

## Учебно-исследовательская работа

### **«Методы кодирования в компьютерных сетях»**

#### **1. Цель и краткая характеристика работы**

Цель работы: изучение методов физического и логического кодирования, используемых в цифровых сетях передачи данных.

В процессе выполнения учебно-исследовательской работы (УИР) необходимо:

- выполнить физическое 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, а также логическое кодирование для одного из них;
- рассчитать **частотные характеристики** сигналов, формируемых для передачи исходного сообщения, и 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 исходного сообщения.

#### **2. Этапы выполнения работы**

##### **Этап 1. Формирование сообщения**

В качестве исходного сообщения, подлежащего передаче, используются **инициалы студента (ФИО)**, выполняющего задание. Для цифрового представления сообщения используются **шестнадцатеричные коды** в соответствии с кодировочной таблицей (см. таблицу 1).

Записать исходное сообщение в шестнадцатеричном и двоичном кодах. Определить длину сообщения.

###### **Пример:**

исходное сообщение:	ФИО
в шестнадцатеричном коде:	D4 C8 CE
в двоичном коде:	11010100 11001000 11001110
длина сообщения:	3 байта (24 бит)

##### **Этап 2. Физическое кодирование исходного сообщения**

Выполнить физическое кодирование исходного сообщения с использованием **манчестерского** кодирования и ещё любых трёх способов кодирования.

Результаты кодирования изобразить в виде **временных диаграмм**.

Полагая, что пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с, для каждого способа кодирования определить:

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания канала связи, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Провести *сравнительный анализ полученных результатов* для рассмотренных способов кодирования, выявить *достоинства и недостатки*. Определить, *какие частоты превалируют в спектре передаваемого сообщения*. На основе результатов анализа выбрать *наилучший способ кодирования* для передачи исходного сообщения и обосновать этот выбор.

Таблица 1

Символ	Код								
А	C0	Р	D0	а	E0	р	F0	пробел	20
Б	C1	С	D1	б	E1	с	F1	,	2C
В	C2	Т	D2	в	E2	т	F2	.	2E
Г	C3	У	D3	г	E3	у	F3	0	30
Д	C4	Ф	D4	д	E4	ф	F4	1	31
Е	C5	Х	D5	е	E5	х	F5	2	32
Ж	C6	Ц	D6	ж	E6	ц	F6	3	33
З	C7	Ч	D7	з	E7	ч	F7	4	34
И	C8	Ш	D8	и	E8	ш	F8	5	35
Й	C9	Щ	D9	й	E9	щ	F9	6	36
К	CA	Ь	DA	к	EA	ъ	FA	7	37
Л	CB	Ы	DB	л	EB	ы	FB	8	38
М	CC	Ь	DC	м	EC	ъ	FC	9	39
Н	CD	Э	DD	н	ED	э	FD		
О	CE	Ю	DE	о	EE	ю	FE		
П	CF	Я	DF	п	EF	я	FF		

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

Выполнить логическое кодирование исходного сообщения по методу 4B/5B для **одного из рассмотренных выше методов физического кодирования**, обосновав его выбор. Представить в двоичном и шестнадцатеричном кодах полученное в результате логического кодирования сообщение.

Определить длину нового сообщения и его избыточность.

Результаты кодирования изобразить в виде временной диаграммы.

Определить (полагая, что пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с или 1 Гбит/с):

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

**Сравнить полученные значения со значениями, рассчитанными для исходного физического кода.**

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

Выбрать из представленных ниже полиномов или *предложить другой полином* для скремблирования исходного сообщения и обосновать этот выбор:

$$B_i = A_i \oplus B_{i-3} \oplus B_{i-5};$$

$$B_i = A_i \oplus B_{i-5} \oplus B_{i-7}.$$

Выполнить скремблирование исходного сообщения для выбранного на этапе 3 метода физического кодирования.

Записать полученное скремблированное сообщение в двоичном и шестнадцатеричном кодах и изобразить в виде временных диаграмм.

Определить (полагая, что пропускная способность канала связи равна 100 Мбит/с или 1 Гбит/с):

- верхнюю и нижнюю границы частот в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- среднее значение частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосу пропускания, необходимую для качественной передачи данного сообщения.

Сравнить полученные значения со значениями, рассчитанными для исходного физического кода.

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

Провести обобщенный сравнительный анализ результатов, полученных на этапах 2, 3 и 4, и представить результаты сравнения в виде сводной таблицы.

