

НИУ ИТМО  
Факультет программной инженерии и компьютерных технологий

Отчет по домашнему заданию  
по дисциплине Компьютерные сети

Студент группы № Р33151  
Преподаватель

Шипулин Павел Андреевич  
Тропченко Андрей Александрович

Санкт-Петербург  
2024

## Часть 1. Методы физического и логического кодирования

### Этап 1. Формирование сообщения

Исходное сообщение	Шипулин П. А.
Шестнадцатеричный код	D8 E8 EF F3 EB E8 ED 20 CF 2C 20 C0 2C
Двоичный код	1101 1000 1110 1000 1110 1111 1111 0011 1110 1011 1110 1000 1110 1101 0010 0000 1100 1111 0010 1100 0010 0000 1100 0000 0010 1100
Длина	13 байт (104 бита)

### Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

Шестнадцатеричный код	D8 E8 EF F3
Двоичный код	1101 1000 1110 1000 1110 1111 1111 0011
Длина	4 байта (32 бита)

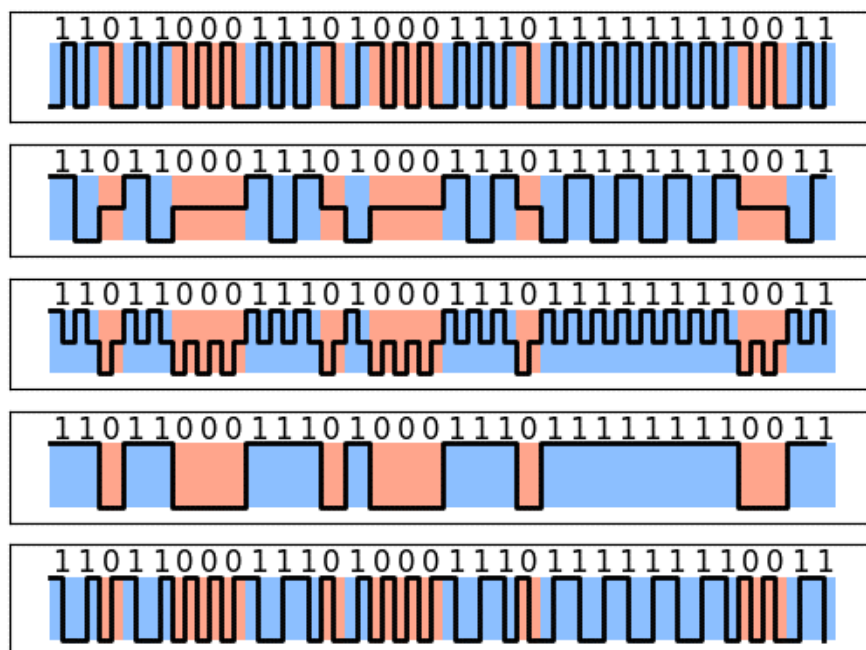


Рисунок 1. Физическое кодирование исходного сообщения методами: M2, ANI, RZ, NRZ, DifM2

Формулы:

