



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
“Национальный исследовательский университет ИТМО”

**ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ  
И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ**



**Учебно-исследовательская работа №1**  
«Методы кодирования в компьютерных сетях»  
по дисциплине  
“Компьютерные сети”

Работу выполнил:  
Студент группы Р3311  
**Болорболд Аригуун**  
Преподаватель:  
**Алиев Тауфик Измайлович**  
Практик:  
**Тропченко Андрей Александрович**

г. Санкт-Петербург  
2025 г.

## Содержимое

<b>1</b>	<b>Цель и описание работы</b>	<b>3</b>
1.1	Цель работы	3
1.2	Краткое описание работы	3
<b>2</b>	<b>Формирование сообщения</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Физическое кодирование исходного сообщения</b>	<b>3</b>
3.1	Манчестерский код:	3
3.2	Потенциальный код (NRZ):	4
3.3	Биполярный импульсный код (RZ):	4
3.4	Дифференциальный Манчестерский код:	5
3.5	Потенциальный код с инверсией при единице (NRZ-I):	5
3.6	Биполярный код с чередующейся инверсией (AMI):	6
3.7	Код трёхуровневой передачи (MLT-3):	6
3.8	Пятиуровневый код (PAM-5):	7
3.9	Сравнение методов:	7
<b>4</b>	<b>Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Скремблирование исходного сообщения</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Сравнительный анализ результатов сообщения</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Вывод</b>	<b>10</b>

# 1 Цель и описание работы

## 1.1 Цель работы

Изучение методов физического и логического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных.

## 1.2 Краткое описание работы

В процессе выполнения УИР необходимо:

- выполнить физическое и логическое кодирование исходного сообщения не менее, чем тремя методами кодирования, выбрав из множества: NRZ, RZ, AMI, MLT-3, NRZI, PAM-5, манчестерский и дифференциальный манчестерский код;
- рассчитать частотные характеристики сигналов, формируемых для передачи исходного сообщения, а также требуемую полосу пропускания канала связи;
- провести качественный и количественный сравнительный анализ рассмотренных методов кодирования, выявить и сформулировать достоинства и недостатки;
- выбрать наилучший метод для передачи полного сообщения.

## 2 Формирование сообщения

Исходное сообщение: БА

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

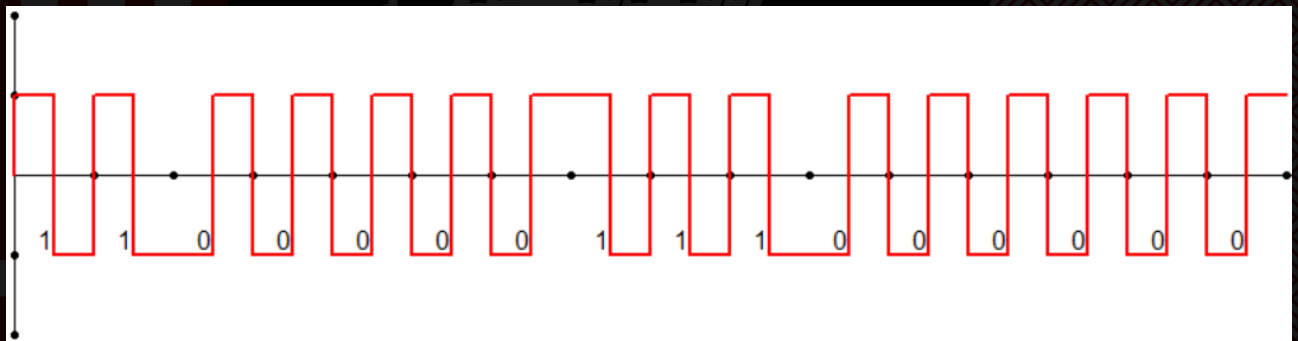
В двоичном коде: 1100 0001 1100 0000

Длина сообщения: 2 байт (16 бит)

