



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Радиоэлектроника»

Методические указания
к практической работе
«Расчет информационных характеристик
источников сообщений и каналов связи»
по дисциплине

«Общая теория связи»

Авторы
Назарова О. Ю.,
Звездина М. Ю.

Ростов-на-Дону, 2019



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной форм обучения направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Радиоэлектроника»

Назарова О.Ю.,

д.ф.-м.н., профессор кафедры
«Радиоэлектроника» Звездина М.Ю.



Оглавление

Цель работы.....	4
1. Расчет информационных характеристик дискретного источника сообщений	4
2. Расчет информационных характеристик примитивного и статистическою кодов	5
3. Расчет информационных характеристик дискретного канала	8
Типовые задачи для определения уровней обученности .	10
Базовый уровень (уровень 1).....	10
Продвинутый уровень 1 (уровень 2)	11
Продвинутый уровень 2 (уровень 3)	11
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	12

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Прививать умения и навыки расчета информационных характеристик источников сообщений и каналов связи, применять методы статистического кодирования источников дискретных сообщений

1. РАСЧЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТНОГО ИСТОЧНИКА СООБЩЕНИЙ

Задача

Источник дискретных сообщений с объем алфавита $m = 6$ символов формирует сообщения со скоростью $V = 100$ симв/сек. Вероятности появления событий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Символ	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
p_k	1/2	1/8	1/8	1/8	1/16	1/16

Рассчитать информационные характеристики источника дискретных сообщений и канала связи с помехой, если вероятность ошибки $q = 0,15$.

Решение

Для источника дискретных сообщений с объемом алфавита m при известных и независимых вероятностях появления символов в сообщении $p(a_i)$ энтропия источника $H(A)$ определяется по формуле

$$H(A) = \sum_{i=1}^m p(a_i) \log_2 \frac{1}{p(a_i)} = \frac{1}{2} \cdot \log_2 \frac{1}{1/2} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{1/8} + \frac{1}{8} \cdot \log_2 \frac{1}{1/8} + \frac{1}{8} \cdot \log_2 \frac{1}{1/8} + \frac{1}{16} \cdot \log_2 \frac{1}{1/16} + \frac{1}{16} \cdot \log_2 \frac{1}{1/16} = 2,125 \text{ бит} / \text{сообщ.}$$

Максимально возможная энтропия H_{\max} для данного источника с объем алфавита $m = 6$ (при равновероятных появлениях событий) определяется

$$H_{\max} = \log_2 m = \log_2 6 = 2,584 \text{ бит} / \text{сообщ.}$$

Поскольку энтропия источника меньше максимально возмож-

ной, то *избыточность* источника будет

$$R = 1 - \frac{H(A)}{H_{\max}} = 1 - \frac{2,125}{2,584} = 0,178 \approx 0,2$$

При известной скорости формирования символов V и энтропии $H(A)$, *производительность* источника h находится как

$$h = V \cdot H(A) = 100 \cdot 2,125 = 212,5 \text{ бит} / \text{с}$$

2. РАСЧЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМИТИВНОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО КОДОВ

Поскольку у источника 6 сообщений, а канал двоичный, то есть по нему могут передаваться два варианта сигнала 0 и 1, то каждое сообщение можно передать набором нулей и единиц. Число разрядов в кодовой комбинации найдем из соотношения $m \leq 2^n$, где n - число двоичных разрядов. $6 \leq 2^n$. Данное неравенство справедливо при $n = 3$. С помощью трехразрядных кодовых комбинаций пронумеруем сообщения, а номера запишем в двоичном коде табл. 2. Такое кодирование получило название — примитивное кодирование.

Таблица 2

а) Проведём расчет информационных характеристик примитивного кода:

- среднее количество разрядов, приходящееся на один символ источника $\bar{n}_{pk} = 3$.

- количество информации, приходящееся на один символ кода:

Сообщения	Код
a_1	000
a_2	001
a_3	010
a_4	011
a_5	100
a_6	101

$$\bar{H}_{pk}(x) = \frac{H(x)}{\bar{n}_{pk}} = \frac{2,125}{3} = 0,71 \text{ бит} / \text{разр.}$$

- максимально возможное количество информации в одном разряде двоичного кода

$$\bar{H}_{\max} = \log_2 2 = 1 \text{ бит} / \text{разр.}$$

- избыточность примитивного кода:

$$R = 1 - \frac{\bar{H}_{pk}(x)}{H_{\max}} = 1 - \frac{0,71}{1} = 0,29 \approx 0,3$$

б) Проведем статистическое кодирование и расчет ин-

формационных
характеристик кодов.