$T = 2t$  [с] – период сигнала

$C \left[ \frac{\text{бит}}{\text{с}} \right]$  – пропускная способность канала

$t = \frac{1}{C}$  [с] – битовый интервал

$S = f_B - f_H$  [Гц] – спектр частот

$f_{1/2} = \frac{f_B + f_H}{2}$  [Гц] – середина спектра частот

$f_{cp} = \frac{1}{n} \sum f_i$  [Гц] – средняя частота

$F \geq S$  [Гц] – полоса пропускания

Метод	$f_B$	$f_H$	$f_{1/2}$	$f_{cp}$	$S$	$F$
M2	$\frac{1}{t} = C$	$\frac{1}{t \cdot 2} = \frac{C}{2}$	$\frac{1}{2} \left( C + \frac{C}{2} \right) = \frac{3C}{4}$	$\frac{22f_1 + 10f_2}{32}$	$C - \frac{C}{2} = \frac{C}{2}$	$\frac{C}{2}$
ANI	$\frac{1}{2t} = \frac{C}{2}$	$\frac{1}{2t \cdot 3} = \frac{C}{6}$	$\frac{1}{2} \left( \frac{C}{2} + \frac{C}{6} \right) = \frac{4C}{12} = \frac{C}{3}$	$\frac{24f_1 + 2f_2 + 6f_3}{32}$	$\frac{C}{2} - \frac{C}{6} = \frac{2C}{6} = \frac{C}{3}$	$\frac{C}{3}$
RZ	$\frac{1}{t} = C$	$\frac{1}{t \cdot 4} = \frac{C}{4}$	$\frac{1}{2} \left( C + \frac{C}{4} \right) = \frac{5C}{8}$	$\frac{29f_1 + 3f_4}{32}$	$C - \frac{C}{4} = \frac{3C}{4}$	$\frac{3C}{4}$
NRZ	$\frac{1}{2t} = \frac{C}{2}$	$\frac{1}{2t \cdot 8} = \frac{C}{16}$	$\frac{1}{2} \left( \frac{C}{2} + \frac{C}{16} \right) = \frac{9C}{32}$	$\frac{4f_1 + 8f_2 + 12f_3 + 8f_8}{32}$	$\frac{C}{2} - \frac{C}{16} = \frac{7C}{16}$	$\frac{7C}{16}$
DifM2	$\frac{1}{t} = C$	$\frac{1}{t \cdot 2} = \frac{C}{2}$	$\frac{1}{2} \left( C + \frac{C}{2} \right) = \frac{3C}{4}$	$\frac{12f_1 + 20f_2}{32}$	$C - \frac{C}{2} = \frac{C}{2}$	$\frac{C}{2}$

Пусть  $C = 1$  Гбит/с, тогда:

Метод	$f_B$ , МГц	$f_H$ , МГц	$f_{1/2}$ , МГц	$f_{cp}$ , МГц	$S$ , МГц	$F$ , МГц
M2	1000	500	750	843,75	500	500
ANI	500	166,667	333,333	421,875	333,333	333,333
RZ	1000	250	625	929,6875	750	750
NRZ	500	62,5	281,25	203,125	437,5	437,5
DifM2	1000	500	750	687,5	500	500

Лучшими способами кодирования являются методы M2 и DifM2, так как:

- Обеспечивают отсутствие постоянной составляющей
- Требуют только 2 уровня сигналов

### Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

Шестнадцатеричный код      D8 E8 EF F3  
Двоичный код                    1101 1000 1110 1000 1110 1111 1111 0011  
Длина                              4 байт (32 бит)

Исходные символы	Результирующие символы	Исходные символы	Результирующие символы
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10010	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Таблица 1. Таблица перекодировки

Новое сообщение:

Шестнадцатеричный код      DC B9 2E 77 B5  
Двоичный код                    1101 1100 1011 1001 0010 1110 0111  
   0111 1011 0101  
Длина                              5 байт (104 бит)

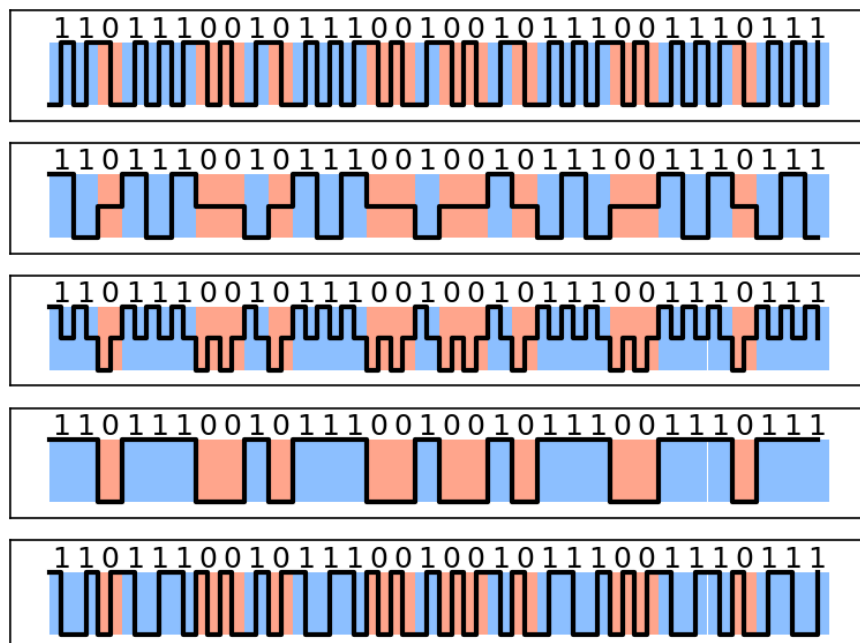


Рисунок 2. Физическое кодирование избыточного сообщения методами: M2, ANI, RZ, NRZ, DifM2

