

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.АЛЕКСЕЕВА

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

Кафедра «Вычислительные системы и технологии»

## Сети и телекоммуникации

### Лабораторная работа №3

Расчет контрольной суммы заголовка протоколов транспортного уровня TCP  
и UDP. Формат пакета и контрольная сумма протокола ICMP.

ПРОВЕРИЛ:

\_\_\_\_\_

Гай В.Е.

СТУДЕНТ:

Козменкова Е.П.  
18 В-2

Нижний Новгород  
2021 г.

## Цель:

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

## Ход работы:

Для подготовки к работе попробую разобрать по одной задаче из методички. В задании написано, что пакет начинается с заголовка Ethernet. Посмотрим, как выглядит этот заголовок:

6 байт	6 байт	2 байта	46-1500 байт	4 байта
DA	SA	T	Данные	FCS

Где DA – MAC-адрес узла назначения, SA – MAC-адрес узла отправителя, T – код протокола (08 00 - IP), FCS – контрольная сумма.

Далее идет заголовок IP:

4 бита Номер версии	4 бита Длина заголовка	8 бит Тип сервиса PR D T R					16 бит Общая длина		
16 бит Идентификатор пакета							3 бита Флаги D M	13 бит Смещение фрагмента	
8 бит Время жизни		8 бит Протокол верхнего уровня					16 бит Контрольная сумма		
32 бита IP-адрес источника									
32 бита IP-адрес назначения									
Параметры и выравнивание									

После заголовка IP идет заголовок и данные TCP (в 1 п.) или UDP (во 2 п.).

### 1) TCP-пакет

2 байта				2 байта				
Порт источника (sours port)				Порт приемника (destination port)				
Последовательный номер (sequence number) — номер первого байта данных в сегменте, определяет смещение сегмента относительно потока отправляемых данных								
Подтвержденный номер (acknowledgement number) — максимальный номер байта в полученном сегменте, увеличенный на единицу								
Длина заголовка (hlen)	Резерв (reserved)	URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN	Окно (window) — количество байтов данных, ожидаемых отправителем данного сегмента, начиная с байта, номер которого указан в поле подтвержденного номера
Контрольная сумма (checksum)								Указатель срочности (urgent pointer) — указывает на конец данных, которые необходимо срочно принять, несмотря на переполнение буфера
Параметры (options) — это поле имеет переменную длину и может вообще отсутствовать, используется для решения вспомогательных задач, например для согласования максимального размера сегмента								
Заполнитель (padding) — это фиктивное поле может иметь переменную длину, используется для доведения размера заголовков до целого числа 32-битовых слов								

Рис. 15.5. Формат заголовка TCP-сегмента

Теперь рассмотрим пакет из задания:

Вар.	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													

### Ethernet-кадр:

00 13 8f 13 b7 f8 – MAC-адрес получателя;

d8 50 e6 a2 37 61 – MAC-адрес отправителя;

08 00 – код протокола (IP);

**С 45 начинается поле данных Ethernet-кадра – заголовок IP-пакета:**

4 – номер версии протокола IP (IPv4);

5 – длина заголовка (пять 32-битных слов);

00 – тип сервиса: приоритет пакета (первые три бита) - 0, критерии выбора маршрута (задержка, пропускная способность и надежность) – так же 0;

00 34 – общая длина IP-пакета;

fe 53 – идентификатор пакета;

40 00 – флаги и смещение фрагмента: первые три бита (флаги) – 0 1 0, где 2-й бит – флаг DF, который запрещает маршрутизатору фрагментировать пакет; так как пакет не фрагментируется, поле смещения – 0;

40 – время жизни пакета (в секундах);

06 – протокол верхнего уровня (TCP);

33 2c – контрольная сумма ip-заголовка;

ac 10 64 29 – IP-адрес источника;

d8 ef 20 1b – IP-адрес назначения;

### Заголовок TCP-сегмента:

c2 ac – порт источника;

01 bb – порт приемника;

8b 79 69 62 – номер пакета;

52 e2 d2 c4 – номер подтверждения;

8 – длина заголовка (TCP-сегмента);

0 10 – резерв и флаги (0000 0001 0000) – резерв 0 и установлен флаг ACK (квитанция на принятый сегмент);

01 7f – размер окна;

00 00 – контрольная сумма;

00 00 – указатель срочности;

01 01 08 0a – параметры и заполнитель;

### Данные TCP-сегмента:

17 8b eb 22

00 a1 27 a2

Для подсчета контрольной суммы TCP-заголовка, разобью пакет на слова по 16 бит:

4500	0034	IP-заголовок
FE53	4000	
4006	332C	
AC10	6429	
D8EF	201B	
C2AC	01BB	TCP-заголовок
8B79	6962	
52E2	D2C4	
8010	017F	
0000	0000	
0101	080A	Данные
178B	EB22	
00A1	27A2	

Сформирую псевдозаголовок:

AC10	6429
D8EF	201B
0006	0020

Тип протокола – 6, длина сегмента в байтах – 20h.