### **3. Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с постановкой задачи и изучить необходимые теоретические сведения (файл «ДЗ\_Кодирование.ppsx» – презентация и файл ДЗ\_Конспект\_Кодирование.pdf – комментарии к презентации).

2. Сформировать исходное сообщение в соответствии с этапом 1.

3. Выполнить физическое кодирование исходного сообщения не менее, чем тремя способами, включая, в качестве обязательного, манчестерское кодирование. Рассчитать частотные характеристики передаваемого сигнала для рассматриваемых способов кодирования и определить требуемую для эффективной передачи сообщения пропускную способность канала связи (этап 2).

Пример частотного анализа для метода кодирования NRZ представлен в **ПРИЛОЖЕНИИ**.

4. Выполнить логическое кодирование исходного сообщения для одного из методов физического кодирования, используя избыточное кодирование 4B/5B и скремблирование. Рассчитать частотные характеристики передаваемого сигнала для рассматриваемых способов логического кодирования и определить требуемую для эффективной передачи сообщения пропускную способность канала связи. Сравнить полученные значения со значениями, рассчитанными для физического кодирования (этапы 3 и 4).

5. Выполнить сравнительный анализ рассмотренных способов кодирования и выбрать наилучший способ для передачи исходного сообщения (этап 5).

6. Подготовить и защитить отчёт по выполненной работе.

### **4. Требования к содержанию отчёта**

Отчёт в электронном виде должен содержать следующие пункты.

1. Исходное сообщение и его представление в шестнадцатеричном и двоичном виде с указанием длины в байтах и битах.

2. Временные диаграммы для рассматриваемых методов физического (включая манчестерское) и логического кодирования исходного сообщения.

Рассчитанные для каждого метода кодирования и сведенные в единую таблицу значения:

- верхней и нижней границы частот в передаваемом сообщении и спектра сигнала;
- средней частоты в спектре передаваемого сигнала;
- полосы пропускания, необходимой для качественной передачи данного сообщения.

3. Результаты сравнительного анализа рассмотренных методов физического кодирования (достоинства и недостатки), представленные в виде таблицы, и обоснованный выбор двух лучших методов физического кодирования для передачи исходного сообщения.

4. Результаты логического кодирования исходного сообщения по методу 4B/5B для одного из методов физического кодирования, представленные в двоичном и шестнадцатеричном кодах (с указанием длины нового сообщения и его избыточности) и в виде временной диаграммы. Рассчитанные для метода 4B/5B верхняя и нижняя границы частот и требуемая полоса пропускания, и их сравнение со значениями, полученными ранее для соответствующего физического метода кодирования.

5. Вид полинома, используемого для скремблирования исходного сообщения, и обоснование его выбора. Последовательность получения разрядов скремблированного сообщения. Результат скремблирования, записанный в виде скремблированного сообщения в двоичном и шестнадцатеричном кодах, и временная диаграмма. Рассчитанные значения для скремблированного сообщения верхней и нижней частот и требуемой полосы пропускания, и их сравнение со значениями, полученными ранее для соответствующего физического метода кодирования.

6. Краткие выводы с обоснованием наилучшего способа кодирования для передачи исходного сообщения.

## 5. Контрольные вопросы для самопроверки

При подготовке к защите домашнего задания и компьютерному тестированию следует руководствоваться следующим примерным перечнем вопросов и задач для самостоятельной проработки.

1. В чем состоит удобство вычисления затухания сигнала в дБ?
2. Во сколько раз уменьшится мощность сигнала на расстоянии 100 м, если его ослабление равно:  $d=10$  дБ/км?
3. В чем отличие спектра от полосы пропускания?
4. Какой спектр частот характерен для дискретных сигналов?
5. При каких условиях обеспечивается качественная передача сигнала?
6. Какую полосу пропускания имеет телефонный канал тональной частоты?
7. По каким каналам можно передавать дискретные сигналы в их естественном виде – без модуляции (в первичной полосе частот)?
8. Что такое модуляция и для чего она нужна?
9. Чем манипуляция отличается от модуляции?
10. Пояснить принцип амплитудной, частотной и фазовой модуляции.
11. Что такое ИКМ?
12. Пояснить различие между АИМ и ИКМ.
13. Показать, за счет чего обеспечивается скорость передачи данных в 64 кбит/с при ИКМ.
14. Пояснить принцип адаптивной разностной (дифференциальной) ИКМ.

