

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования "Национальный Исследовательский Университет ИТМО"
Мегафакультет Компьютерных Технологий и Управления
Факультет Программной Инженерии и Компьютерной Техники



Домашнее задание 1
по дисциплине
Компьютерные сети

Выполнил Студент группы Р33102
Лапин Алексей Александрович
Преподаватель:
Авксентьева Елена Юрьевна

г. Санкт-Петербург
2023г.

Содержание

1	Часть 1. Методы физического и логического кодирования	3
1.1	Этап 1. Формирование сообщения	3
1.2	Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения	4
1.2.1	Манчестерский код	5
1.2.2	NRZ код	6
1.2.3	AMI код	6
1.3	Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения . . .	7
1.4	Этап 4. Скремблирование исходного сообщения	9
1.5	Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования	16
2	Часть 2. Передача кодированного сообщения по каналу связи	17

Цель работы:

Изучение методов физического и логического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных и исследование влияния свойств канала связи на качество передачи сигналов при различных методах физического и логического кодирования.

1 Часть 1. Методы физического и логического кодирования

1.1 Этап 1. Формирование сообщения

исходное сообщение: Лапин Алексей Александрович
в шестнадцатеричном коде:

CB E0 EF E8 ED 20

C0 EB E5 EA F1 E5 E9 20

C0 EB E5 EA F1 E0 ED E4 F0 EE E2 E8 F7

в двоичном коде:

Л cb 11001011

а e0 11100000

п ef 11101111

и e8 11101000

н ed 11101101

20 00100000

А c0 11000000

л eb 11101011

е e5 11100101

к ea 11101010

с f1 11110001

е e5 11100101

й e9 11101001

20 00100000

А c0 11000000

л eb 11101011

е e5 11100101

к ea 11101010

с f1 11110001

а e0 11100000

н ed 11101101

д e4 11100100

р f0 11110000

о ee 11101110

в e2 11100010

и e8 11101000

ч f7 11110111

длина сообщения: 27 байт (216 бит)