Экономное статистическое кодирование проводим по методу Хаффмена и Шеннона-Фано. Суть кодирования по методу Хаффмена показана на рис. 1 и состоит в следующем. Все сообщения источника записываются в столбец в порядке убывания вероятности их появления. На первом шаге два сообщения с минимальной вероятностью появления объединяют в одно с суммарной вероятностью. Верхней ветви приписываем значение **0** в качестве последнего символа кода, а нижней - **1**. В результате объединения получаем алфавит, состоящий из $m-1 = 6 - 1 = 5$ сообщений. На втором шаге объединяют два символа полученного алфавита с минимальными вероятностями в одно сообщение с суммарной вероятностью. Верхней ветви приписывают значение **0** в качестве предпоследнего символа, а нижней **1**. В результате объединения

получают алфавит из 4 сообщений. Такую операцию объединения выполняют столько шагов, пока не получают только одно сообщение с вероятностью появления 1. Значение кодовой комбинации для каждого сообщения получают, двигаясь по полученному дереву от его основания к сообщению. Так, если двигаться к событию a_1 то проходим только одну ветвь, обозначенную **0**, поому кодовая комбинация для данного сообщения **0**. Для нахождения кодовой комбинации события a_2 двигаемся от основания дерева к конечному узлу a_2 . При этом последовательно проходим три ветви: ветвь **1**, затем **0** и еще раз **0**. Кодовая комбинация a_2 - **100**.

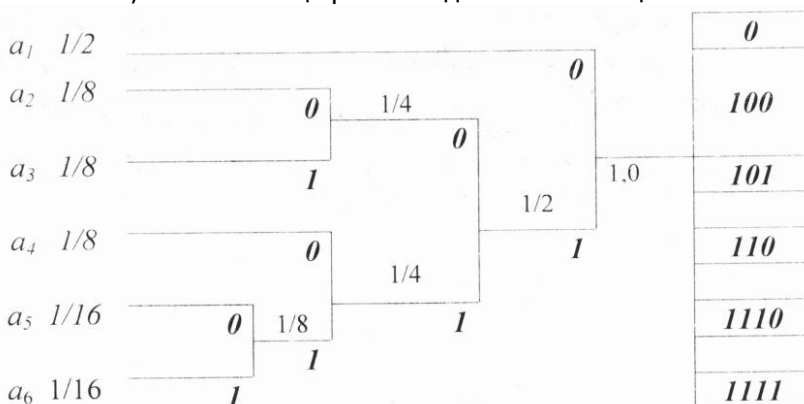


Рис. 1

Принцип кодирования по методу *Шеннона-Фана* состоит в следующем. Все сообщения записываются в порядке убывания

вероятности их появления. Записанная последовательность разбивается на две группы так, чтобы суммы вероятностей в каждой группе были примерно одинаковыми (в данном случае равны по 1/2). Верхней группе присваивается цифра 0 в качестве первого символа кода, а нижней — 1. Затем каждая группа (в данном случае только нижняя) разбивается на две подгруппы с соблюдением той же условия — равенства суммы вероятностей. Верхним подгруппам в обеих группах опять присваивается цифра 0 в качестве второго символа кода, а нижним — цифра 1. Такая операция деления выполняется столько шагов, пока в подгруппах не остается лишь по одному событию. Данный процесс построения кода приведен в табл. 3.

Таблица 3

Сообщение	p_k	1 шаг	2 шаг	3 шаг	4 шаг	Код
a_1	1/2	0				0
a_2	1/8	1	0	0		100
a_3	1/8			1		101
a_4	1/8		1	0		110
a_5	1/16			1	0	1110
a_6	1/16				1	1111

Обратите внимание, что разные методы кодирования дали один и тот же результат!