15. От чего зависит пропускная способность канала связи?
16. В чём отличие пропускной способности от скорости передачи данных?
17. Как называется процесс представления непрерывных (дискретных) данных в виде физических сигналов для их передачи по каналам связи?
18. От чего зависит спектр результирующего модулированного сигнала?
19. Как спектр результирующего модулированного сигнала зависит от скорости модуляции (скорости передачи данных)? Ответ пояснить.
20. Перечислить требования к методам цифрового кодирования.
21. В чём отличие импульсного кодирования от потенциального?
22. Какие методы кодирования относятся к потенциальным (импульсным) методам?
23. При каком методе кодирования скорость модуляции (бод) и скорость передачи данных (бит в секунду) совпадают?
24. Как изменяется спектр сигнала при кодировании методом NRZ, если в передаваемом сообщении появляется длинная последовательность нулей или единиц?
25. В каком случае при кодировании методом NRZ в спектре сигнала отсутствует постоянная составляющая?
26. Достоинства и недостатки методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2, ....
27. У какого из известных вам методов верхняя граница частот имеет наименьшее значение?
28. Нарисовать диаграммы методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2... для сообщения, заданного в шестнадцатеричном коде: C5.
29. Определить частоту основной гармоники для сообщения, заданного в шестнадцатеричном коде: C5, при использовании методов кодирования NRZ, RZ, AMI, MLT-3, Манчестер 2....
30. Как битовая скорость связана со спектром результирующего сигнала?
31. Какие методы кодирования относятся к самосинхронизирующимся?
32. Почему проблема синхронизации в компьютерных сетях решается сложнее, чем при обмене данными между компьютером и принтером?
33. От чего зависит стоимость реализации метода кодирования?
34. Что такое постоянная составляющая спектра сигнала и почему она нежелательна?
35. Какие методы кодирования имеют постоянную составляющую в спектре сигнала.

36. Перечислить методы логического кодирования.
37. Для чего используются методы логического кодирования?
38. Пояснить суть методов логического кодирования 4B/5B, 5B/6B, 8B/10B, 8B/6T.
39. Что такое «запрещенные коды» в методах избыточного кодирования?
40. Какой метод избыточного кодирования обладает наибольшей (наименьшей) избыточностью и почему?
41. Сколько избыточных кодов содержит метод кодирования 4B/5B (5B/6B, 8B/10B, 8B/6T).
42. Основной недостаток методов избыточного кодирования.
43. В чем суть скремблирования?
44. Достоинства и недостатки скремблирования.

## ПРИЛОЖЕНИЕ.

### Частотный анализ передаваемых сообщений

Подход, позволяющий выполнить частотный анализ передаваемого сообщения и *приблизенно оценить основные частотные характеристики сигнала* при заданном методе кодирования, иллюстрируется на примере метода потенциального кодирования NRZ. В качестве частотных характеристик сигнала определяются:

- **верхняя и нижняя границы частот** в передаваемом сообщении и спектр сигнала;
- **среднее значение частоты** в спектре передаваемого сигнала;
- **полоса пропускания**, необходимая для качественной передачи данного сообщения.

Метод потенциального кодирования *без возврата к нулю* – NRZ (Non Return to Zero) является наиболее простым и очевидным методом кодирования двоичных сообщений, в котором значению бита «1» соответствует высокий уровень потенциала, а значению «0» – низкий.

Ниже на рисунке представлена временная диаграмма, отражающая кодирование заданного двоичного сообщения по методу NRZ.



Для определения **верхней границы частот** необходимо найти наиболее высокочастотную составляющую спектра в передаваемом сообщении. В коде NRZ высокочастотная составляющая образуется при передаче *челедующихся* значений 0 и 1, при этом период синусоиды (гармонического сигнала), используемой для передачи прямоугольных сигналов 0 и 1, будет равен удвоенной длительности битового интервала  $t$ :  $T = 2t$ , где  $t$  определяется как величина, обратная значению скорости передачи данных (пропускной способности канала):  $t = 1/C$ . Отсюда верхняя граница частот будет равна  $f_B = 1/T = C/2$ . При пропускной способности канала связи  $C = 1$  Мбит/с частота основной гармоники равна  $f_B = 500$  кГц.

В общем случае, при кодировании любого сообщения по методу NRZ наибольшая (верхняя) частота достигается при передаче *челедующихся* значений 0 и 1, а наименьшая (нижняя) – при передаче длинных (в пределе бесконечных) последовательностей нулей и единиц, что делает нижнюю границу частот близкой и в пределе равной нулю:  $f_H = 0$ . Следовательно, в предельном случае **спектр**  $S = f_B - f_H = f_B = C/2$ .

