

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики»

ФАКУЛЬТЕТ ПИИКТ

Учебно-исследовательская работа №1 (УИР 1)
«Кодирование данных в телекоммуникационных системах»
по дисциплине
Телекоммуникационные системы

Выполнил:

Студент группы Р3333

Хасаншин Марат

Айратович

Преподаватель:

Алиев Тауфик Измаилович



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург, 2024

Оглавление

Этап 1. Формирование сообщения	3
Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения	4
Манчестерский код (M2).....	4
Потенциальный код без возврата к нулю (NRZ)	5
Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI).....	6
Биполярный импульсный код (RZ)	7
Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI).....	8
Сравнительный анализ методов физического кодирования	9
Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения	10
Этап 4. Скремблирование исходного сообщения	11
Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования	13
Вывод	14

Этап 1. Формирование сообщения

Исходное сообщение: ХаМА

В шестнадцатеричном коде: D5 E0 CC C0

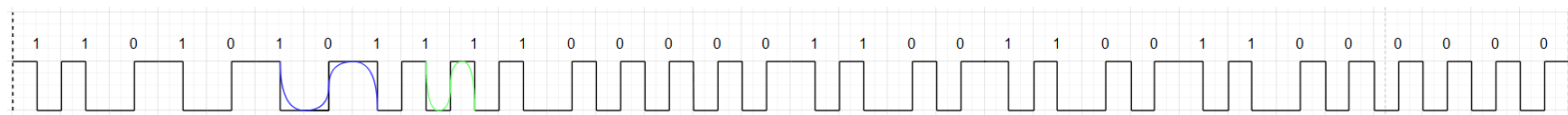
В двоичном коде: 1101 0101 1110 0000 1100 1100 1100 0000

Длина сообщения: 32 бита или 4 байта

Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения

Пропускная способность канала: 10 Мбит/с

Манчестерский код (M2)



$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота: $T = t = 100 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = C = 10 \text{ МГц}$

Низкая частота: $T = 2t = 200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

Спектр: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 10 - 5 = 5 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{\text{ср}} = \frac{\left(19f_0 + \frac{13f_0}{2}\right)}{32} = \frac{51f_0}{64} = 7.96875 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{10+5}{2} = 7.5 \Rightarrow f_{\text{ср}} > f_{\frac{1}{2}}$

следовательно в спектре сигнала преобладают высокие частоты.

Полоса пропускания: $F = 6 \text{ МГц}$

Можно заключить, что манчестерский код является достаточно эффективным, поскольку не содержит постоянной составляющей и обладает свойством самосинхронизации. Однако, по сравнению с NRZ, его спектральные характеристики менее оптимальны, поскольку шире. В то же время, манчестерский код использует всего два уровня потенциала, что делает его реализацию относительно недорогой.

$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота:

$$T = 2t = 200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{Б}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$$

Низкая частота:

$$T = 12t = 1200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{12} = 0.833 \text{ МГц}$$

Спектр:

$$S = f_{\text{B}} - f_{\text{H}} = 5 - 0.833 = 4.167 \text{ МГц}$$

Средняя частота:

Средняя частота: $f_{cp} = \frac{5f_0 + \frac{12f_0}{2} + \frac{4f_0}{4} + \frac{5f_0}{5} + \frac{6f_0}{6}}{32} = \frac{7f_0}{16} = 2.1875 \text{ МГц}$

Середина спектра:

$$f_{\frac{1}{2}} = \frac{5 + 0.833}{2} = 2.9165 \Rightarrow f_{cp} < f_{\frac{1}{2}},$$

следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.

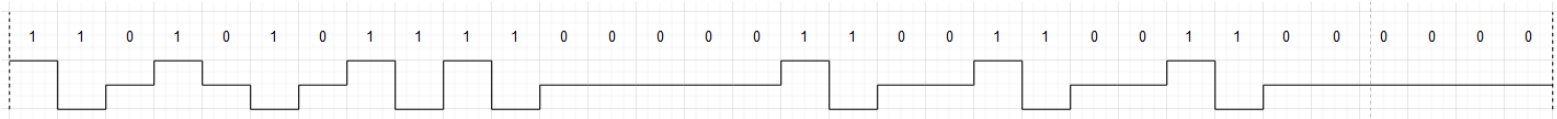
Полоса пропускания:

$$F = 5 \text{ МГц}$$

Можно сделать вывод, что потенциальный код подвержен шумам и не обладает способностью обнаруживать ошибки. Кроме того, NRZ имеет постоянную составляющую и не поддерживает синхронизацию. Однако его преимущество заключается в относительно узком спектре сигнала.