1.2 Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

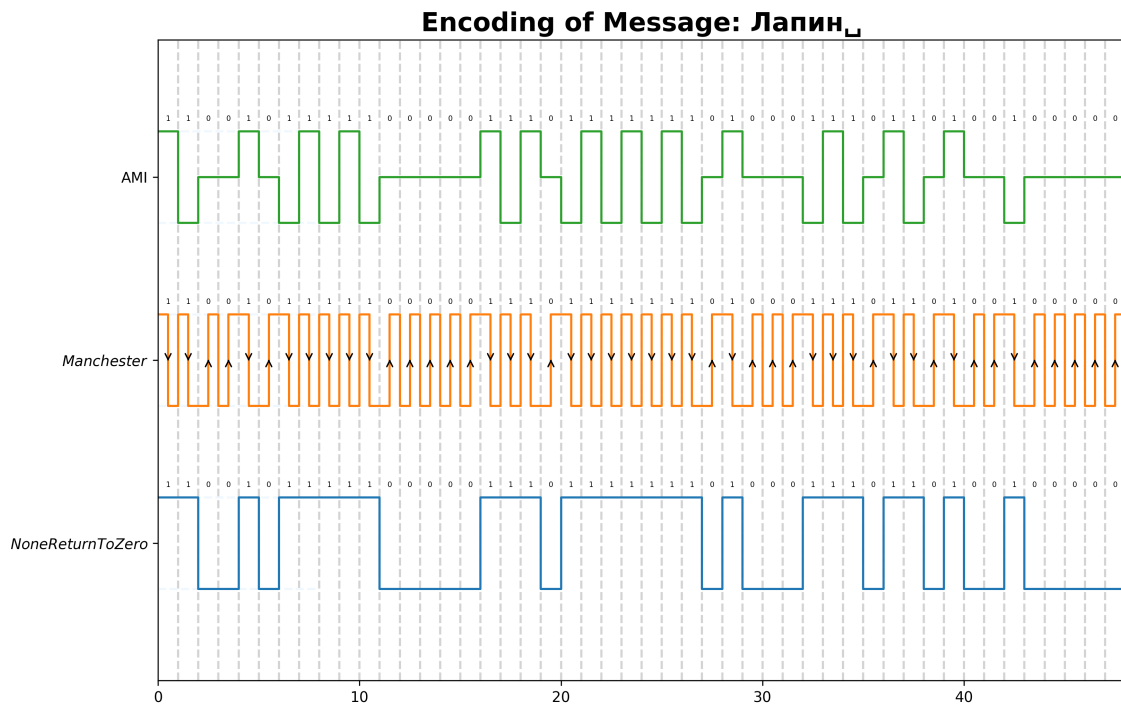


Рис. 1: Физическое кодирование первой части сообщения

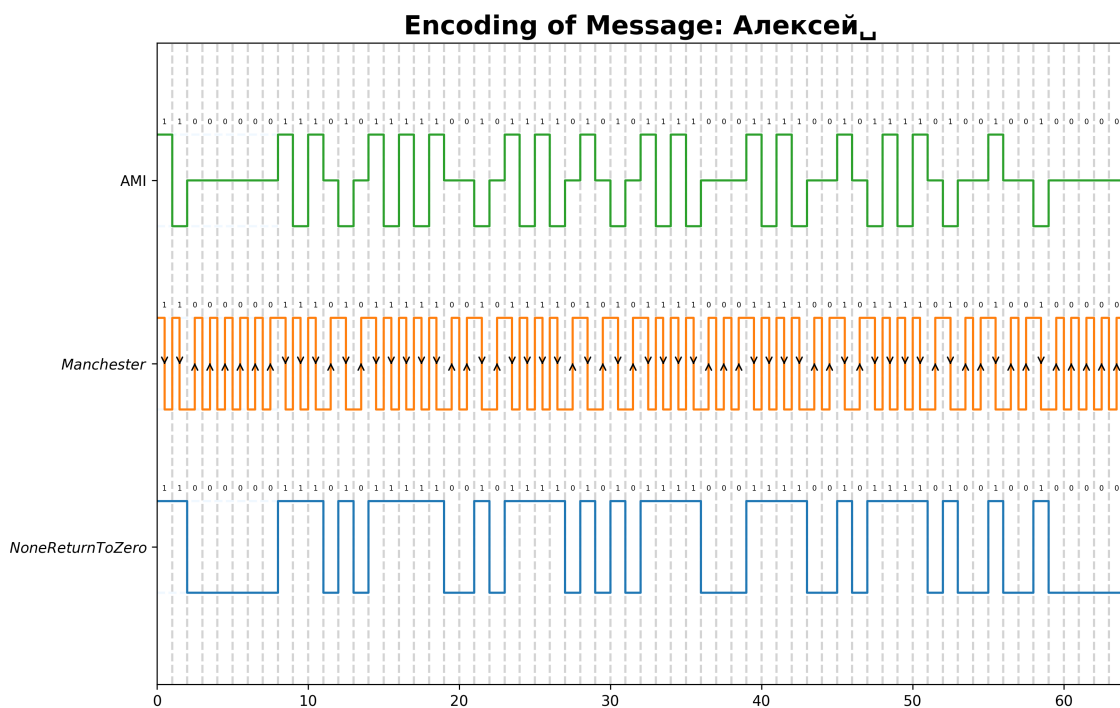


Рис. 2: Физическое кодирование второй части сообщения

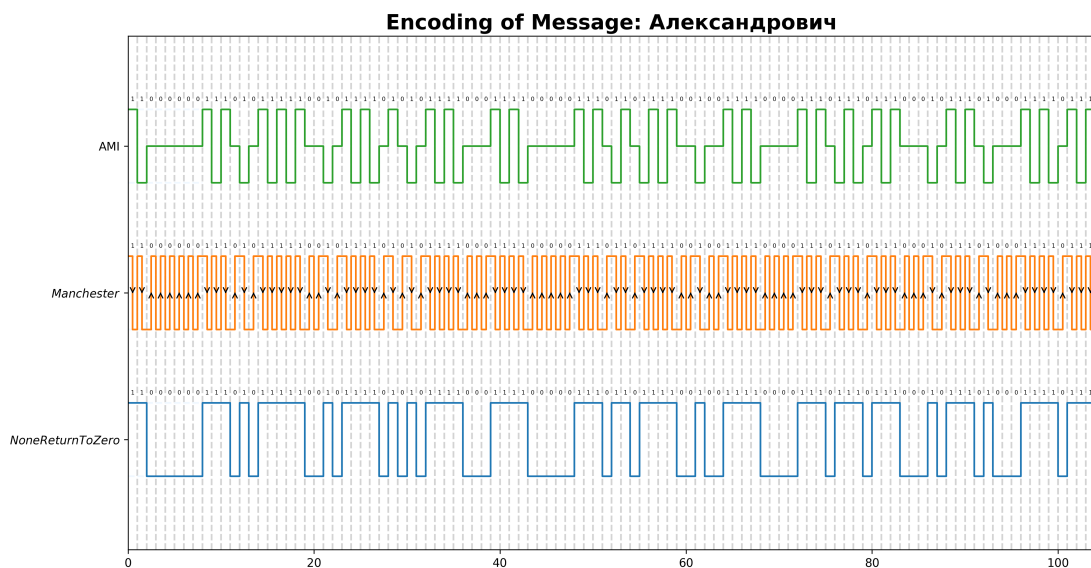


Рис. 3: Физическое кодирование третьей части сообщения

1.2.1 Манчестерский код

Верхняя граница частот: $f_{\text{в}} = C = 100 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот: $f_{\text{н}} = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = f_{\text{Б}} - f_{\text{H}} = 100 - 50 = 50 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты: $f_{\text{ср}} = \frac{244 \cdot f_0 + 188 \cdot \frac{f_0}{2}}{432} \approx 78.24 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{1/2} = \frac{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}{2} = \frac{100 + 50}{2} = 75 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = 7 \cdot f_0 - \frac{f_0}{2} = 100 \cdot (7 - 0.5) = 650 \text{ МГц}$

Полоса пропускания: $F = 650 \text{ МГц}$

1.2.2 NRZ код

Fundamental frequency: $f_0 = \frac{C}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ МГц}$

Верхняя граница частот: $T = 2t$, $t = \frac{1}{C} \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот: $f_{\text{н}} = \frac{f_0}{7} = \frac{50}{7} \approx 7.143 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 50 - 7.143 = 42.857 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты: $f_{\text{ср}} = \frac{45 \cdot f_0 + 28 \cdot \frac{f_0}{2} + 45 \cdot \frac{f_0}{3} + 44 \cdot \frac{f_0}{4} + 35 \cdot \frac{f_0}{5} + 12 \cdot \frac{f_0}{6} + 7 \cdot \frac{f_0}{7}}{216} \approx 21.99 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{1/2} = \frac{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}{2} = \frac{50 + 7.143}{2} = 28.571 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = 7 \cdot f_0 - \frac{f_0}{7} = 50 \cdot \left(7 - \frac{1}{7}\right) = 342.857 \text{ МГц}$

Полоса пропускания: $F = 343 \text{ МГц}$

1.2.3 AMI код

Fundamental frequency: $f_0 = \frac{C}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ МГц}$

Верхняя граница частот: $T = 2t$, $t = \frac{1}{C} \rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот: $f_{\text{н}} = \frac{f_0}{6} = \frac{50}{6} \approx 8.334 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 50 - 8.334 = 41.666 \text{ МГц}$

Среднее значение частоты: $f_{\text{ср}} = \frac{147 \cdot f_0 + 18 \cdot \frac{f_0}{2} + 15 \cdot \frac{f_0}{3} + 4 \cdot \frac{f_0}{4} + 20 \cdot \frac{f_0}{5} + 12 \cdot \frac{f_0}{6}}{216} \approx 38.889 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{1/2} = \frac{f_{\text{в}} + f_{\text{н}}}{2} = \frac{50 + 8.334}{2} = 29.167 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = 7 \cdot f_0 - \frac{f_0}{6} = 50 \cdot \left(7 - \frac{1}{6}\right) = 341.667 \text{ МГц}$

Полоса пропускания: $F = 342 \text{ МГц}$

Метод кодирования	Спектор сигнала (МГц)	Само синхронизация	Постоянная составляющая	Обнаружение ошибок	Стоимость реализации
M2	50	есть	нет	есть	2
NRZ	43	нет	есть	нет	1
AMI	42	нет	есть	есть	3

В результате сравнения можно сделать вывод, что лучшим способом кодирования является M2. Он обладает самосинхронизацией, обнаружением ошибок, требует всего

два уровня сигнала и не имеет постоянной составляющей. Однако есть и недостаток в большем спектре сигнала по сравнению с NRZ и AMI.

На втором месте, я бы взял AMI, так как он обладает обнаружением ошибок и самым маленьким спектром сигнала.

1.3 Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

1100 -> 11010
1001 -> 10111
0010 -> 11100
0101 -> 11110
1011 -> 11100
0111 -> 11101
1111 -> 11100
1111 -> 10010
1110 -> 11100
1100 -> 11011
1000 -> 10100
0000 -> 11110
0000 -> 11010
0001 -> 11110
0011 -> 11100
0111 -> 10111
1110 -> 11100
1101 -> 01011
1011 -> 11100
0111 -> 10110
1111 -> 11101
1111 -> 01001
1111 -> 11100
1111 -> 01011
1110 -> 11100
1101 -> 10011
1010 -> 10100
0100 -> 11110
1000 -> 11010
0001 -> 11110
0011 -> 11100
0111 -> 10111
1110 -> 11100
1101 -> 01011
1011 -> 11100
0110 -> 10110
1101 -> 11101
1010 -> 01001
0100 -> 11100
1001 -> 11110
0010 -> 11100
0100 -> 11011

1000 -> 11100
 0000 -> 01010
 0000 -> 11101
 0001 -> 11110
 0011 -> 11100
 0110 -> 11100
 1100 -> 11100
 1000 -> 10100
 0000 -> 11100
 0000 -> 10010
 0000 -> 11101
 0001 -> 01111