С другой стороны, при передаче *конкретного сообщения* **нижняя частота** всегда больше нуля и зависит от максимальной длины

последовательностей нулей или единиц, при которой не меняется уровень потенциала. В этом случае для расчета нижней границы частот необходимо в коде передаваемого сообщения найти наиболее длинную последовательность единиц или нулей. В нашем случае низкочастотная составляющая образуется при передаче четырёх последовательных единиц и четырёх последовательных нулей. Период синусоидального сигнала при передаче каждой такой последовательности равен 8 битовым интервалам и нижняя граница частот соответственно будет равна:  $f_{\text{н}} = 1/8 t = C/8$ . Тогда ширина спектра при передаче данного сообщения кодом NRZ равна  $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 0,375C = 375 \text{ кГц}$

Отметим, что полученные значения нижней границы частот и, соответственно, спектра справедливы именно для этого конкретного сообщения. При передаче других сообщений эти значения будут другими. Таким образом, можно утверждать, что при кодировании по методу NRZ ширина спектра сигнала  $S < C/2$ .

**Среднее значение частоты** передаваемого сообщения находится в интервале  $(f_{\text{н}}; f_{\text{в}})$  и показывает, какие частоты (низкие или высокие) превалируют в спектре передаваемого сигнала.

Для приблизительного (оценочного) расчёта среднего значения частоты передаваемого сообщения необходимо для каждого битового интервала (а в некоторых случаях для половины битового интервала) определить соответствующую частоту сигнала, просуммировать их и разделить на количество битовых интервалов. В нашем случае: частота основной гармоники  $f_0 = C/2$  соответствует 7-ми битовым интервалам, 4-м битовым интервалам соответствует частота вдвое меньшая, чем частота основной гармоники, т.е.  $f_0/2$ , и 8-ми битовым интервалам соответствует частота  $f_0/4$ .

Тогда средняя частота рассматриваемого сообщения равна:

$$f_{\text{ср}} = (7f_0 + 4f_0/2 + 8f_0/4)/19 \approx 0,58f_0 = 290 \text{ кГц}.$$

Поскольку середине спектра рассматриваемого сообщения соответствует частота  $f_{1/2} = (f_{\text{н}} + f_{\text{в}})/2 = 0,625f_0 = 312,5 \text{ кГц}$ , можно констатировать, что в спектре сигнала незначительно преобладают низкие частоты:  $f_{\text{ср}} < f_{1/2}$ .

Для качественной передачи двоичных сигналов по реальному каналу связи и возможности их распознавания на приёмной стороне с минимальным количеством ошибок, желательно на передающей стороне формировать сигналы, приближающиеся к прямоугольной форме. Однако, спектр таких сигналов оказывается слишком большим. В то же время, для качественного распознавания сигнала на приемной стороне при передаче чередующихся значений 0 и 1 достаточно сформировать сигнал, содержащий первые 4 гармоники (поскольку более высокочастотные гармоники оказывают незначительное влияние на результирующий сигнал) с частотами  $f_0 = C/2$ ,  $f_1 = 3f_0$ ,  $f_2 = 5f_0$ ,  $f_3 = 7f_0$ . В этом случае верхняя граница частот  $f_{\text{в}} = 7f_0$ , а

ширина спектра сигнала при передаче рассматриваемого сообщения соответственно будет равна  $S = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} = 7f_0 - f_0 / 4 = 6,75f_0 = 3,375 \text{ МГц}$ .

Полоса пропускания  $F$ , необходимая для передачи данного сообщения, должна быть больше спектра  $S$ , например,  $F = 4 \text{ МГц}$ .

Основное достоинство кода NRZ - малая ширина спектра сигнала, которая меньше, чем у других методов кодирования:  $S = f_{\text{в}} = 0,5C \text{ Гц}$ , где  $C$  – скорость передачи данных [бит/с].

**Замечание.** Следует иметь в виду, что рассмотренный выше подход позволяет лишь *приближенно оценить основные частотные характеристики сигнала*, используемого для передачи некоторого сообщения, и выполнить сравнение разных методов кодирования, в частности, по таким показателям качества как спектр сигнала и требуемая минимальная полоса пропускания канала связи. Более точный и качественный спектральный анализ реализуется на основе разложения передаваемого сигнала в ряд Фурье.