Просуммирую Заголовок, Данные и Псевдозаголовок:

$$(C2AC)_{16} + (01BB)_{16} + (8B79)_{16} + (6962)_{16} + (52E2)_{16} + (D2C4)_{16} + \\ + (8010)_{16} + (017F)_{16} + (0000)_{16} + (0000)_{16} + (0101)_{16} + (080A)_{16} +$$

TCP-заголовок

$$+ (178B)_{16} + (EB22)_{16} + (00A1)_{16} + (27A2)_{16} +$$

Данные

$$+ (AC10)_{16} + (6429)_{16} + (D8EF)_{16} + (201B)_{16} + (0006)_{16} + (0020)_{16} = (69DDB)_{16}$$

Псевдозаголовок

Результат сложения превышает 16 разрядов, разобью его на два слова и посчитаю еще раз:

$$(0006)_{16} + (9DDB)_{16} = (9DE1)_{16}$$

Найду контрольную сумму:

$$CS_{TCP} = (FFFF)_{16} - (9DE1)_{16} = (621E)_{16}$$

## 2) UDP-пакет

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

Теперь рассмотрим пакет из задания:

Вар.	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										

### Ethernet-кадр:

d8 50 e6 a2 37 61 – MAC-адрес получателя;

00 01 02 a0 a7 ee – MAC-адрес отправителя;

08 00 – код протокола (IP);

**С 45 начинается поле данных Ethernet-кадра – заголовок IP-пакета:**

4 – номер версии протокола IP (IPv4);

5 – длина заголовка (пять 32-битных слов);

00 – тип сервиса: приоритет пакета (первые три бита) - 0, критерии выбора маршрута (задержка, пропускная способность и надежность) – так же 0;

00 48 – общая длина IP-пакета;

0d 88 – идентификатор пакета;

00 00 – флаги и смещение фрагмента;

7e – время жизни пакета (в секундах);

11 – протокол верхнего уровня (UDP);

6e c6 – контрольная сумма ip-заголовка;

ac 10 04 0d – IP-адрес источника;

ac 10 64 29 – IP-адрес назначения;

### Заголовок UDP:

00 35 – порт источника;

a1 a7 – порт приемника;

00 34 – длина датаграммы;

00 00 – контрольная сумма;

### Данные UDP:

3912 8180 0001 0001 0000 0000 0000 0377 7777 0373 7574 0272 7500 0001 0001 c00c  
0001 0001 0000 040d 0004 5bee e65e

Для подсчета контрольной суммы UDP-заголовка, разобью пакет на слова по 16 бит:

4500	0048	IP-заголовок
0D88	0000	
7E11	6EC6	
AC10	040D	
AC10	6429	
0035	A1A7	UDP-заголовок
0034	0000	
3912	8180	Данные
0001	0001	
0000	0000	
0377	7777	
0373	7574	
0272	7500	
0001	0001	
C00C	0001	
0001	0000	
040D	0004	
5BEE	E65E	

Сформирую псевдозаголовок:

AC10	040D
AC10	6429
0011	0034

Тип протокола – 11h, длина сегмента в байтах – 34h.

Просуммирую Заголовок, Данные и Псевдозаголовок:

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{(0035)_{16} + (A1A7)_{16} + (0034)_{16} + (0000)_{16}}_{\text{UDP-заголовок}} + \\
 & (3912)_{16} + (8180)_{16} + (0001)_{16} + (0001)_{16} + (0000)_{16} + (0000)_{16} + (0377)_{16} + \\
 & + (7777)_{16} + (0373)_{16} + (7574)_{16} + (0272)_{16} + (7500)_{16} + (0001)_{16} + (0001)_{16} + \\
 & + (C00C)_{16} + (0001)_{16} + (0001)_{16} + (0000)_{16} + (040D)_{16} + (0004)_{16} + (5BEE)_{16} + \\
 & + (E65E)_{16} + \\
 & \underbrace{(AC10)_{16} + (040D)_{16} + (AC10)_{16} + (6429)_{16} + (0011)_{16} + (0034)_{16}}_{\text{Псевдозаголовок}} = (68EF3)_{16}
 \end{aligned}$$