В двоичном коде: 110101011111100111101110011101111001001011100110111010011110
 110101111011100101111110001011111001011011101010011110001011
 111001001110100111101101011110111001011111100010111110010110
 111010100111100111101110011011111000101011101111101110011100
 111001010011100100101110101111

В шестнадцатеричном коде: 0x357e7b9de4b9ba7b5ee5f8be5ba9e2f93a7b5ee5f8be5ba9
 e7b9be2bbee7394e4baf

Длина сообщения: 33.75 байт (270 бит)

Избыточность: 25%

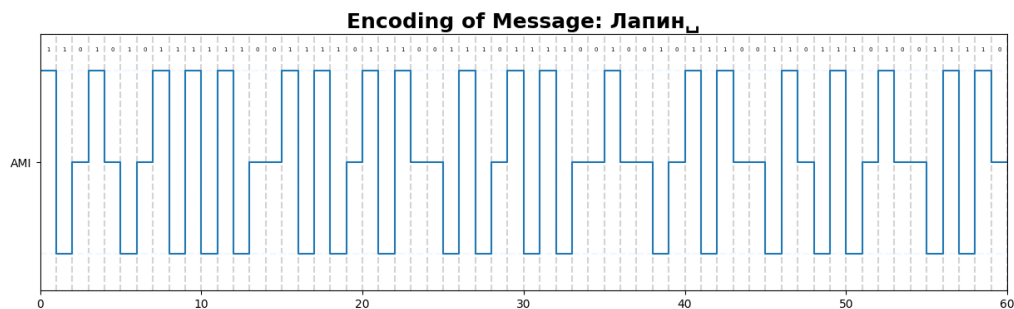


Рис. 4: Логическое кодирование 4В/5В сообщения

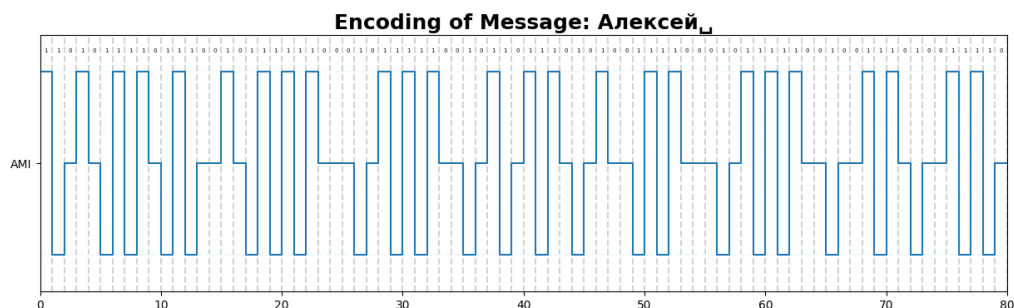


Рис. 5: Логическое кодирование 4В/5В сообщения

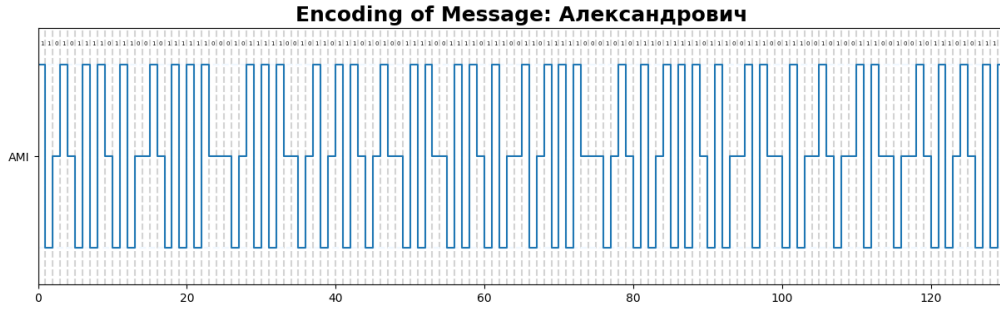


Рис. 6: Логическое кодирование 4В/5В сообщения

Верхняя граница частот: $f_v = \frac{C}{2} = 50$ МГц

Нижняя граница частот: $f_n = \frac{f_0}{3} = 16.67$ МГц

Средняя частота: $f_{cp} = \frac{212 \cdot f_0 + 23 \cdot 2 \cdot \frac{f_0}{2} + 4 \cdot 3 \cdot \frac{f_0}{3}}{270} \approx 44.259$ МГц

Середина спектра: $f_{1/2} = \frac{f_v + f_n}{2} = \frac{50 + 16.67}{2} = 33.335$ МГц

Спектр сигнала: $S = f_v - f_n = 50 - 16.67 = 33.33$ МГц

Полоса пропускания: $F = 34$ МГц

Сравнивая с результатами физического кодирования АМІ кода, мы видим, что спектр сигнала сузился. Также логическое кодирование 4В/5В дало коду возможность обнаружения ошибки и самосинхронизацию.

1.4 Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

$$B_i = A_i \oplus B_{i-1} \oplus B_{i-15}$$

Выбран этот полином, так как он выдает наименьшую длину постоянной (повторяющихся нулей). Это было проверено перебором всех возможных полиномов. Максимальная длина повторяющихся нулей: 4.

$$B_1 = A_1 = 1$$

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 = 0$$

$$B_5 = A_5 = 1$$

$$B_6 = A_6 = 0$$

$$B_7 = A_7 = 1$$

$$B_8 = A_8 = 1$$

$$B_9 = A_9 = 1$$

$$B_{10} = A_{10} = 1$$

$$B_{11} = A_{11} = 1$$

$$B_{12} = A_{12} = 0$$

$$B_{13} = A_{13} = 0$$

$$B_{14} = A_{14} = 0$$

$$B_{15} = A_{15} = 0$$

$$B_{16} = A_{16} \oplus B_1 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{17} = A_{17} \oplus B_2 \oplus B_1 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{18} = A_{18} \oplus B_3 \oplus B_2 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{19} = A_{19} \oplus B_4 \oplus B_3 = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{20} = A_{20} \oplus B_5 \oplus B_4 = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{21} = A_{21} \oplus B_6 \oplus B_5 = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{22} = A_{22} \oplus B_7 \oplus B_6 = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{23} = A_{23} \oplus B_8 \oplus B_7 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{24} = A_{24} \oplus B_9 \oplus B_8 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{25} = A_{25} \oplus B_{10} \oplus B_9 = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{26} = A_{26} \oplus B_{11} \oplus B_{10} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{27} = A_{27} \oplus B_{12} \oplus B_{11} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{28} = A_{28} \oplus B_{13} \oplus B_{12} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_{29} = A_{29} \oplus B_{14} \oplus B_{13} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{30} = A_{30} \oplus B_{15} \oplus B_{14} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_{31} = A_{31} \oplus B_{16} \oplus B_{15} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{32} = A_{32} \oplus B_{17} \oplus B_{16} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{33} = A_{33} \oplus B_{18} \oplus B_{17} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$$

