9c 33 f7 19 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a c3 cc 0040 2d b4 00 00 00 00 01 03 03 07

**Пакет TCP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет TCP
26	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 76 fe 40 00 40 06 81 c8 ac 10 64 29 b9 a7 0020 78 14 dd e6 00 50 58 93 26 c0 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a c3 cc 0040 2d c9 00 00 00 00 01 03 03 07
27	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 34 ad 6c 40 00 40 06 85 fc ac 10 64 29 ad c2 0020 49 5f d4 ea 01 bb df ba ff 58 53 19 6c 1e 80 10 0030 00 ed 00 00 00 00 01 01 08 0a e1 ce 27 e1 3d 5b 0040 c6 18
28	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 3c a3 36 40 00 40 06 4f 49 c1 7c 76 86 ac 10 0020 64 29 00 50 ab ce bb 04 24 ee d3 36 fe 13 a0 12 0030 ff ff 00 00 00 00 02 04 05 b4 01 03 03 06 04 02 0040 08 0a e4 84 46 7d b8 d8 09 9e
29	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 34 d0 c9 40 00 58 06 da a7 1f 0d 48 0c ac 10 0020 64 29 01 bb b1 56 34 58 fe d8 11 de 18 8d 80 11 0030 00 7e 00 00 00 00 01 01 08 0a fa eb c9 a3 ba 98 0040 61 f9
30	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3c 8a da 40 00 40 06 a8 5a ac 10 64 29 ad c2 0020 49 8b 8e 42 00 50 07 5b d9 c6 00 00 00 00 a0 02 0030 72 10 00 00 00 00 02 04 05 b4 04 02 08 0a 91 cf 0040 05 58 00 00 00 00 01 03 03 07

Таблица 8.4

**Пакет UDP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет UDP
1	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 48 0d 88 00 00 7e 11 6e c6 ac 10 04 0d ac 10 0020 64 29 00 35 a1 a7 00 34 00 00 39 12 81 80 00 01 0030 00 01 00 00 00 00 03 77 77 77 03 73 75 74 02 72 0040 75 00 00 01 00 01 c0 0c 00 01 00 01 00 00 04 0d 0050 00 04 5b ee e6 5e

**Пакет UDP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет UDP																
2	0000	d8	50	e6	a2	37	61	00	01	02	a0	a7	ee	08	00	45	00
	0010	00	44	15	db	00	00	7e	11	66	77	ac	10	04	0d	ac	10
	0020	64	29	00	35	9f	1d	00	30	00	00	b0	9c	81	80	00	01
	0030	00	01	00	00	00	00	03	73	75	74	02	72	75	00	00	01
	0040	00	01	c0	0c	00	01	00	01	00	00	01	11	00	04	5b	ee
	0050	e6	5e														
3	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3e	7f	7d	40	00	40	11	fa	da	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	cd	77	00	35	00	2a	00	00	f4	8f	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	07	63	6f	75	6e	74	65	72	05	79
	0040	61	64	72	6f	02	72	75	00	00	01	00	01				
4	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3e	7f	7e	40	00	40	11	fa	d9	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	cd	77	00	35	00	2a	00	00	74	95	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	07	63	6f	75	6e	74	65	72	05	79
	0040	61	64	72	6f	02	72	75	00	00	1c	00	01				
5	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3a	7f	81	40	00	40	11	fa	da	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	e9	ac	00	35	00	26	00	00	80	12	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	02	6d	63	06	79	61	6e	64	65	78
	0040	02	72	75	00	00	01	00	01								
6	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	46	7f	e4	40	00	40	11	fa	6b	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	d5	57	00	35	00	32	00	00	40	a8	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	03	77	77	77	10	67	6f	6f	67	6c
	0040	65	74	61	67	6d	61	6e	61	67	65	72	03	63	6f	6d	00
	0050	00	01	00	01												
7	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	46	7f	e5	40	00	40	11	fa	6a	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	d5	57	00	35	00	32	00	00	dc	b2	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	03	77	77	77	10	67	6f	6f	67	6c
	0040	65	74	61	67	6d	61	6e	61	67	65	72	03	63	6f	6d	00
	0050	00	1c	00	01												
8	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	46	81	3a	40	00	40	11	f9	15	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	9c	8b	00	35	00	32	00	00	ae	20	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	03	77	77	77	10	67	6f	6f	67	6c
	0040	65	2d	61	6e	61	6c	79	74	69	63	73	03	63	6f	6d	00
	0050	00	01	00	01												