Потенциальный код также отличается простотой реализации и обеспечивает неплохую скорость передачи данных, хотя в классической форме он редко используется на практике.

Биполярное кодирование с альтернативной инверсией (AMI)



$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота: $T = 2t = 200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

Низкая частота: $T = 12t = 1200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{12} = 0.833 \text{ МГц}$

Спектр: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 5 - 0.833 = 4.167 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{\text{ср}} = \frac{10f_0 + \frac{11f_0}{5} + \frac{9f_0}{3} + \frac{2f_0}{4}}{32} = \frac{157f_0}{320} = 2.453 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{5 + 0.833}{2} = 2.9165 \text{ МГц} \Rightarrow f_{\text{ср}} < f_{\frac{1}{2}}$

следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.

Полоса пропускания: $F = 4.5 \text{ МГц}$

Из этого следует, что код AMI не подходит для нашего сообщения, так как обладает широким спектром, подвержен постоянной составляющей, не обеспечивает самосинхронизацию и использует три уровня потенциала. Единственное его преимущество в данном случае – возможность обнаружения ошибок за счёт чередования единиц.

Биполярный импульсный код (RZ)

п



$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота: $T = t = 100 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = C = 10 \text{ МГц}$

Низкая частота: $T = 2.5t = 250 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2.5} = 4 \text{ МГц}$

Спектр: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 10 - 4 = 6 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{\text{ср}} = \frac{17f_0 + \frac{15f_0}{5}}{32} = \frac{5f_0}{8} = 6.25 \text{ МГц}$

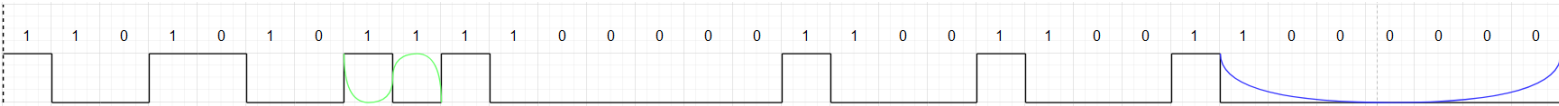
Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{10 + 4}{2} = 7 \text{ МГц} \Rightarrow f_{\text{ср}} < f_{\frac{1}{2}}$

следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.

Полоса пропускания: $F = 7 \text{ МГц}$

Из этого можно сделать вывод, что код RZ, несмотря на его самосинхронизирующие свойства и отсутствие постоянной составляющей, имеет три уровня потенциала. Это усложняет его реализацию и приводит к широкой полосе сигнала.

Потенциальный код с инверсией при единице (NRZI)



$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота: $T = 2t = 200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

Низкая частота: $T = 14t = 1400 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{14} = 0.71 \text{ МГц}$

Спектр: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 5 - 0.71 = 4.29 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{\text{ср}} = \frac{7f_0 + \frac{6f_0}{2} + \frac{6f_0}{3} + \frac{6f_0}{6} + \frac{7f_0}{7}}{32} = \frac{7f_0}{16} = 2.1875 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{5 + 0.71}{2} = 2.855 \Rightarrow f_{\text{ср}} < f_{\frac{1}{2}}$

следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.

Полоса пропускания: $F = 4 \text{ МГц}$

Неплохой способ передачи сообщения, но постоянные составляющие, отсутствие самосинхронизации и спектр шире, чем у NRZ, не делает этот метод полезным для нас.

Сравнительный анализ методов физического кодирования

	Спектр сигнала	Самосинхронизация	Постоянная составляющая	Обнаружение ошибок	Стоимость реализации
M2	$f_0 = C$	Есть	Нет	Нет	2
NRZ	$f_0 = \frac{C}{2}$	Нет	Есть	Нет	2
AMI	$f_0 = \frac{C}{2}$	Нет	Есть	Есть	3
RZ	$f_0 = C$	Есть	Нет	Есть	3
NRZI	$f_0 = \frac{C}{2}$	Нет	Есть	Нет	2