$$B_{34} = A_{34} \oplus B_{19} \oplus B_{18} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{35} = A_{35} \oplus B_{20} \oplus B_{19} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{36} = A_{36} \oplus B_{21} \oplus B_{20} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{37} = A_{37} \oplus B_{22} \oplus B_{21} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{38} = A_{38} \oplus B_{23} \oplus B_{22} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$B_{39} = A_{39} \oplus B_{24} \oplus B_{23} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{40} = A_{40} \oplus B_{25} \oplus B_{24} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$$

$$B_{41} = A_{41} \oplus B_{26} \oplus B_{25} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$$

$$B_{42} = A_{42} \oplus B_{27} \oplus B_{26} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{43} = A_{43} \oplus B_{28} \oplus B_{27} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$B_{44} = A_{44} \oplus B_{29} \oplus B_{28} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{45} = A_{45} \oplus B_{30} \oplus B_{29} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{46} = A_{46} \oplus B_{31} \oplus B_{30} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$$

$$B_{47} = A_{47} \oplus B_{32} \oplus B_{31} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

$$B_{48} = A_{48} \oplus B_{33} \oplus B_{32} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$B_{49} = A_{49} \oplus B_{34} \oplus B_{33} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$\begin{aligned}
B_{50} &= A_{50} \oplus B_{35} \oplus B_{34} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{51} &= A_{51} \oplus B_{36} \oplus B_{35} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{52} &= A_{52} \oplus B_{37} \oplus B_{36} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{53} &= A_{53} \oplus B_{38} \oplus B_{37} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{54} &= A_{54} \oplus B_{39} \oplus B_{38} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{55} &= A_{55} \oplus B_{40} \oplus B_{39} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{56} &= A_{56} \oplus B_{41} \oplus B_{40} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{57} &= A_{57} \oplus B_{42} \oplus B_{41} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{58} &= A_{58} \oplus B_{43} \oplus B_{42} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{59} &= A_{59} \oplus B_{44} \oplus B_{43} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{60} &= A_{60} \oplus B_{45} \oplus B_{44} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{61} &= A_{61} \oplus B_{46} \oplus B_{45} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{62} &= A_{62} \oplus B_{47} \oplus B_{46} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{63} &= A_{63} \oplus B_{48} \oplus B_{47} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{64} &= A_{64} \oplus B_{49} \oplus B_{48} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{65} &= A_{65} \oplus B_{50} \oplus B_{49} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{66} &= A_{66} \oplus B_{51} \oplus B_{50} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{67} &= A_{67} \oplus B_{52} \oplus B_{51} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{68} &= A_{68} \oplus B_{53} \oplus B_{52} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{69} &= A_{69} \oplus B_{54} \oplus B_{53} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{70} &= A_{70} \oplus B_{55} \oplus B_{54} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{71} &= A_{71} \oplus B_{56} \oplus B_{55} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{72} &= A_{72} \oplus B_{57} \oplus B_{56} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{73} &= A_{73} \oplus B_{58} \oplus B_{57} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{74} &= A_{74} \oplus B_{59} \oplus B_{58} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{75} &= A_{75} \oplus B_{60} \oplus B_{59} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{76} &= A_{76} \oplus B_{61} \oplus B_{60} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{77} &= A_{77} \oplus B_{62} \oplus B_{61} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{78} &= A_{78} \oplus B_{63} \oplus B_{62} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{79} &= A_{79} \oplus B_{64} \oplus B_{63} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{80} &= A_{80} \oplus B_{65} \oplus B_{64} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{81} &= A_{81} \oplus B_{66} \oplus B_{65} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{82} &= A_{82} \oplus B_{67} \oplus B_{66} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{83} &= A_{83} \oplus B_{68} \oplus B_{67} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{84} &= A_{84} \oplus B_{69} \oplus B_{68} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{85} &= A_{85} \oplus B_{70} \oplus B_{69} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{86} &= A_{86} \oplus B_{71} \oplus B_{70} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{87} &= A_{87} \oplus B_{72} \oplus B_{71} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{88} &= A_{88} \oplus B_{73} \oplus B_{72} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{89} &= A_{89} \oplus B_{74} \oplus B_{73} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{90} &= A_{90} \oplus B_{75} \oplus B_{74} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{91} &= A_{91} \oplus B_{76} \oplus B_{75} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{92} &= A_{92} \oplus B_{77} \oplus B_{76} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{93} &= A_{93} \oplus B_{78} \oplus B_{77} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{94} &= A_{94} \oplus B_{79} \oplus B_{78} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{95} &= A_{95} \oplus B_{80} \oplus B_{79} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{96} &= A_{96} \oplus B_{81} \oplus B_{80} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{97} &= A_{97} \oplus B_{82} \oplus B_{81} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{98} &= A_{98} \oplus B_{83} \oplus B_{82} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{99} &= A_{99} \oplus B_{84} \oplus B_{83} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{100} &= A_{100} \oplus B_{85} \oplus B_{84} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{101} &= A_{101} \oplus B_{86} \oplus B_{85} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{102} &= A_{102} \oplus B_{87} \oplus B_{86} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{103} &= A_{103} \oplus B_{88} \oplus B_{87} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{104} &= A_{104} \oplus B_{89} \oplus B_{88} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{105} &= A_{105} \oplus B_{90} \oplus B_{89} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{106} &= A_{106} \oplus B_{91} \oplus B_{90} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{107} &= A_{107} \oplus B_{92} \oplus B_{91} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{108} &= A_{108} \oplus B_{93} \oplus B_{92} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{109} &= A_{109} \oplus B_{94} \oplus B_{93} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{110} &= A_{110} \oplus B_{95} \oplus B_{94} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{111} &= A_{111} \oplus B_{96} \oplus B_{95} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{112} &= A_{112} \oplus B_{97} \oplus B_{96} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{113} &= A_{113} \oplus B_{98} \oplus B_{97} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{114} &= A_{114} \oplus B_{99} \oplus B_{98} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{115} &= A_{115} \oplus B_{100} \oplus B_{99} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{116} &= A_{116} \oplus B_{101} \oplus B_{100} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{117} &= A_{117} \oplus B_{102} \oplus B_{101} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{118} &= A_{118} \oplus B_{103} \oplus B_{102} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{119} &= A_{119} \oplus B_{104} \oplus B_{103} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{120} &= A_{120} \oplus B_{105} \oplus B_{104} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{121} &= A_{121} \oplus B_{106} \oplus B_{105} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{122} &= A_{122} \oplus B_{107} \oplus B_{106} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{123} &= A_{123} \oplus B_{108} \oplus B_{107} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{124} &= A_{124} \oplus B_{109} \oplus B_{108} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{125} &= A_{125} \oplus B_{110} \oplus B_{109} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{126} &= A_{126} \oplus B_{111} \oplus B_{110} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{127} &= A_{127} \oplus B_{112} \oplus B_{111} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{128} &= A_{128} \oplus B_{113} \oplus B_{112} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{129} &= A_{129} \oplus B_{114} \oplus B_{113} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{130} &= A_{130} \oplus B_{115} \oplus B_{114} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{131} &= A_{131} \oplus B_{116} \oplus B_{115} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{132} &= A_{132} \oplus B_{117} \oplus B_{116} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{133} &= A_{133} \oplus B_{118} \oplus B_{117} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{134} &= A_{134} \oplus B_{119} \oplus B_{118} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{135} &= A_{135} \oplus B_{120} \oplus B_{119} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{136} &= A_{136} \oplus B_{121} \oplus B_{120} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{137} &= A_{137} \oplus B_{122} \oplus B_{121} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{138} &= A_{138} \oplus B_{123} \oplus B_{122} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{139} &= A_{139} \oplus B_{124} \oplus B_{123} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{140} &= A_{140} \oplus B_{125} \oplus B_{124} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{141} &= A_{141} \oplus B_{126} \oplus B_{125} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{142} &= A_{142} \oplus B_{127} \oplus B_{126} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{143} &= A_{143} \oplus B_{128} \oplus B_{127} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{144} &= A_{144} \oplus B_{129} \oplus B_{128} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{145} &= A_{145} \oplus B_{130} \oplus B_{129} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{146} &= A_{146} \oplus B_{131} \oplus B_{130} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{147} &= A_{147} \oplus B_{132} \oplus B_{131} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{148} &= A_{148} \oplus B_{133} \oplus B_{132} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{149} &= A_{149} \oplus B_{134} \oplus B_{133} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{150} &= A_{150} \oplus B_{135} \oplus B_{134} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{151} &= A_{151} \oplus B_{136} \oplus B_{135} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{152} &= A_{152} \oplus B_{137} \oplus B_{136} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{153} &= A_{153} \oplus B_{138} \oplus B_{137} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{154} &= A_{154} \oplus B_{139} \oplus B_{138} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{155} &= A_{155} \oplus B_{140} \oplus B_{139} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{156} &= A_{156} \oplus B_{141} \oplus B_{140} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{157} &= A_{157} \oplus B_{142} \oplus B_{141} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{158} &= A_{158} \oplus B_{143} \oplus B_{142} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{159} &= A_{159} \oplus B_{144} \oplus B_{143} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{160} &= A_{160} \oplus B_{145} \oplus B_{144} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{161} &= A_{161} \oplus B_{146} \oplus B_{145} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{162} &= A_{162} \oplus B_{147} \oplus B_{146} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{163} &= A_{163} \oplus B_{148} \oplus B_{147} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{164} &= A_{164} \oplus B_{149} \oplus B_{148} = 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0 \\
B_{165} &= A_{165} \oplus B_{150} \oplus B_{149} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{166} &= A_{166} \oplus B_{151} \oplus B_{150} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{167} &= A_{167} \oplus B_{152} \oplus B_{151} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{168} &= A_{168} \oplus B_{153} \oplus B_{152} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{169} &= A_{169} \oplus B_{154} \oplus B_{153} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{170} &= A_{170} \oplus B_{155} \oplus B_{154} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{171} &= A_{171} \oplus B_{156} \oplus B_{155} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{172} &= A_{172} \oplus B_{157} \oplus B_{156} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{173} &= A_{173} \oplus B_{158} \oplus B_{157} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{174} &= A_{174} \oplus B_{159} \oplus B_{158} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{175} &= A_{175} \oplus B_{160} \oplus B_{159} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{176} &= A_{176} \oplus B_{161} \oplus B_{160} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{177} &= A_{177} \oplus B_{162} \oplus B_{161} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{178} &= A_{178} \oplus B_{163} \oplus B_{162} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{179} &= A_{179} \oplus B_{164} \oplus B_{163} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{180} &= A_{180} \oplus B_{165} \oplus B_{164} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{181} &= A_{181} \oplus B_{166} \oplus B_{165} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{182} &= A_{182} \oplus B_{167} \oplus B_{166} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{183} &= A_{183} \oplus B_{168} \oplus B_{167} = 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\
B_{184} &= A_{184} \oplus B_{169} \oplus B_{168} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{185} &= A_{185} \oplus B_{170} \oplus B_{169} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{186} &= A_{186} \oplus B_{171} \oplus B_{170} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{187} &= A_{187} \oplus B_{172} \oplus B_{171} = 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \\
B_{188} &= A_{188} \oplus B_{173} \oplus B_{172} = 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1 \\
B_{189} &= A_{189} \oplus B_{174} \oplus B_{173} = 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \\
B_{190} &= A_{190} \oplus B_{175} \oplus B_{174} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0 \\
B_{191} &= A_{191} \oplus B_{176} \oplus B_{175} = 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\
B_{192} &= A_{192} \oplus B_{177} \oplus B_{176} = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\
B_{193} &= A_{193} \oplus B_{178} \oplus B_{177} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0
\end{aligned}$$