## Пакет UDP

(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет UDP
9	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3a 81 63 40 00 40 11 f8 f8 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d bb 7b 00 35 00 26 00 00 2b 5a 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 02 6d 63 06 79 61 6e 64 65 78 0040 02 72 75 00 00 1c 00 01
10	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3d 81 66 40 00 40 11 f8 f2 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d cd 47 00 35 00 29 00 00 ce 73 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 04 73 79 6e 63 07 72 61 6d 62 0040 6c 65 72 02 72 75 00 00 01 00 01
11	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3d 81 67 40 00 40 11 f8 f1 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d cd 47 00 35 00 29 00 00 2e 80 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 04 73 79 6e 63 07 72 61 6d 62 0040 6c 65 72 02 72 75 00 00 1c 00 01
12	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3b 81 70 40 00 40 11 f8 ea ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d a8 36 00 35 00 27 00 00 39 b6 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 03 6c 69 62 06 73 70 62 67 75 0040 74 02 72 75 00 00 01 00 01
13	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00 0010 00 4a 53 ee 00 00 7e 11 28 5e ac 10 04 0d ac 10 0020 64 29 00 35 ae b0 00 36 00 00 f0 fa 85 80 00 01 0030 00 01 00 00 00 00 04 63 61 62 73 04 69 74 75 74 0040 02 72 75 00 00 01 00 01 c0 0c 00 01 00 01 00 00 0050 0e 10 00 04 5b ee e6 49
14	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3e 81 79 40 00 40 11 f8 de ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d ab 1a 00 35 00 2a 00 00 5c 8b 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 03 77 77 77 08 66 61 63 65 62 0040 6f 6f 6b 03 63 6f 6d 00 00 1c 00 01
15	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 3d 81 7f 40 00 40 11 f8 d9 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d ce 27 00 35 00 29 00 00 fc d1 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 03 77 77 77 08 72 6f 73 73 76 0040 79 61 7a 02 72 75 00 00 1c 00 01
16	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00 0010 00 40 81 80 40 00 40 11 f8 d5 ac 10 64 29 ac 10 0020 04 0d aa 6e 00 35 00 2c 00 00 b4 fd 01 00 00 01 0030 00 00 00 00 00 00 0b 6d 69 6e 6f 62 72 6e 61 75 0040 6b 69 03 67 6f 76 02 72 75 00 00 01 00 01

**Пакет UDP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет UDP
17	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 41 81 83 40 00 40 11 f8 d1 ac 10 64 29 ac 10
	0020 04 0d 8c bf 00 35 00 2d 00 00 dc 42 01 00 00 01
	0030 00 00 00 00 00 00 03 77 77 77 0c 6c 69 76 65 69
	0040 6e 74 65 72 6e 65 74 02 72 75 00 00 1c 00 01
18	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00
	0010 00 49 1c ee 00 00 7e 11 5f 5f ac 10 04 0d ac 10
	0020 64 29 00 35 b2 d2 00 35 00 00 81 b2 81 80 00 01
	0030 00 01 00 00 00 00 04 6f 70 64 73 03 73 75 74 02
	0040 72 75 00 00 01 00 01 c0 0c 00 01 00 01 00 00 0d
0050 18 00 04 5b ee e4 07	
19	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 3d 85 06 40 00 40 11 f5 52 ac 10 64 29 ac 10
	0020 04 0d d9 5a 00 35 00 29 00 00 36 2f 01 00 00 01
	0030 00 00 00 00 00 00 03 77 77 77 04 73 65 74 69 03
	0040 73 75 74 02 72 75 00 00 1c 00 01
20	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 3e 85 72 40 00 40 11 f4 e5 ac 10 64 29 ac 10
	0020 04 0d a8 1c 00 35 00 2a 00 00 a2 e6 01 00 00 01
	0030 00 00 00 00 00 00 05 66 6f 72 75 6d 07 61 6d 61
	0040 68 72 6f 76 02 72 75 00 00 01 00 01
21	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 42 87 9b 40 00 40 11 f2 b8 ac 10 64 29 ac 10
	0020 04 0d d2 97 00 35 00 2e 00 00 1e 52 01 00 00 01
	0030 00 00 00 00 00 00 05 66 6f 6e 74 73 0a 67 6f 6f
	0040 67 6c 65 61 70 69 73 03 63 6f 6d 00 00 01 00 01
22	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 3d 87 a4 40 00 40 11 f2 b4 ac 10 64 29 ac 10
	0020 04 0d e4 4b 00 35 00 29 00 00 e6 4b 01 00 00 01
	0030 00 00 00 00 00 00 04 6d 61 70 73 06 67 6f 6f 67
	0040 6c 65 03 63 6f 6d 00 00 1c 00 01
23	0000 00 13 8f 13 b7 f8 d8 50 e6 a2 37 61 08 00 45 00
	0010 00 3f 88 2f 40 00 40 11 f2 27 ac 10 64 29 ac 10
	0020 04 0d e3 e0 00 35 00 2b 00 00 fa d4 01 00 00 01
	0030 00 00 00 00 00 00 05 66 6f 6e 74 73 07 67 73 74
	0040 61 74 69 63 03 63 6f 6d 00 00 1c 00 01
24	0000 d8 50 e6 a2 37 61 00 01 02 a0 a7 ee 08 00 45 00
	0010 00 47 16 06 00 00 7e 11 66 49 ac 10 04 0d ac 10
	0020 64 29 00 35 ca c7 00 33 00 00 14 cf 81 80 00 01
	0030 00 01 00 00 00 00 06 73 64 6e 6c 61 62 02 72 75
	0040 00 00 01 00 01 c0 0c 00 01 00 01 00 00 01 2b 00
0050 04 2e fe 15 88	