## 3 Физическое кодирование исходного сообщения

Пропускная способность канала: 100 Мбит/с

### 3.1 Манчестерский код:

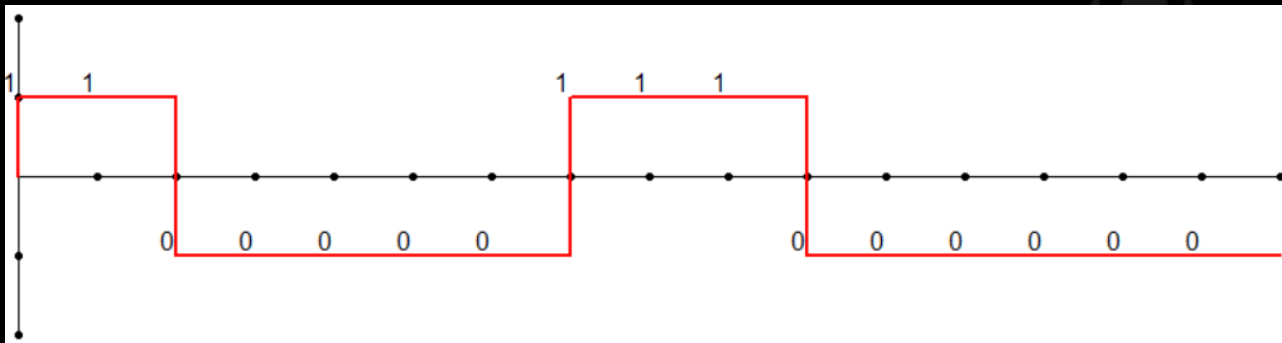


В двоичном коде: 1010 0101 0101 0110 1010 0101 0101 0101

В шестнадцатеричном коде: A5 56 A5 55

- Верхняя граница:  $f_v = C = 100$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = \frac{C}{2} = 50$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 50$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 75$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{26 \cdot f_v + 6 \cdot f_n}{32} = 90,625$  МГц
- Полоса пропускания: 50 МГц ( $F \geq S$ )

### 3.2 Потенциальный код (NRZ):

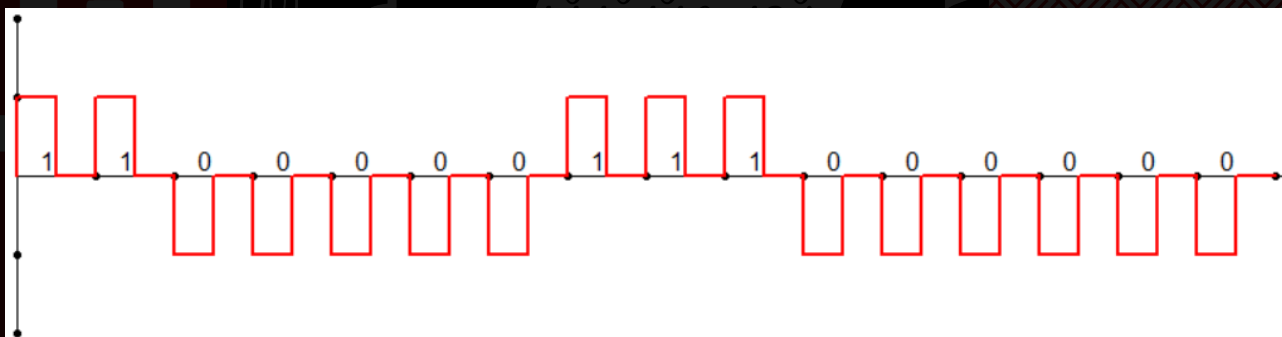


В двоичном коде: 11000001 11000000

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

- Верхняя граница:  $f_v = C/2 = 50$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = C/12 = 8,334$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 41,666$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 29,167$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{\frac{2 \cdot f_0}{2} + \frac{3 \cdot f_0}{3} + \frac{5 \cdot f_0}{5} + \frac{6 \cdot f_0}{6}}{16} = 12,5$  МГц
- Полоса пропускания: 42 МГц ( $F \geq S$ )