$$B_{216} = A_{216} \oplus B_{201} \oplus B_{200} = 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

Максимальное количество повторяющихся символов: 4



Верхняя граница частот: $f_v = \frac{C}{2} = 50 \text{ МГц}$

Нижняя граница частот: $f_n = \frac{f_0}{4} = 12.5 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{cp} = \frac{140 \cdot f_0 + 14 \cdot 2 \cdot \frac{f_0}{2} + 8 \cdot 3 \cdot \frac{f_0}{3} + 6 \cdot 4 \cdot \frac{f_0}{4}}{216} \approx 38.89 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{1/2} = \frac{f_v + f_n}{2} = \frac{50 + 12.5}{2} = 31.25 \text{ МГц}$

Спектр сигнала: $S = f_v - f_n = 50 - 12.5 = 37.5 \text{ МГц}$

Полоса пропускания: $F = 38 \text{ МГц}$

Сравнивая с АМІ кодом в этапе 2, можно сказать, что спектр сигнала немного уменьшился. Также мы уменьшили постоянную составляющую.

1.5 Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

Метод кодирования	Спектр сигнала (МГц)	Полезная пропускная способность	Само синхронизация	Постоянная составляющая	Обнаружение ошибок	Дополнительные затраты
Избыточное 4В/5В	Немного уменьшился (38)	Уменьшается	есть	Уменьшается (3)	есть более сильное	таблица перекодировки
Скремблирование	Немного уменьшился (34)	Сохраняется	нет	Уменьшается (4)	есть от оригинального АМІ	алгоритм скремблирования-дескремблирования
Оригинальный АМІ	42	-	нет	есть (6)	есть	-

Рис. 8: Сравнительная таблица результатов кодирования

В результате мы видим, что каждый из методов логического кодирования обладает своими плюсами и минусами.

В избыточном кодировании мы уменьшаем спектр сигнала, получаем свойство самосинхронизации, и обнаружение ошибок за счет запрещенных комбинаций единиц и нулей (16 комбинаций в 4В/5В). Также реализация является довольно простой (таблица перекодировки). Но у нас уменьшается полезная пропускная способность из-за добавления дополнительных битов.

В скремблировании у нас иногда может уменьшаться спектр сигнала, также у нас сохраняется пропускная способность и уменьшается постоянная составляющая. Но у нас нет свойства самосинхронизации и обнаружения ошибок только на последовательные единицы от оригинального АМІ. Кроме того реализация скремблирования требует больших затрат, чем в избыточном кодировании.