**Пакет UDP**  
(выбирается согласно номеру студента в журнале)

№	Пакет UDP																
25	0000	d8	50	e6	a2	37	61	00	01	02	a0	a7	ee	08	00	45	00
	0010	00	46	16	f1	00	00	7e	11	65	5f	ac	10	04	0d	ac	10
	0020	64	29	00	35	81	06	00	32	00	00	1a	89	81	80	00	01
	0030	00	01	00	00	00	00	05	62	63	61	6c	78	02	72	75	00
	0040	00	01	00	01	c0	0c	00	01	00	01	00	00	54	5f	00	04
	0050	25	8f	08	95												
26	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3e	8e	d8	40	00	40	11	eb	7f	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	bb	b2	00	35	00	2a	00	00	5e	75	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	05	64	72	69	76	65	06	67	6f	6f
	0040	67	6c	65	03	63	6f	6d	00	00	01	00	01				
27	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	42	8e	dc	40	00	40	11	eb	77	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	a8	87	00	35	00	2e	00	00	09	2d	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	0b	78	6e	2d	2d	39	30	61	79	63
	0040	31	62	08	78	6e	2d	2d	70	31	61	69	00	00	01	00	01
28	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3d	66	11	40	00	40	11	14	48	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	bf	2c	00	35	00	29	00	00	f3	f3	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	02	64	72	08	68	61	62	72	61	63
	0040	64	6e	03	6e	65	74	00	00	1c	00	01					
29	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	3e	66	13	40	00	40	11	14	45	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	ee	14	00	35	00	2a	00	00	31	74	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	0c	68	61	62	72	61	73	74	6f	72
	0040	61	67	65	03	6f	72	67	00	00	1c	00	01				
30	0000	00	13	8f	13	b7	f8	d8	50	e6	a2	37	61	08	00	45	00
	0010	00	42	66	18	40	00	40	11	14	3c	ac	10	64	29	ac	10
	0020	04	0d	ba	92	00	35	00	2e	00	00	18	fc	01	00	00	01
	0030	00	00	00	00	00	00	05	63	64	6e	6a	73	0a	63	6c	6f
	0040	75	64	66	6c	61	72	65	03	63	6f	6d	00	00	01	00	01

#### 8.4. Контрольные вопросы

1. Структура заголовка TCP.
2. Структура заголовка UDP.
3. Принцип расчета контрольной суммы заголовка протокола транспортного уровня.

**Владимиров Сергей Сергеевич**

**ПРОТОКОЛЫ, СЕРВИСЫ И УСЛУГИ В IP-СЕТЯХ**

**Практикум**

Редактор *Л. К. Паршина*

План изданий 2019 г., п. 43

Подписано к печати 06.07.2019  
Объем 4,75 печ. л. Тираж 10 экз. Заказ 977

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ  
193232 СПб., пр. Большевиков, 22  
Отпечатано в СПбГУТ