### 3.3 Биполярный импульсный код (RZ):

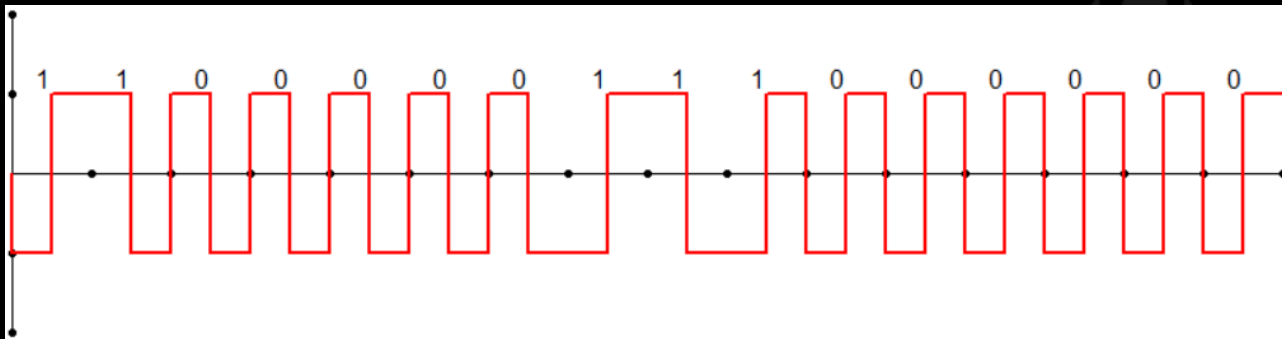


В двоичном коде: 11000001 11000000

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

- Верхняя граница:  $f_v = C = 100$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = \frac{C}{2} = 50$  МГц
- Ширина спектра:  $S = \frac{C}{2} = 50$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 75$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{39 \cdot f_v + 9 \cdot f_n}{48} = 100$  МГц
- Полоса пропускания: 50 МГц ( $F > S$ )

### 3.4 Дифференциальный Манчестерский код:

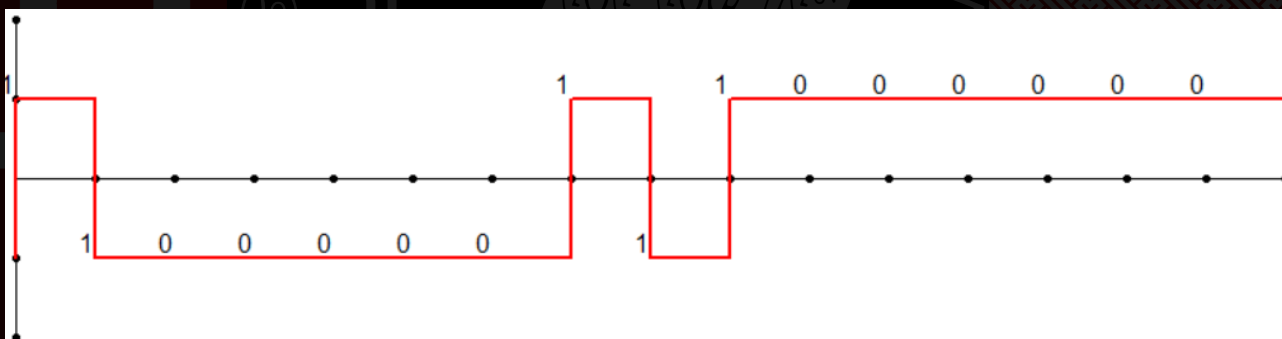


В двоичном коде: 01101010 10101001 10100110 10101010 1010

В шестнадцатеричном коде: 35 54 E6 AA A

- Верхняя граница:  $f_v = C/2 = 100$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = C/16 = 50$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 50$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 75$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{24 \cdot f_v + 8 \cdot f_n}{32} = 87,5$  МГц
- Полоса пропускания: 50 МГц ( $F \geq S$ )

### 3.5 Потенциальный код с инверсией при единице (NRZ-I):



В двоичном коде: 11000001 11000000

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

- Верхняя граница:  $f_v = C/2 = 50$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = C/16 = 3,125$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 41,67$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 29,15$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{3 \cdot f_0 + 6 \cdot \frac{f_0}{6} + 7 \cdot \frac{f_0}{7}}{16} = 15,625$  МГц
- Полоса пропускания: 42 МГц ( $F \geq S$ )

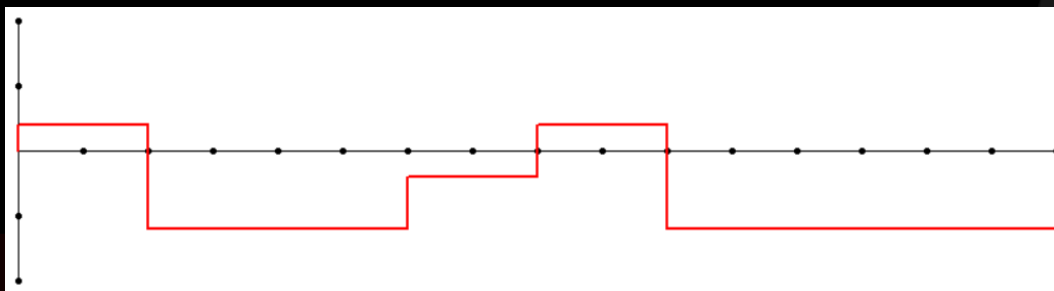




### 3.8 Пятиуровневый код (РАМ-5):

Параметры:

- 10: 450мВ
- 11: 15мВ
- 01: -15мВ
- 00: -45мВ



В двоичном коде: 11 00 00 01 11 00 00 00

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

- Верхняя граница:  $f_v = C/2 = 50$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = C/14 = 7,14$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 42,86$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 28,57$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{3 \cdot f_0 + 6 \cdot \frac{f_0}{6} + 7 \cdot \frac{f_0}{7}}{16} = 15,625$  МГц
- Полоса пропускания: 43 МГц ( $F \geq S$ )

В двоичном коде: 11000001 11000000

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

- Верхняя граница:  $f_v = C/4 = 25$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = C/16 = 6,25$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 18,75$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 15,625$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{f_0 + 6 \cdot \frac{f_0}{2} + 4 \cdot \frac{f_0}{4} + 6 \cdot \frac{f_0}{6}}{16} = 9,375$  МГц
- Полоса пропускания: 19 МГц ( $F \geq S$ )

### 3.9 Сравнение методов:

Метод кодирования	Спектр сигнала (МГц)	Самосинхронизация	Постоянная составляющая	Обнаружение ошибок	Стоимость реализации
M2	50	есть	нет	есть	2
DIF_M2	50	есть	нет	есть	2
NRZ	41,67	нет	есть	нет	1
NRZ-I	46,875	нет	есть	нет	1
AMI	41,67	нет	есть	есть	3
RZ	50	есть	нет	есть	3
MLT-3	42,86	нет	есть	нет	3
PAM-5 (2B1Q)	18,75	нет	есть	есть	3

Для составленного сообщения эффективнее всего использовать манчестерский код и потенциальный код с инверсией при единице.

Манчестерский код использует всего два уровня, из-за чего нам нужна меньшая мощность для передачи сигнала.

Потенциальный код с инверсией при единице из серьезных недостатков имеет только появление постоянной составляющей при длинных комбинациях одинаковых цифр. Наше сообщение не имеет длинных комбинаций, поэтому этот минус несущественен.

## 4 Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

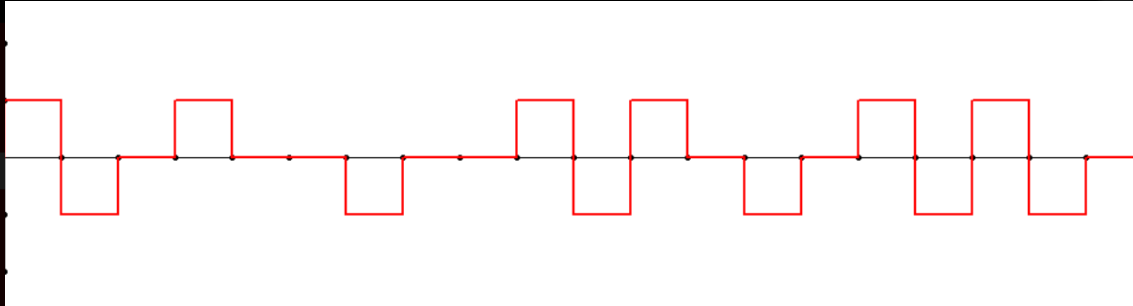
В двоичном коде: 1101 0010 0111 0101 1110

В шестнадцатеричном коде: D2 75 E

Длина сообщения: 2,5 байт (20 бит)

Избыточность:  $(2,5 - 2)/2 = 0.25(25\%)$

Временная диаграмма:



- Верхняя граница:  $f_v = C/2 = 50 \text{ МГц}$
- Нижняя граница:  $f_n = C/4 = 25 \text{ МГц}$
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 25 \text{ МГц}$
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 37,5 \text{ МГц}$
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{16 \cdot f_0 + 4 \cdot \frac{f_0}{2}}{20} = 45 \text{ МГц}$
- Полоса пропускания:  $25 \text{ МГц} (F \geq S)$

## 5 Скремблирование исходного сообщения

Алгоритм:  $B_i = a_i \oplus a_{i-3} \oplus a_{i-5}$

Данный полином выбран так как за счёт того, что мы учитываем разряды «через один» мы сможем разбавить постоянную составляющую. Длина постоянной составляющей в моём случае не превышает 6, следовательно, если мы будем учитывать биты со сдвигом на 3 и на 5, то текущее значение  $A_i$  почти всегда не будет совпадать с ними, так как ну будет входить в постоянную составляющую, следовательно, команда XOR будет выдавать попеременно разные значения.