Пусть  $C = 1$  Гбит/с, тогда для метода NRZ:

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц} = f_{\text{висх}}$$

$$f_{\text{н}} = \frac{1}{2t \cdot 3} = \frac{C}{6} = 166,667 \text{ МГц} > f_{\text{нисх}} \approx 63 \text{ МГц}$$

$$f_{1/2} = \frac{1}{2}(f_{\text{в}} + f_{\text{н}}) = \frac{1}{2}\left(\frac{C}{2} + \frac{C}{6}\right) = \frac{4C}{12} = \frac{C}{3} = 333,333 \text{ МГц} > f_{1/2\text{исх}} \approx 281 \text{ МГц}$$

$$f_{\text{ср}} = \frac{7f_1 + 10f_2 + 15f_3}{32} = 273,4375 \text{ МГц} > f_{\text{срисх}} \approx 203 \text{ МГц}$$

$$S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = \frac{C}{2} - \frac{C}{6} = \frac{2C}{6} = \frac{C}{3} = 333,333 \text{ МГц} < S_{\text{исх}} \approx 438 \text{ МГц}$$

$$F \geq S = 333,333 \text{ МГц} < F_{\text{исх}} \approx 438 \text{ МГц}$$

#### **Этап 4. Скремблирование исходного сообщения**

Шестнадцатеричный код	D8 E8 EF F3
Двоичный код	1101 1000 1110 1000 1110 1111 1111 0011
Максимальная длина постоянной	8 бит
Длина	4 байт (32 бит)

Выполнение операций скремблирования (3, 5):

$$B_1 = A_1$$

$$B_2 = A_2$$

$$B_3 = A_3$$

$$B_4 = A_4 \oplus B_1$$

$$B_5 = A_5 \oplus B_2$$

$$B_6 = A_6 \oplus B_3 \oplus B_1$$

$$B_7 = A_7 \oplus B_4 \oplus B_2$$

$$B_8 = A_8 \oplus B_5 \oplus B_3$$

$$B_9 = A_9 \oplus B_6 \oplus B_4$$

$$B_{10} = A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5$$

$$B_{11} = A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6$$

$$B_{12} = A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7$$

$$B_{13} = A_{13} \oplus B_{10} \oplus B_8$$

$$B_{14} = A_{14} \oplus B_{11} \oplus B_9$$

$$B_{15} = A_{15} \oplus B_{12} \oplus B_{10}$$

$$B_{16} = A_{16} \oplus B_{13} \oplus B_{11}$$

$$B_{17} = A_{17} \oplus B_{14} \oplus B_{12}$$

$$B_{18} = A_{18} \oplus B_{15} \oplus B_{13}$$

$$B_{19} = A_{19} \oplus B_{16} \oplus B_{14}$$

$$B_{20} = A_{20} \oplus B_{17} \oplus B_{15}$$

$$B_{21} = A_{21} \oplus B_{18} \oplus B_{16}$$

$$B_{22} = A_{22} \oplus B_{19} \oplus B_{17}$$

$$\begin{aligned}
 B_{23} &= A_{23} \oplus B_{20} \oplus B_{18} \\
 B_{24} &= A_{24} \oplus B_{21} \oplus B_{19} \\
 B_{25} &= A_{25} \oplus B_{22} \oplus B_{20} \\
 B_{26} &= A_{26} \oplus B_{23} \oplus B_{21} \\
 B_{27} &= A_{27} \oplus B_{24} \oplus B_{22} \\
 B_{28} &= A_{28} \oplus B_{25} \oplus B_{23} \\
 B_{29} &= A_{29} \oplus B_{26} \oplus B_{24} \\
 B_{30} &= A_{30} \oplus B_{27} \oplus B_{25} \\
 B_{31} &= A_{31} \oplus B_{28} \oplus B_{26} \\
 B_{32} &= A_{32} \oplus B_{29} \oplus B_{27}
 \end{aligned}$$