Результат сложения превышает 16 разрядов, разобью его на два слова и посчитаю еще раз:

$$(0006)_{16} + (8EF3)_{16} = (8EF9)_{16}$$

Найду контрольную сумму:

$$CS_{UDP} = (FFFF)_{16} - (8EF9)_{16} = (7106)_{16}$$

### 3) ICMP-пакет

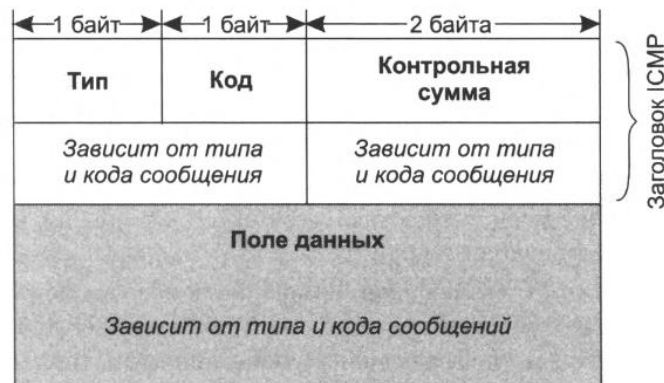


Рис. 14.14. Формат ICMP-сообщения

Теперь рассмотрю пакет из задания:

Вар.	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

### Ethernet-кадр:

e8 de 27 8e 0f 75 – MAC-адрес получателя;

74 d0 2b ae ec 02 – MAC-адрес отправителя;

08 00 – код протокола (IP);

**С 45 начинается поле данных Ethernet-кадра – заголовок IP-пакета:**

4 – номер версии протокола IP (IPv4);

5 – длина заголовка (пять 32-битных слов);

00 – тип сервиса: приоритет пакета (первые три бита) - 0, критерии выбора маршрута (задержка, пропускная способность и надежность) – так же 0;

00 54 – общая длина IP-пакета;

31 e7 – идентификатор пакета;

40 00 – флаги и смещение фрагмента;

40 – время жизни пакета (в секундах);

01 – протокол верхнего уровня (ICMP);  
 f4 86 – контрольная сумма ip-заголовка;  
 c0 a8 01 0f – IP-адрес источника;  
 57 fa fa f2 – IP-адрес назначения;

#### Заголовок ICMP:

08 – тип сообщения (8 – эхо-запрос)  
 00 – код (всегда равно 0 для типов «эхо-запрос» и «эхо-ответ»);  
 00 00 – контрольная сумма;  
 55 7a – идентификатор запроса;  
 00 01 – порядковый номер;

#### Данные ICMP:

05d2 e359 0000 0000 2a54 0300 0000 0000 1011 1213 1415 1617 1819 1a1b 1c1d  
 1e1f 2021 2223 2425 2627 2829 2a2b 2c2d 2e2f 3031 3233 3435 3637

Для подсчета контрольной суммы ICMP-заголовка, разобью пакет на слова по 16 бит:

0800	0000	}	ICMP-заголовок
557A	0001		
05D2	E359	}	Данные
0000	0000		
2A54	0300		
0000	0000		
1011	1213		
1415	1617		
1819	1A1B		
1C1D	1E1F		
2021	2223		
2425	2627		
2829	2A2B		
2C2D	2E2F		
3031	3233		
3435	3637		

Просуммирую Заголовок и Данные:

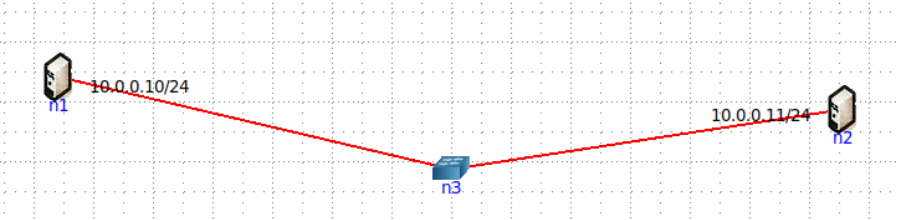
$$\begin{aligned}
 & (0800)_{16} + (0000)_{16} + (557A)_{16} + (0001)_{16} + \\
 & + (05D2)_{16} + (E359)_{16} + (0000)_{16} + (0000)_{16} + (2A54)_{16} + (0300)_{16} + (0000)_{16} + \\
 & + (0000)_{16} + (1011)_{16} + (1213)_{16} + (1415)_{16} + (1617)_{16} + (1819)_{16} + (1A1B)_{16} + \\
 & + (1C1D)_{16} + (1E1F)_{16} + (2021)_{16} + (2223)_{16} + (2425)_{16} + (2627)_{16} + (2829)_{16} + \\
 & + (2A2B)_{16} + (2C2D)_{16} + (2E2F)_{16} + (3031)_{16} + (3233)_{16} + (3435)_{16} + (3637)_{16} = \\
 & = (4\ 1A5A)_{16}
 \end{aligned}$$