Проведём расчет информационных характеристик статистических кодов:

- средняя длина кодовой комбинации

$$\bar{n}_{нк} = \sum_{i=1}^n p(a_i) \cdot n_i = 0,5 \cdot 1 + 3 \cdot 0,125 \cdot 3 + 2 \cdot 0,0625 \cdot 4 = 2,125 \text{ разр.}$$

- количество информации, приходящееся на один символ кода

$$\bar{H}_{нк} = \frac{H(A)}{\bar{n}_{нк}} = \frac{2,125}{2,125} = 1 \text{ бит} / \text{разр.}$$

- избыточность статистических кодов:

$$R = 1 - \frac{\bar{H}_{нк}}{H_{\max}} = 1 - \frac{1}{1} = 0$$

Выводы

1. Примитивное кодирование увеличило избыточность сообщения почти в 2 раза.
2. Статистическое кодирование устранило избыточность, то есть согласовало производительность источника с пропускной способностью канала.

3. РАСЧЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА

Пусть помехи в канале отсутствуют. Модель такого канала приведена на рис. 2. Из рисунка следует, что в отсутствии помех, символы кода, поступившие на вход канала однозначно воспринимаются на его выходе, то есть количество информации, поступившей на вход канала, полностью передается на его выход.

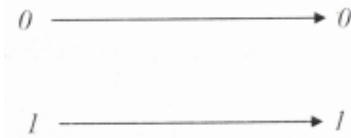


Рис. 2

Пропускная способность канала связи без помех определяется максимально возможной скоростью передачи информации по каналу. При этом будем считать, что аппаратные средства канала построены так, что обеспечивают техническую скорость передачи 300 Бод (при примитивном

кодировании именно такая скорость на выходе кодера $V_{пр} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ Бод}$. При статистическом кодировании $V_{ст} = 2,125 \cdot 100 = 212,5 \text{ Бод}$, но будем предполагать, что на входе канала стоит буферное запоминающее устройство (БЗУ), в которое производится запись сигнала с выхода кодера Хаффмена. С БЗУ информация считывается и передается по каналу со скоростью $V_k = 300 \text{ Бод}$.

- пропускная способность канала

$$C = V_k \cdot H_{\max} = 300 \cdot 1 = 300 \text{ бит} / \text{с}$$

где H_{\max} - максимальное количество информации, которое может нести один разряд кодовой комбинации $H_{\max} = 1 \text{ бит} / \text{симв.}$

- скорость передачи информации по каналу связи при примитивном кодировании

$$I'_{np} = V \cdot \bar{H}_{np} (A) = 300 \cdot 0,71 = 213 \text{ бит} / \text{с}$$

- скорость передачи информации по каналу связи при статистическом кодировании

$$I'_{cm} = V \cdot \bar{H}_{cm} (A) = 300 \cdot 1 = 300 \text{ бит} / \text{с}$$

Обратите внимание на то, что при статистическом кодировании

скорость передачи информации достигает пропускной способности канала связи!

Модель симметричного двоичного канала с помехой представлена на рис. 3. За счет воздействия помехи на выходе канала сигнал принимается с ошибкой, причем вероятность ошибки по условию задачи $q=0,15$.

Произведем расчет информационных характеристик канала с помехами.

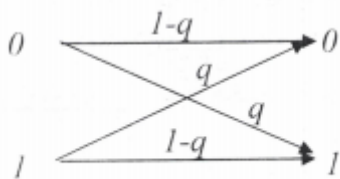


Рис. 3

Потеря информации в двоичном симметричном канале с помехой

$$\begin{aligned} H(x/y) &= -[q \cdot \log_2 q + (1-q) \cdot \log_2 (1-q)] = \\ &= -[0,15 \cdot \log_2 0,15 + (1-0,15) \cdot \log_2 (1-0,15)] = \\ &= 0,61 \text{ бит} / \text{симв.} \end{aligned}$$

- пропускная способность канала

$$C = V_k [H_{\max} - H(x/y)] = 300[1 - 0,61] = 117 \text{ бит} / \text{с}$$

- скорость передачи информации по каналу связи с помехой при примитивном кодировании

$$I'_{np} = V_k [\bar{H}_{np}(x) - H(x/y)] = 300[0,71 - 0,61] = 30 \text{ бит} / \text{с}$$

- скорость передачи информации по каналу связи с помехой при неравномерном кодировании

$$I'_{cm} = V_k [\bar{H}_{cm}(x) - H(x/y)] = 300[1 - 0,61] = 117 \text{ бит / с}$$

Выводы

1. Помеха приводит к потере информации. В двоичном симметричном канале величина потерь определяется вероятностью ошибки в канале.
2. Помеха снижает скорость передачи информации и пропускную способность канала.
3. Статистическое кодирование позволяет увеличить скорость передачи информации до пропускной способности канала.

ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ОБУЧЕННОСТИ

Базовый уровень (уровень 1)

1. Дано:

ИДС	A1	A2	A3	A4
	1/2	1/4	1/8	1/8

Закодировать источник сообщения методом Хаффмана.

2. Дано:

ИДС	A1	A2	A3	A4
	1/2	1/8	1/16	1/16

Закодировать источник сообщения методом Шеннона-Фано.

3. Рассчитать энтропию источника, количество информации, приходящуюся на каждый символ, производительность источника, оценить избыточность сообщения.

ИДС	A1	A2	A3	A4	A5
	1/2	1/4	1/8	1/16	1/16
V, симв/с	40				

4. Рассчитать пропускную способность дискретного канала связи, в котором техническая скорость передачи информации составляет 700 симв/с, а вероятность ошибки составляет $p_{ош} = 0,25$.

5. Определить пропускную способность непрерывного канала связи, в котором техническая скорость передачи информации составляет 1000 симв/с, а отношение сигнал/шум составляет 3 дБ.

Продвинутый уровень 1 (уровень 2)

1. Оценить возможности дискретного канала связи с пропускной способностью $C = 100$ кбит/с, если к нему подключен ИДС со следующими параметрами:

ИДС	A1	A2	A3	A4	A5
	1/2	1/4	1/8	1/16	1/16
V, симв/с	40				

2. Дискретный симметричный канал связи без памяти, в котором техническая скорость передачи информации составляет 700 симв/с, а вероятность ошибки составляет $\text{рош} = 0,25$. Обосновать возможность передачи информации по данному каналу связи, если производительность источника сообщений составляет 140,7 бит/с

3. Световое табло состоит из индикаторов, каждый из которых может находиться в двух состояниях «включено» или «выключено». Какое наименьшее количество индикаторов должно находиться на табло, чтобы с его помощью передать 50 различных сигналов.

4. Информационное сообщение объемом 4 кБайт содержит 4096 символов. Сколько символов содержит алфавит, при помощи которого было записано это сообщение.

5. Определить пропускную способность непрерывного канала связи, в котором техническая скорость передачи информации составляет 1000 симв/с, а отношение сигнал/шум составляет 3 дБ. Проведите сравнительный анализ предельной возможности данного канала связи, используя вторую теорему Шеннона.

Продвинутый уровень 2 (уровень 3)

1. Используя таблицу появления букв русского алфавита определить количество информации из 10 первых символов алфавита и при равновероятном их появлении. Определить избыточность сообщений и коэффициент сжатия с применением пакета программ *MathCad*

2. Используя таблицу появления букв русского алфавита определить количество информации из 5 первых символов алфавита и при равновероятном их появлении. Определить избыточность сообщений и коэффициент сжатия с применением пакета программ *MathCad*

3. По двоичному симметричному каналу с помехами передаются два сигнала x_1 и x_2 с априорными вероятностями

$p(x_1) = 3/4$ и $p(x_2) = 1/4$. Из-за наличия помех вероятность правильного приема каждого из сигналов уменьшается до 0,35. Определить полную информацию $I(X)$ на выходе канала, взаимную информацию $I(y_2, x_2)$.

4. По двоичному симметричному каналу с помехами передаются два сигнала x_1 и x_2 с априорными вероятностями $p(x_1) = 3/4$ и $p(x_2) = 1/4$. Из-за наличия помех вероятность правильного приема каждого из сигналов уменьшается до 0,35. Определить Условную частную информацию $I(x_2 / y_2)$, содержащуюся в сообщении x_2 источника при условии приема сообщения y_2 .

5. По двоичному симметричному каналу с помехами передаются два сигнала x_1 и x_2 с априорными вероятностями $p(x_1) = 3/4$ и $p(x_2) = 1/4$. Из-за наличия помех вероятность правильного приема каждого из сигналов уменьшается до 0,35. Среднее количество взаимной информации $I(Y, X)$ в сообщении Y приемника о сообщениях X источника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. СПб: Изд-во «Лань», 2010. 240 с.
2. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. М.: Изд дом «Академия», 2010. 336 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1988. 448 с.
5. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
6. Давыдов А.В. Сигналы и линейные системы: [Электронный ресурс]: URL: <http://geoin.org/> (Дата обращения 19.08.2013г.).
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1980.