Шестнадцатеричный код	D6 DE 71 25
Двоичный код	1100 0110 0001 1011 0101 1110 1101 1110
Максимальная длина постоянной	4 бит
Длина	4 байт (32 бит)

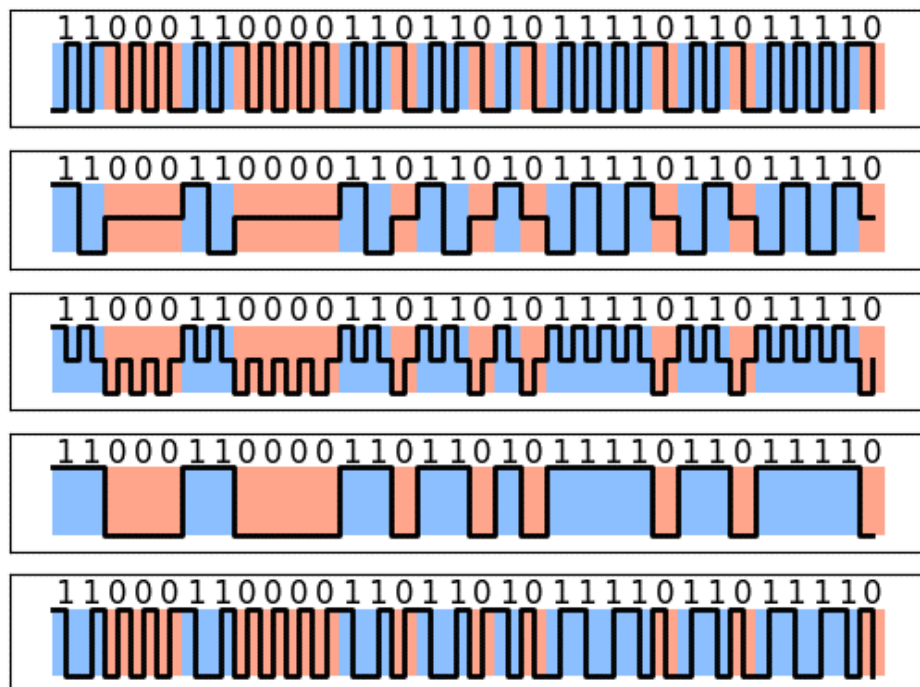


Рисунок 3. Физическое кодирование скремблированного сообщения методами: M2, ANI, RZ, NRZ, DifM2

Пусть  $C = 1$  Гбит/с, тогда для метода NRZ:

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2t} = \frac{C}{2} = 500 \text{ МГц} = f_{\text{в исх}}$$

$$f_{\text{н}} = \frac{1}{2t \cdot 4} = \frac{C}{8} = 125 \text{ МГц} > f_{\text{н исх}} = 62,5 \text{ МГц}$$

$$f_{1/2} = \frac{1}{2}(f_{\text{в}} + f_{\text{н}}) = \frac{1}{2}\left(\frac{C}{2} + \frac{C}{8}\right) = \frac{5}{16} = 312,5 \text{ МГц} > f_{1/2 \text{ исх}} \approx 281 \text{ МГц}$$

$$f_{\text{ср}} = \frac{7f_1 + 10f_2 + 3f_3 + 12f_4}{32} = 250 \text{ МГц} > f_{\text{ср исх}} \approx 203 \text{ МГц}$$

$$S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = \frac{C}{2} - \frac{C}{8} = \frac{3C}{8} = 375 \text{ МГц} < S_{\text{исх}} \approx 438 \text{ МГц}$$

$$F \geq S = 375 \text{ МГц} < F_{\text{исх}} \approx 438 \text{ МГц}$$

### ***Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования***

В конкретном примере при кодировании методом NRZ, получились следующие значения параметров:

Кодирование	$f_{\text{в}}$ , МГц	$f_{\text{н}}$ , МГц	$f_{1/2}$ , МГц	$f_{\text{ср}}$ , МГц	$S$ , МГц	$F$ , МГц
-	500	62,5	281,25	203,125	437,5	437,5
Избыточное 4В/5В	500	166,667	333,333	273,4375	333,333	333,333
Скремблирование	500	125	312,5	250	375	375

В данном случае, для первых 4х байт сообщения, лучшие параметры (высокий низкий порог частот, более близкое  $f_{\text{ср}}$  к  $f_{1/2}$ ) показало избыточное кодирование.