2 Часть 2. Передача кодированного сообщения по каналу связи

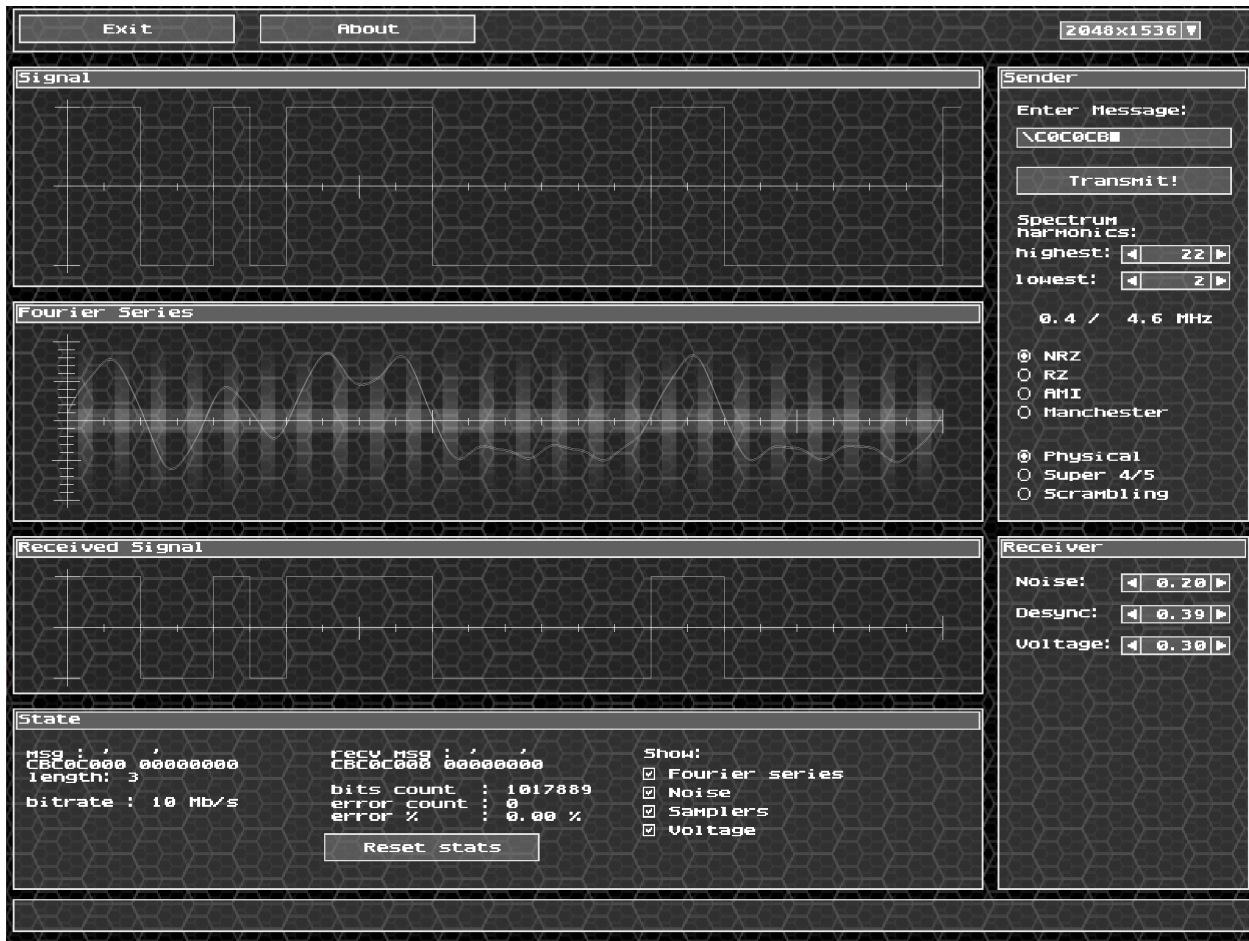


Рис. 9: Реальный сигнал NRZ кода

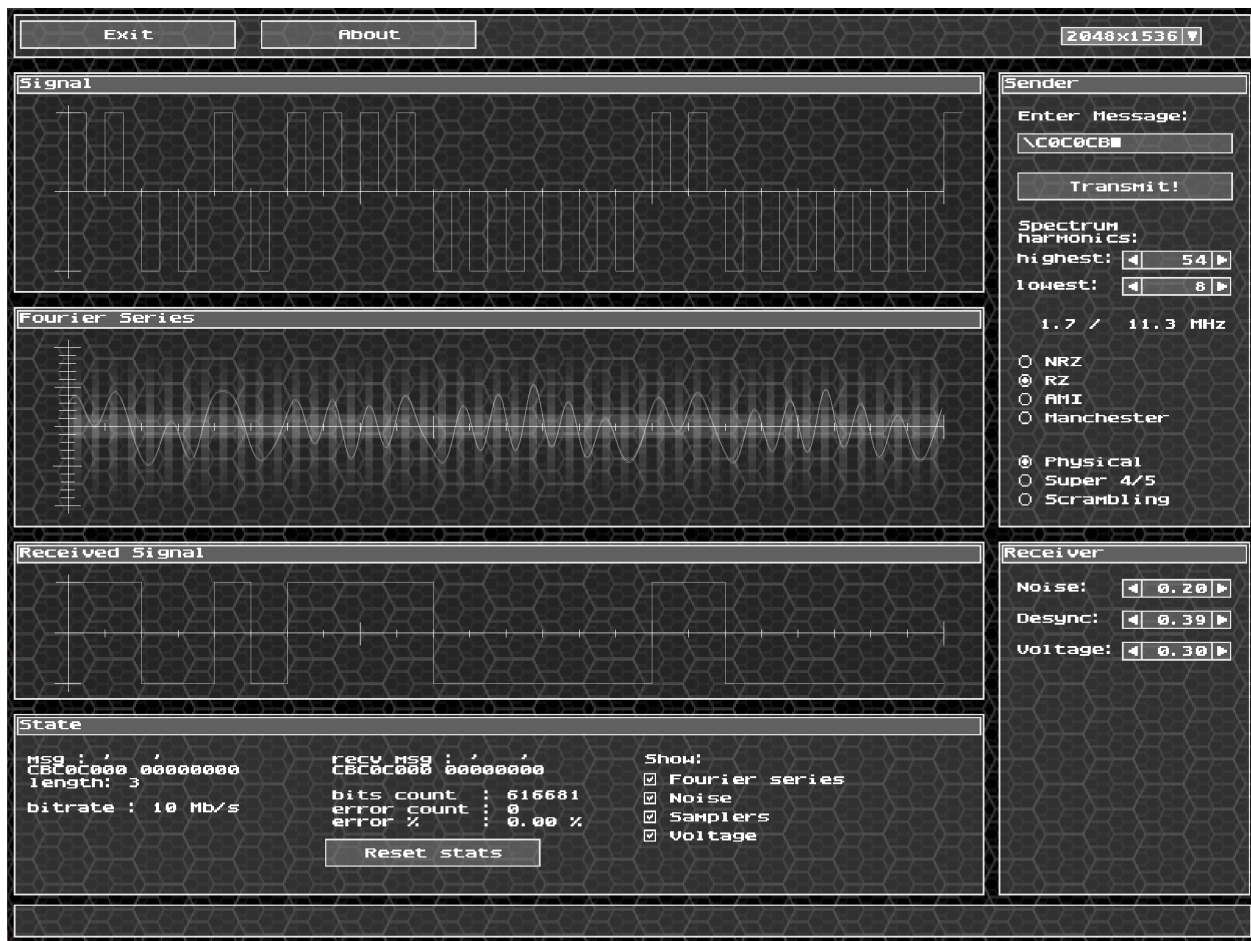


Рис. 10: Реальный сигнал RZ кода

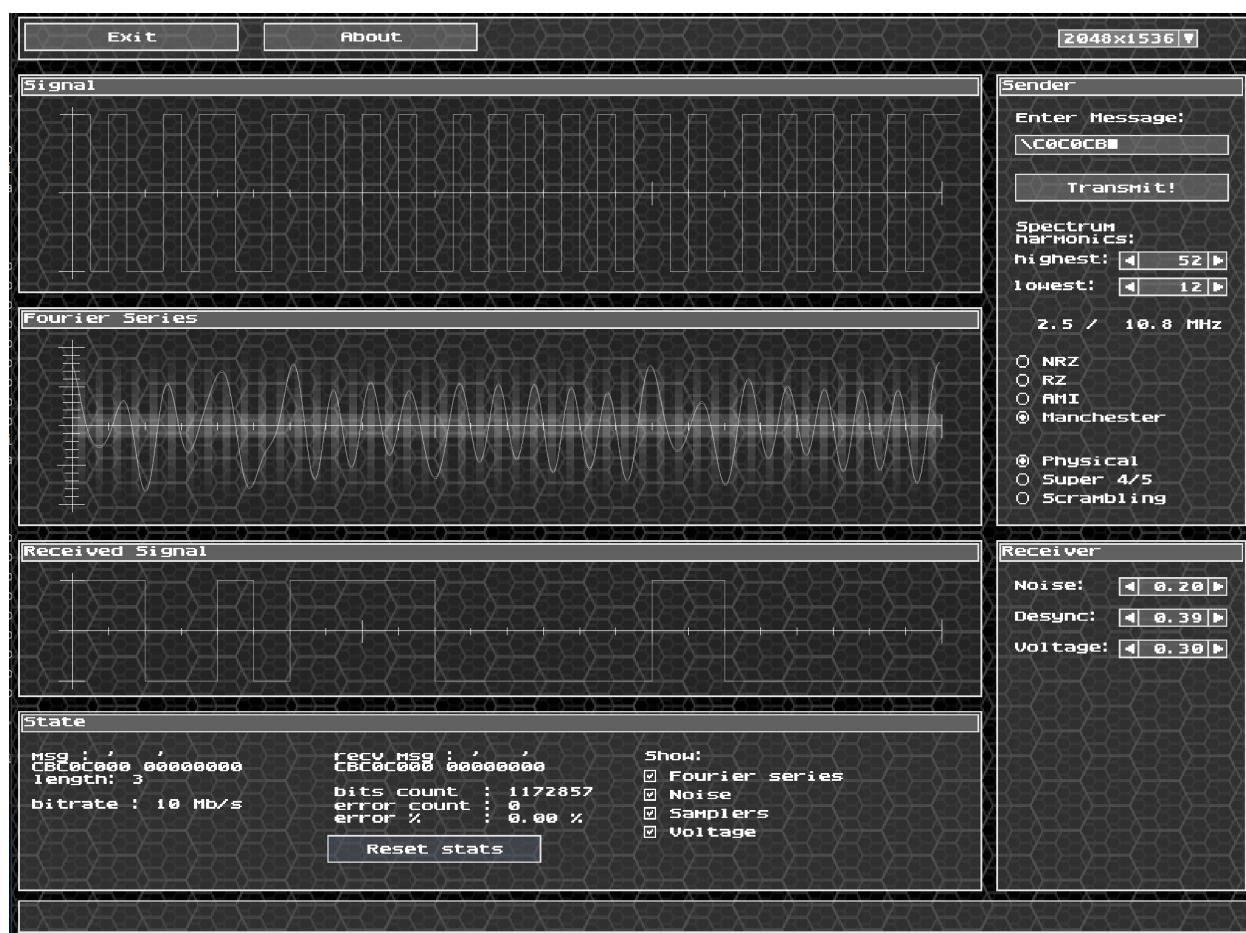


Рис. 11: Реальный сигнал М2 кода

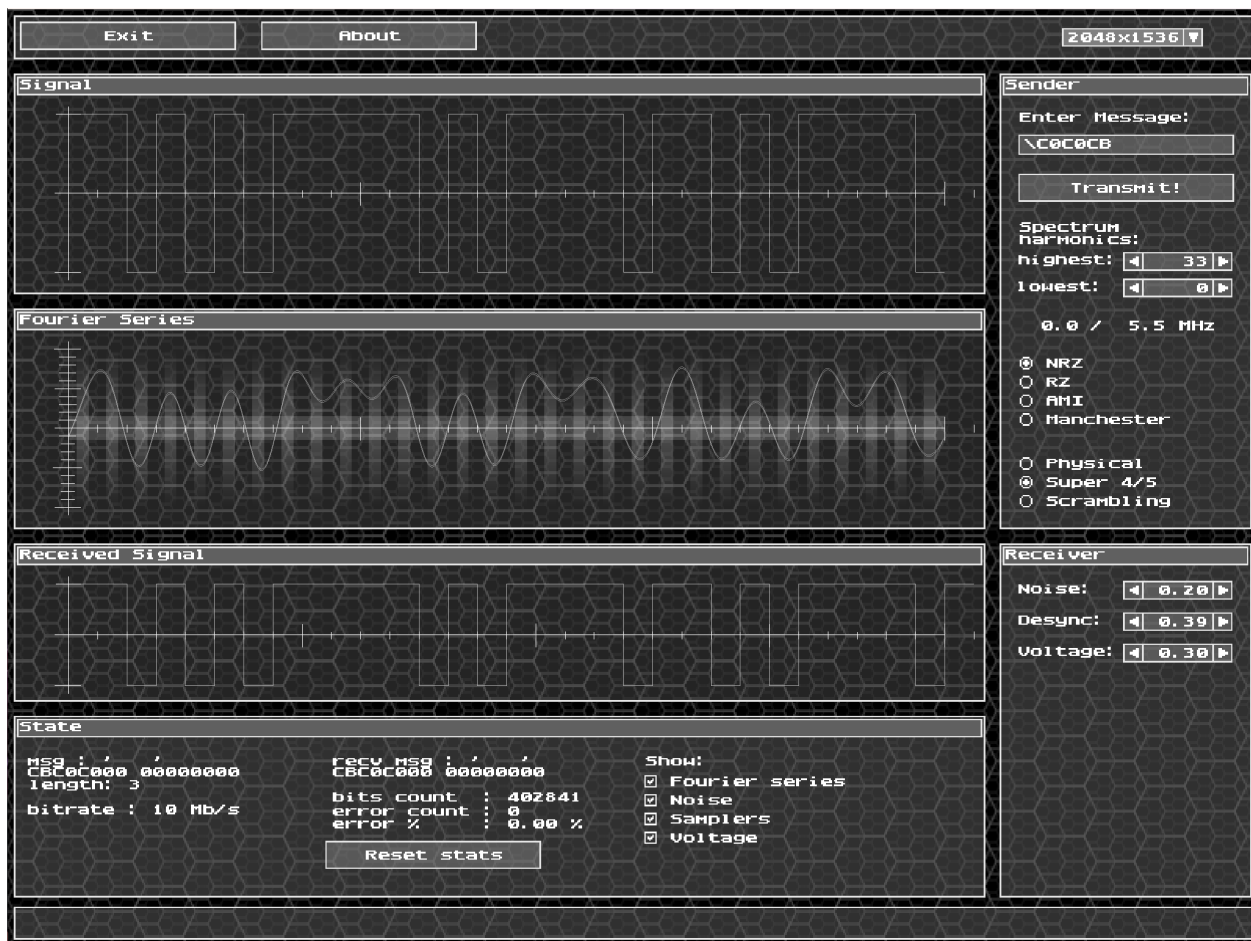


Рис. 12: Реальный сигнал 4B/5B NRZ кода

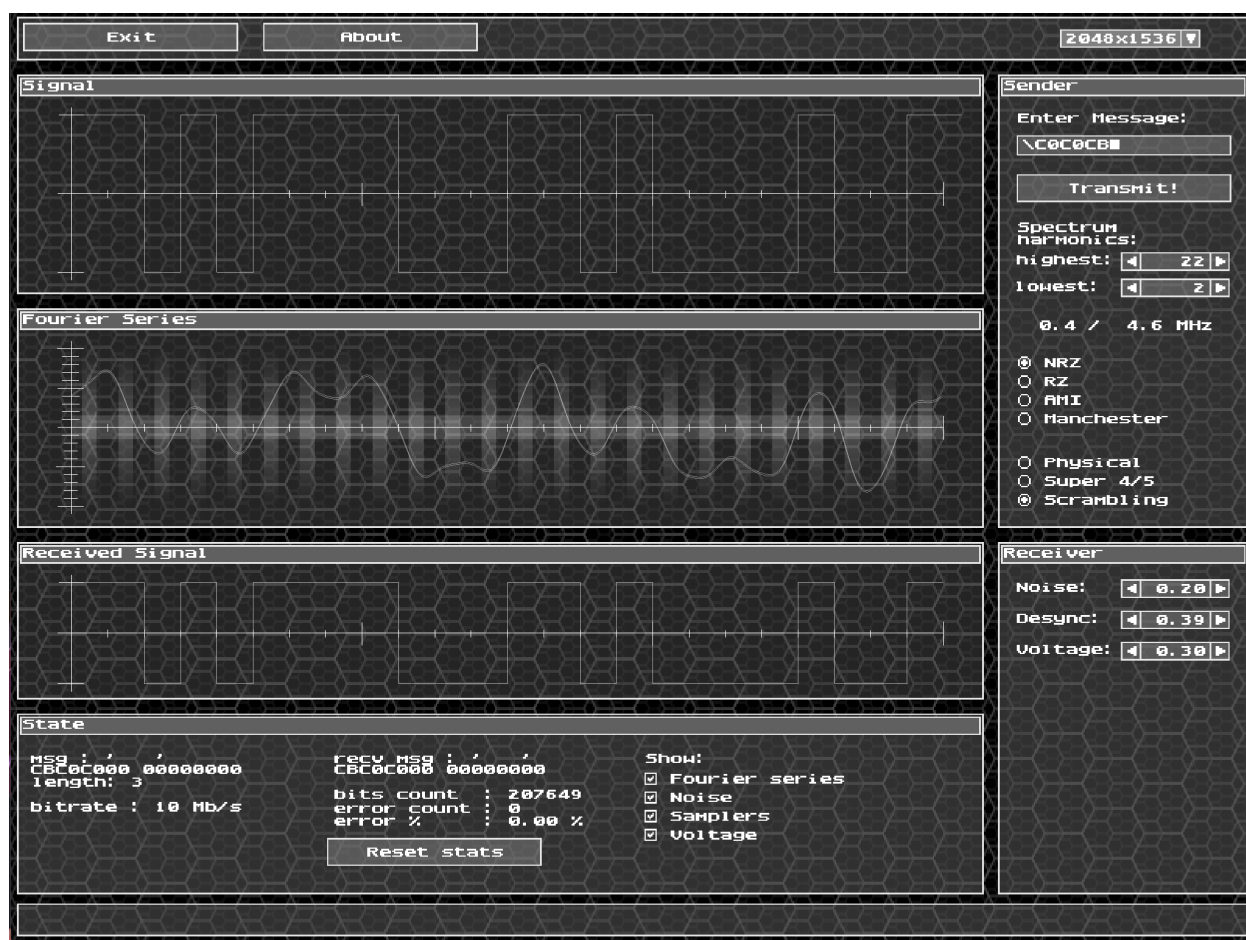


Рис. 13: Реальный сигнал скремблированного NRZ кода

Шестнадцатеричный код сообщения:			Метод кодирования				
			NRZ	RZ	M2	4B/5B	Scramb
Полоса пропускания идеального канала связи	Номера гармоник	min	6	6	30	8	6
		max	20	42	44	42	22
	Частоты, МГц	min	1.3	1.3	6.3	1.3	1.3