Исходное сообщение: 1100 0001 1100 0000

В шестнадцатеричном коде: C1 C0

$$B_1 = A_1 = 1$$

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 \oplus A_1 = 0$$

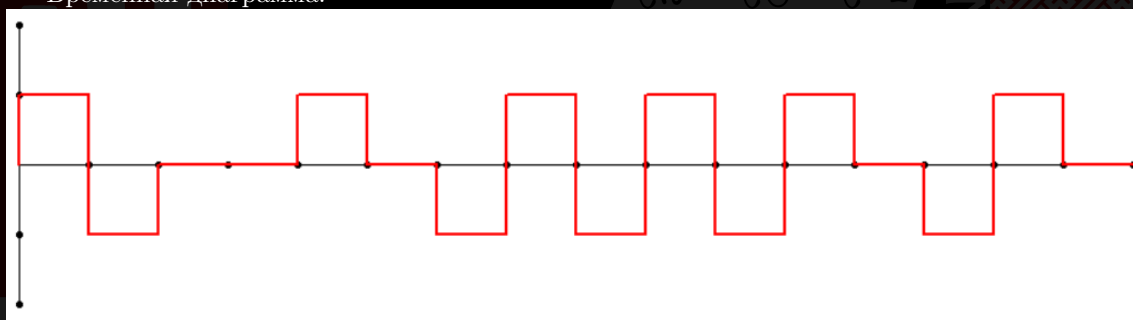
$$B_5 = A_5 \oplus A_2 = 1$$



$$\begin{aligned}
B_6 &= A_6 \oplus A_3 \oplus A_1 = 0 \\
B_7 &= A_7 \oplus A_4 \oplus A_2 = 1 \\
B_8 &= A_8 \oplus A_5 \oplus A_3 = 1 \\
B_9 &= A_9 \oplus A_6 \oplus A_4 = 1 \\
B_{10} &= A_{10} \oplus A_7 \oplus A_5 = 1 \\
B_{11} &= A_{11} \oplus A_8 \oplus A_6 = 1 \\
B_{12} &= A_{12} \oplus A_9 \oplus A_7 = 1 \\
B_{13} &= A_{13} \oplus A_{10} \oplus A_8 = 0 \\
B_{14} &= A_{14} \oplus A_{11} \oplus A_9 = 1 \\
B_{15} &= A_{15} \oplus A_{12} \oplus A_{10} = 1 \\
B_{16} &= A_{16} \oplus A_{13} \oplus A_{11} = 0
\end{aligned}$$

Получившееся сообщение: 1100 1011 1111 0110  
В шестнадцатеричном коде: CB F6

Временная диаграмма:



- Верхняя граница:  $f_v = C/2 = 50$  МГц
- Нижняя граница:  $f_n = C/4 = 25$  МГц
- Ширина спектра:  $S = f_v - f_n = 25$  МГц
- Середина спектра:  $f_{\frac{1}{2}} = \frac{f_v + f_n}{2} = 37,5$  МГц
- Средняя частота:  $f_{cp} = \frac{14 \cdot f_0 + 2 \cdot \frac{f_0}{2}}{16} = 46,875$  МГц
- Полоса пропускания: 25 МГц ( $F \geq S$ )

## 6 Сравнительный анализ результатов сообщения

Метод кодирования	Полезная пропускная способность	Спектр	Синхронизация	Обнаружение ошибок	Реализация	Дополнительные временные затраты
4В/5В	Уменьшается	Сужается	Есть	Есть	Простая	Есть
Скремблирование	Сохраняется	Сужается (не всегда)	Нет	Нет	Средняя	Есть

Наиболее эффективным алгоритмом кодирования для составленного сообщения является избыточное кодирование.

Ресурсные затраты для табличного кодирования незначительные, по сравнению с операцией скремблирования. Возможность выявлять ошибки нивелирует падение пропускной способности на 25%.

## 7 Вывод

В ходе выполнения данного задания я познакомился со всеми методами физического и логического кодирования сообщений доступных в курсе, проанализировал достоинства и недостатки каждого. Я пришёл к выводу, что идеальных способов кодирования не существует. У каждого свои достоинства и недостатки, мы же пытаемся в зависимости от исходных данных и условий выбрать оптимальный. В моём случае таковыми являются M2 и DIF\_M2 коды за счёт отсутствия в них постоянной составляющей. Что касается логического кодирования, я убедился в эффективности избыточного кодирования.