Этап 3. Логическое (избыточное) кодирование исходного сообщения

Исходное сообщение: A = 1101 0101 1110 0000 1100 1100 1100 0000

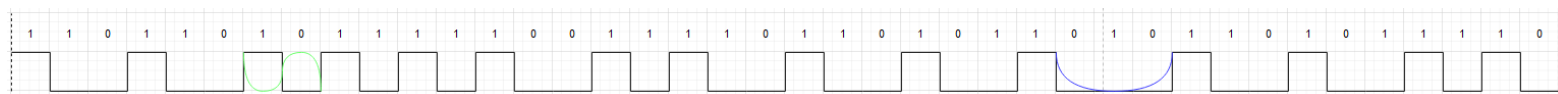
Результат: B = 1101 1010 1111 1001 1110 1101 0110 1011 0101 1110

В шестнадцатеричной системе: DA F9 ED 6B 5E

Длина нового сообщения: 40 битов или 5 байтов

Избыточность: $\frac{5-4}{4} = 0.25$ (25%)

NRZI, модифицированный с помощью избыточного кодирования



$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота: $T = 2t = 200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

Низкая частота: $T = 6t = 600 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{6} = 1.67 \text{ МГц}$

Спектр: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 5 - 1.67 = 3.33 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{\text{ср}} = \frac{21f_0 + \frac{16f_0}{2} + \frac{3f_0}{3}}{40} = \frac{3f_0}{4} = 3.75 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{5 + 1.67}{2} = 3.335 \Rightarrow f_{\text{ср}} > f_{\frac{1}{2}}$

следовательно в спектре сигнала преобладают высокие частоты.

Полоса пропускания: $F = 4 \text{ МГц}$

Поскольку избыточное кодирование используется для модификации физического кодирования, рассмотрим, как оно повлияло на NRZI. Спектр сигнала уменьшился и появилась возможность обнаруживать ошибки в передаче данных за счёт запрещённых кодировок.

Этап 4. Скремблирование исходного сообщения

Исходное сообщение: $A = 1101\ 0101\ 1110\ 0000\ 1100\ 1100\ 1100\ 0000$

Полином для скремблирования: $B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5}$

Выбор обосновывается тем, что первые три символа это 110, поэтому не будет постоянной составляющей и такой выбор выгоден для нас.

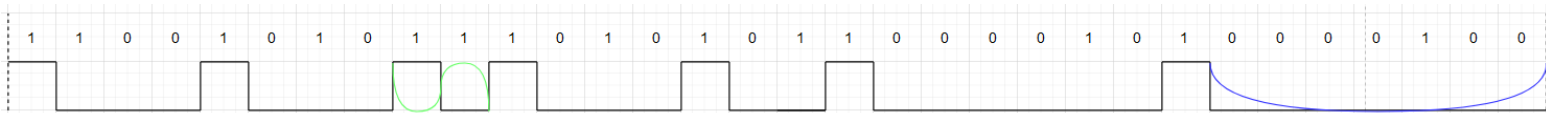
$$\begin{aligned} B_1 &= A_1 = 1 \\ B_2 &= A_2 = 1 \\ B_3 &= A_3 = 0 \\ B_4 &= A_4 \oplus B_1 = 0 \\ B_5 &= A_5 \oplus B_2 = 1 \\ B_6 &= A_6 \oplus B_3 \oplus B_1 = 0 \\ B_7 &= A_7 \oplus B_4 \oplus B_2 = 1 \\ B_8 &= A_8 \oplus B_5 \oplus B_3 = 0 \\ B_9 &= A_9 \oplus B_6 \oplus B_4 = 1 \\ B_{10} &= A_{10} \oplus B_7 \oplus B_5 = 1 \\ B_{11} &= A_{11} \oplus B_8 \oplus B_6 = 1 \\ B_{12} &= A_{12} \oplus B_9 \oplus B_7 = 0 \\ B_{13} &= A_{13} \oplus B_{10} \oplus B_8 = 1 \\ B_{14} &= A_{14} \oplus B_{11} \oplus B_9 = 0 \\ B_{15} &= A_{15} \oplus B_{12} \oplus B_{10} = 1 \\ B_{16} &= A_{16} \oplus B_{13} \oplus B_{11} = 0 \\ B_{17} &= A_{17} \oplus B_{14} \oplus B_{12} = 1 \\ B_{18} &= A_{18} \oplus B_{15} \oplus B_{13} = 1 \\ B_{19} &= A_{19} \oplus B_{16} \oplus B_{14} = 0 \\ B_{20} &= A_{20} \oplus B_{17} \oplus B_{15} = 0 \\ B_{21} &= A_{21} \oplus B_{18} \oplus B_{16} = 0 \\ B_{22} &= A_{22} \oplus B_{19} \oplus B_{17} = 0 \\ B_{23} &= A_{23} \oplus B_{20} \oplus B_{18} = 1 \\ B_{24} &= A_{24} \oplus B_{21} \oplus B_{19} = 0 \\ B_{25} &= A_{25} \oplus B_{22} \oplus B_{20} = 1 \\ B_{26} &= A_{26} \oplus B_{23} \oplus B_{21} = 0 \\ B_{27} &= A_{27} \oplus B_{24} \oplus B_{22} = 0 \\ B_{28} &= A_{28} \oplus B_{25} \oplus B_{23} = 0 \\ B_{29} &= A_{29} \oplus B_{26} \oplus B_{24} = 0 \\ B_{30} &= A_{30} \oplus B_{27} \oplus B_{25} = 1 \\ B_{31} &= A_{31} \oplus B_{28} \oplus B_{26} = 0 \end{aligned}$$