		max	4.2	8.8	9.2	7	4.6
Минимальная полоса пропускания идеального канала связи, МГц			2.9	7.5	2.9	5.7	3.3
Уровень шума		max	0.13	0.25	0.44	0.1	0.07
Уровень рассинхронизации		max	0.16	0.3	0.12	0.96	0.39
Уровень граничного напряж.		max	0.07	0.34	1	0.07	0.03
Процент ошибок при max уровнях и минимальной полосе пропускания КС, %			2.73	3.2	1.14	3.04	2.11
Уровень шума		ср.	0.20				
Уровень рассинхронизации		ср.	0.39				
Уровень граничного напряж.		ср.	0.30				
Полоса пропускания реального канала связи	Гармоники	min	2	8	12	0	2
		max	22	54	52	33	22
	Частоты, МГц	min	0.4	1.7	2.5	0	0.4
		max	4.6	11.3	10.8	5.5	4.6
Требуемая полоса пропускания реального канала связи, МГц			4.2	9.6	8.3	5.5	4.2

Вывод: Для данного сигнала лучше подходит скремблирование NRZ кода, так как у него наименьшая полоса пропускания. Однако оно проигрывает 4B/5B коду по помехоустойчивости.

NRZ код, тоже имеет небольшую необходимую полосу пропускания. Но у него довольно сомнительные результаты в противодействии помехам.

В противодействии шуму и граничному напряжению лучше всего себя показал M2 код, но за это приходится платить довольно широкой полосой пропускания.

С рассинхронизацией лучше всех справился 4B/5B код, также у него средняя величина полосы пропускания.

RZ код уступает M2 по всем показателям и обладает самой широкой полосой пропускания.