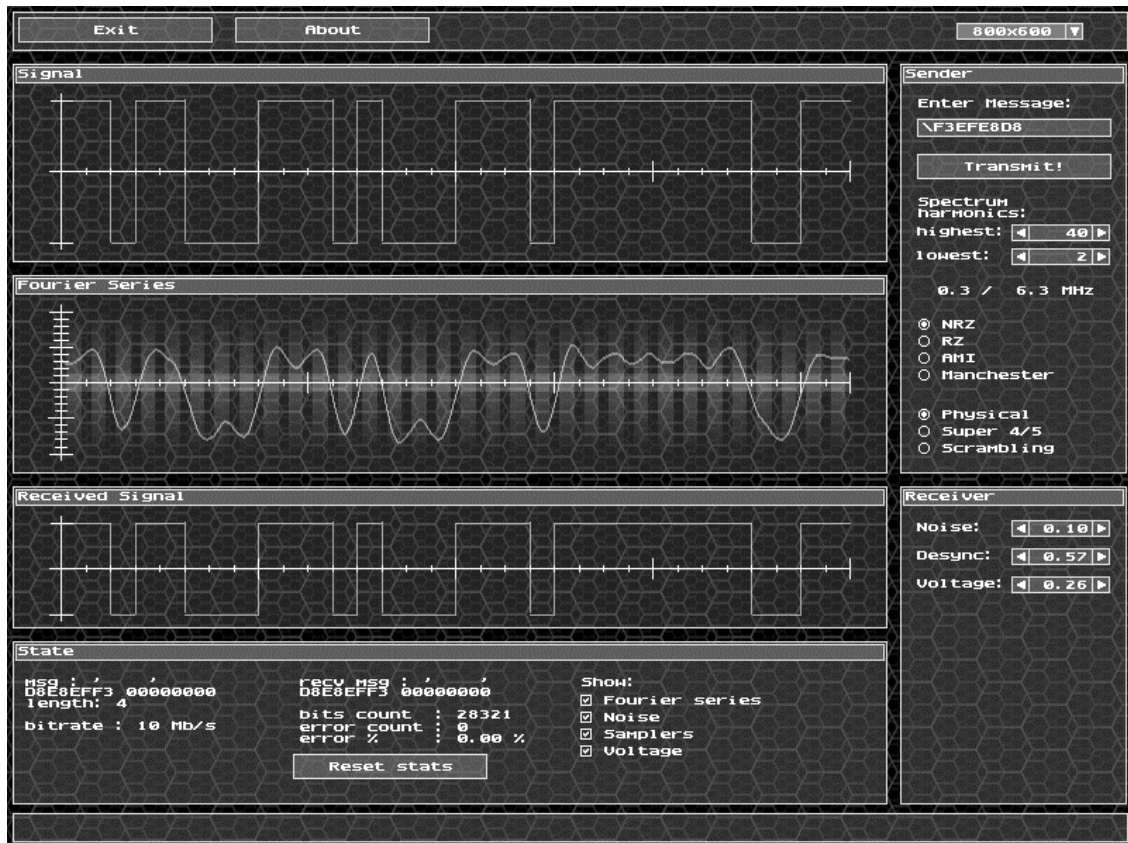


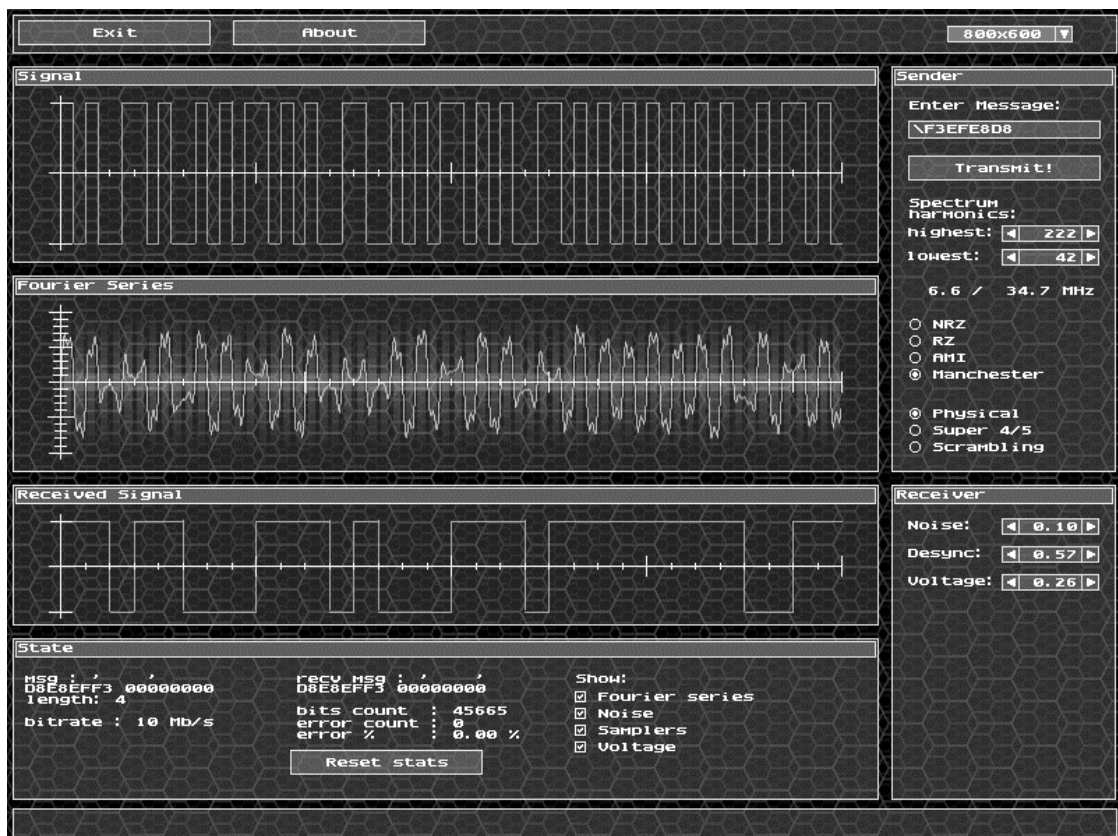