$$B_{32} = A_{32} \oplus B_{29} \oplus B_{27} = 0$$

Результат: 1100 1010 1110 1010 1100 0010 1000 0100

В шестнадцатеричной системе: CA EA C2 84

NRZI, модифицированный с помощью скремблирования



$$C = 10 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \Rightarrow t = 100 \text{ нс}$$

Высокая частота: $T = 2t = 200 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{2} = 5 \text{ МГц}$

Низкая частота: $T = 14t = 1400 \text{ нс} \Rightarrow f_{\text{н}} = \frac{1}{T} = \frac{C}{14} = 0.71 \text{ МГц}$

Спектр: $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 5 - 0.71 = 4.29 \text{ МГц}$

Средняя частота: $f_{\text{ср}} = \frac{\left(8f_0 + \frac{2f_0}{2} + \frac{9f_0}{3} + \frac{6f_0}{6} + \frac{7f_0}{7}\right)}{32} = \frac{7f_0}{16}$
 $= 2.1875 \text{ МГц}$

Середина спектра: $f_{\frac{1}{2}} = \frac{5 + 0.71}{2} = 2.855 \Rightarrow f_{\text{ср}} < f_{\frac{1}{2}}$

следовательно в спектре сигнала преобладают низкие частоты.

Полоса пропускания: $F = 5 \text{ МГц}$

Данный способ скремблирования не повлиял на спектр.

Этап 5. Сравнительный анализ результатов кодирования

	Спектр сигнала	Самосинхронизация	Постоянная составляющая	Обнаружение ошибок	Стоимость реализация
Избыт.	$f_0 = C$	Есть	Нет	Есть	2
Скрэмбл.	$f_0 = C$	Есть	Нет	Нет	2

Таким образом, можно сделать вывод, что избыточное кодирование для модификации NRZI значительно эффективнее, чем скремблирование. Скремблирование не приносит практической пользы для манчестерского кодирования и, в частности, для нашего сообщения, а также требует значительных ресурсов для реализации алгоритмов скремблирования и дескремблирования. Избыточное кодирование, напротив, реализуется очень просто и позволяет обнаруживать ошибки благодаря запрещённым кодировкам.

Вывод

В ходе выполнения данной лабораторной работы мы изучили основные методы кодирования сообщений. На основе нашего варианта сообщения мы определили, что манчестерское и RZ-кодирования являются подходящими для нашей задачи. Оба обеспечивают хорошую скорость передачи, не имеют постоянных составляющих и просты в реализации. Кроме того, RZ позволяет обнаруживать ошибки благодаря возврату сигнала к нулевому потенциалу.

Изучив логическое кодирование, я отметил, что оно существенно улучшает передачу данных. Однако применение скремблирования к манчестерскому коду не дало полезных результатов. В то же время избыточное кодирование добавляет возможность обнаружения ошибок. Но из-за 25% избыточности логическое кодирование снижает скорость передачи, что делает его излишним для нашего сообщения. Поэтому оптимальным решением будет передавать его с использованием обычного манчестерского кода.

Если бы мы модифицировали, например, код NRZ с помощью скремблирования, это позволило бы устранить постоянные составляющие, что сделало бы NRZ более эффективным способом кодирования.