Результат сложения превышает 16 разрядов, разобью его на два слова и посчитаю еще раз:  
 $(0004)_{16} + (1A5A)_{16} = (1A5E)_{16}$

Найду контрольную сумму:  
 $CS_{ICMP} = (FFFF)_{16} - (1A5E)_{16} = (E5A1)_{16}$

Перейду к рассмотрению реальных TCP и UDP пакетов.  
 Сеть:



1. TCP-пакет

Internet Protocol version 4, Src: 10.0.0.10, Dst: 10.0.0.11

Transmission Control Protocol, Src Port: 48428, Dst Port: 2399, Seq: 1, Ack: 1, Len: 0

Source Port: 48428

0000	00 00 00 aa 00 01 00 00	00 aa 00 00 08 00 45 00	.....E.
0010	00 34 54 99 40 00 40 06	d2 16 0a 00 00 0a 0a 00	·4T·@·@·.....
0020	00 0b bd 2c 09 5f 3d ee	9a d1 28 84 aa c5 80 10	···,·_·=···(·...
0030	01 f6 42 53 00 00 01 01	08 0a c6 6f a4 62 42 87	··BS·...····o·bB·
0040	fe 70		·p

Для подсчета контрольной суммы TCP-заголовка, разобью пакет на слова по 16 бит:

4500	0034	}	IP-заголовок
5499	4000		
4006	D216		
0A00	000A		
0A00	000B		
BD2C	095F	}	TCP-заголовок
3DEE	9AD1		
2884	AAC5		
8010	01F6		
4253 (0000)	0000		
0101	080A	}	Данные
C66F	A462		
4287	FE70		

Псевдозаголовок:

0A00	000A
0A00	000B
0006	0020

$$\begin{aligned}
& (BD2C)_{16} + (095F)_{16} + (3DEE)_{16} + (9AD1)_{16} + (2884)_{16} + (AAC5)_{16} + \\
& + (8010)_{16} + (01F6)_{16} + (0000)_{16} + (0000)_{16} + (0101)_{16} + (080A)_{16} + \\
& \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{TCP-заголовок}} \\
& + (C66F)_{16} + (A462)_{16} + (4287)_{16} + (FE70)_{16} + \\
& \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Данные}} \\
& + (0A00)_{16} + (000A)_{16} + (0A00)_{16} + (000B)_{16} + (0006)_{16} + (0020)_{16} = (5\ BDA7)_{16} \\
& \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Псевдозаголовок}}
\end{aligned}$$

Результат сложения превышает 16 разрядов, разобью его на два слова и посчитаю еще раз:

$$(0005)_{16} + (BDA7)_{16} = (BDAC)_{16}$$

Найду контрольную сумму:

$$CS_{\text{TCP}} = (FFFF)_{16} - (BDAC)_{16} = (4253)_{16}$$

Результат совпадает со значением контрольной суммы.

## 2. UDP-пакет

Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.10, Dst: 10.0.0.11																	
User Datagram Protocol, Src Port: 43563, Dst Port: 33446																	
Data (32 bytes)																	
0000	00	00	00	aa	00	01	00	00	00	aa	00	00	08	00	45	00	.....E.
0010	00	3c	16	7b	00	00	05	11	8b	22	0a	00	00	0a	0a	00	<.{..."
0020	00	0b	aa	2b	82	a6	00	28	c9	b2	40	41	42	43	44	45	...+...(@ABCDE
0030	46	47	48	49	4a	4b	4c	4d	4e	4f	50	51	52	53	54	55	FGHIJKLM NOPQRSTU
0040	56	57	58	59	5a	5b	5c	5d	5e	5f							VWXYZ[\] ^_

Для подсчета контрольной суммы UDP-заголовка, разобью пакет на слова по 16 бит:

4500	003C	}	IP-заголовок
167B	0000		
0511	8B22		
0A00	000A		
0A00	000B		
AA2B	82A6	}	UDP-заголовок
0028	C9B2 (0000)		
4041	4243		
4445	4647	}	Данные
4849	4A4B		
4C4D	4E4F		
5051	5253		
5455	5657		
5859	5A5B		
5C5D	5E5F		

Сформирую псевдозаголовок:

0A00	000A
0A00	000B
0011	0028

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{(AA2B)_{16} + (82A6)_{16} + (0028)_{16} + (0000)_{16}}_{\text{UDP-заголовок}} + \\
 & + (4041)_{16} + (4243)_{16} + (4445)_{16} + (4647)_{16} + (4849)_{16} + (4A4B)_{16} + (4C4D)_{16} + \\
 & + (4E4F)_{16} + (5051)_{16} + (5253)_{16} + (5455)_{16} + (5657)_{16} + (5859)_{16} + (5A5B)_{16} + \\
 & + (5C5D)_{16} + (5E5F)_{16} \\
 & \underbrace{+ (0A00)_{16} + (000A)_{16} + (0A00)_{16} + (000B)_{16} + (0011)_{16} + (0028)_{16}}_{\text{Псевдозаголовок}} = (6\ 3647)_{16}
 \end{aligned}$$

Результат сложения превышает 16 разрядов, разобью его на два слова и посчитаю еще раз:

$$(0006)_{16} + (3647)_{16} = (364D)_{16}$$

Найду контрольную сумму:

$$CS_{\text{UDP}} = (FFFF)_{16} - (364D)_{16} = (C9B2)_{16}$$

Результат совпадает со значением контрольной суммы.

### 3. ICMP-пакет

Offset	Hex	Dec	ASCII
0000	00 00 00 aa 00 00 00 00	00 00 00 170 00 00 00 00	
0010	00 58 e2 ef 00 00 40 01	82 91 234 239 00 00 64 1	
0020	00 0a 03 03 11 4b 00 00	10 10 3 3 17 75 00 00	
0030	00 00 02 11 8e 29 0a 00	0 0 2 17 142 41 10 00	
0040	82 9f 00 28 a6 a4 40 41	130 159 00 40 166 164 64 65	
0050	4a 4b 4c 4d 4e 4f 50 51	74 75 76 77 78 79 80 81	
0060	5a 5b 5c 5d 5e 5f	90 91 92 93 94 95	

Для подсчета контрольной суммы ICMP-заголовка, разобью пакет на слова по 16 бит:

0303	114B (0000)	ICMP-заголовок
0000	0000	
4500	003C	Данные
1674	0000	
0211	8E29	
0A00	000A	
0A00	000B	
CD40	829F	

0028	A6A4	} Данные
4041	4243	
4445	4647	
4849	4A4B	
4C4D	4E4F	
5051	5253	
5455	5657	
5859	5A5B	
5C5D	5E5F	

Код – 03, тип – 03: «Адресат недоступен» - «Порт недостижим», поле заголовка между контрольной суммой и данными не используется – 0. Данные начинаются с заголовка и первых 8-ми байт поля данных IP-пакета, вызвавшего ошибку.

Просуммирую Заголовок и Данные:

$$\begin{aligned}
 & (0303)_{16} + (0000)_{16} + (0000)_{16} + (0000)_{16} + \\
 & + (4500)_{16} + (003C)_{16} + (1674)_{16} + (0000)_{16} + (0211)_{16} + (8E29)_{16} + (0A00)_{16} + \\
 & + (000A)_{16} + (0A00)_{16} + (000B)_{16} + (CD40)_{16} + (829F)_{16} + (0028)_{16} + (A6A4)_{16} + \\
 & + (4041)_{16} + (4243)_{16} + (4445)_{16} + (4647)_{16} + (4849)_{16} + (4A4B)_{16} + (4C4D)_{16} + \\
 & + (4E4F)_{16} + (5051)_{16} + (5253)_{16} + (5455)_{16} + (5657)_{16} + (5859)_{16} + (5A5B)_{16} + \\
 & + (5C5D)_{16} + (5E5F)_{16} = (7EEAD)_{16}
 \end{aligned}$$

Результат сложения превышает 16 разрядов, разобью его на два слова и посчитаю еще раз:

$$(0007)_{16} + (EEAD)_{16} = (EEB4)_{16}$$

Найду контрольную сумму:

$$CS_{ICMP} = (FFFF)_{16} - (EEB4)_{16} = (114B)_{16}$$

Результат совпадает со значением контрольной суммы.