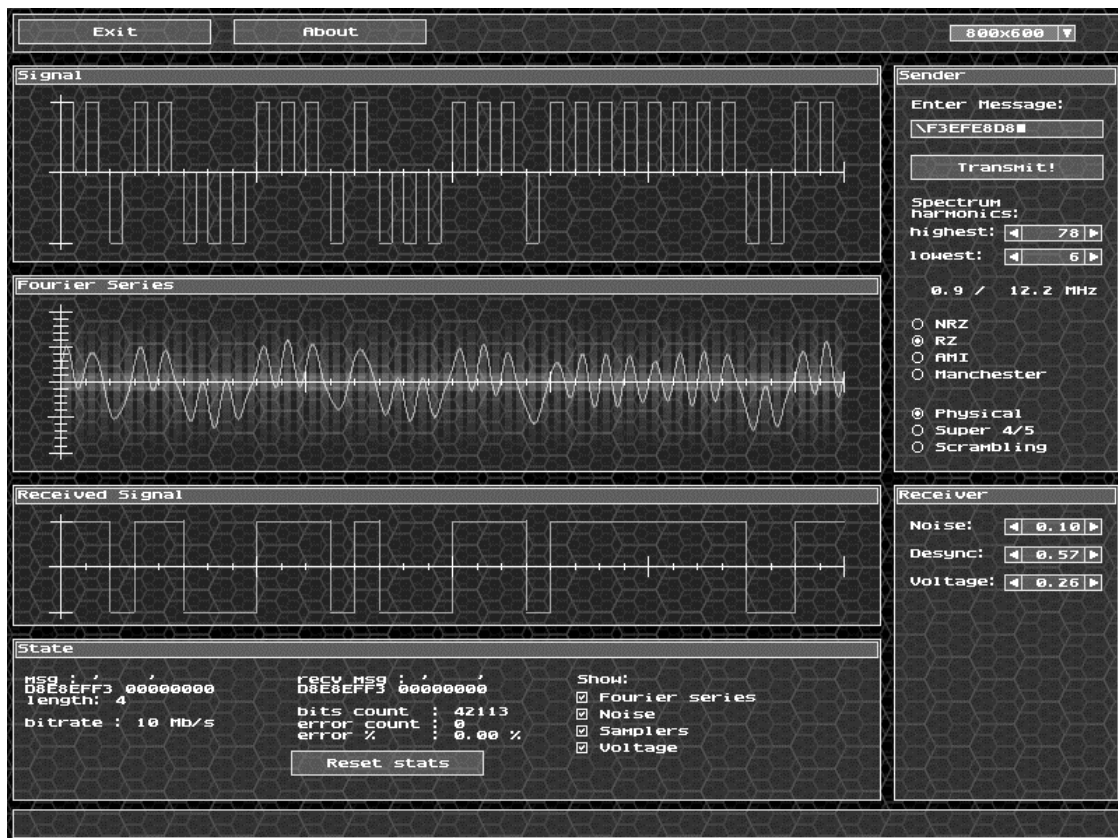
## Часть 2. Передача кодированных данных по каналу связи

### Этап 1. Исходное сообщение

Шестнадцатеричный код	D8 E8 EF F3
Двоичный код	1101 1000 1110 1000 1110 1111 1111 0011
Длина	4 байт (32 бит)

### Этап 2. Скриншоты работы приложения





### Этап 3. Результаты исследований

Шестнадцатеричный код сообщения: F3 EF E8 D8			Метод кодирования				
			NRZ	RZ	M2	4B/5B	Scramb
Полоса пропускания идеального канала связи	Номера гармоник	min	6	38	42	16	8
		max	50	78	78	56	26
	Частоты, МГц	min	0,9	5,9	6,6	2,0	1,3
		max	7,8	12,2	12,2	7,0	4,1
Минимальная полоса пропускания идеального канала связи							
Уровень шума		max	0,11	0,13	0,17	0,05	0,05
Уровень рассинхронизации		max	1,00	0,29	0,51	0,79	0,27
Уровень граничного напряжения		max	0,10	0,11	1,00	0,04	0,05
Процент ошибок при max уровнях и минимальной полосе пропускания КС			3,3	1,8	0,35	0,63	13,85
Уровень шума		ср.	0,10				
Уровень рассинхронизации		ср.	0,57				
Уровень граничного напряжения		ср.	0,26				
Полоса пропускания реального канала связи	Гаромоники	min	2	6	42	8	8
		max	40	78	222	223	169
	Частоты, МГц	min	0,3	0,9	6,6	1,0	1,3
		max	6,3	12,2	34,7	27,9	26,4
Требуемая полоса пропускания реального канала связи			6	11,1	28,1	26,9	25,1

### Этап 4. Анализ полученных результатов и выбор наилучшего способа кодирования исходного сообщения

Сравнение максимальных значений шумов, рассинхронизации и граничного напряжения:

- Уровень шума:
  - Все методы показали низкую устойчивость к шумам, M2 лучше остальных.
- Уровень рассинхронизации:
  - NRZ и NRZ с 4B/5B – сильная устойчивость.
  - M2 – хорошая устойчивость.
  - RZ и NRZ со скремблированием – слабая устойчивость.
- Уровень граничного напряжения:
  - M2 – сильная устойчивость.
  - Остальные методы – слабая устойчивость.

## **Вывод**

Никакой из методов не показал высокую устойчивость к шумам, лучшая устойчивость к рассинхронизации – у метода NRZ, лучшая устойчивость к изменению граничного напряжения – у метода M2. Только у метода M2 есть одновременно хорошая устойчивость к двум факторам.