

УДК 621.315.592

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Захарченко Н.В., Гаджиев М.М., Салманов Н.С., Голев Д.В., Седов К.С.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
gadjievmm@ukr.net, sedovmail2@gmail.com*

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОДУВАННЯ В СИСТЕМАХ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

Захарченко М.В., Гаджиев М.М., Салманов Н.С., Голев Д.В., Седов К.С.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
gadjievmm@ukr.net, sedovmail2@gmail.com*

CODING EFFICIENCY IN RESIDUAL CLASS SYSTEMS

Zakharchenko N.V., Hajiyev M.M., Salmanov N.S., Golev D.V., Sedov K.S.

*O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
gadjievmm@ukr.net, sedovmail2@gmail.com*

Аннотация. В процессе передаче сигналов по каналам различных систем передачи информации для обеспечения высокой достоверности и производительности передачи можно использовать различные методы кодирования и способы преобразования передаваемых данных. При этом каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими. Например, при использовании таймерных сигнальных конструкций (ТСК) можно обеспечить передачу значительно большего количества информации на одном отрезке времени по сравнению, например с позиционным кодированием. Также классическое позиционное кодирование уступает и по таким важным параметрам передачи данных, как информационная ёмкость и энтропия. Одновременно, на результаты вычислений указанных параметров значительной степени влияет используемый язык передаваемой текстовой информации, на основе которого проводятся расчёты или тип используемого текста (литературный, технический и др.). Также на результат вычислений может повлиять объем анализируемого текста (влияние скорее всего будет заметно в частных случаях, а не в общем). В этих условиях особенно важное значение приобретает возможность применения определённого/адаптированного типа кодирования передаваемых данных в соответствующих системах передачи информации. Проведенные теоретические исследования показывают, что таймерное сигнальное кодирование, в этих условиях может быть успешно применено в системах остаточных классов в отличие от позиционного кодирования. Подобное обеспечивает целый ряд преимуществ по сравнению с классическим методом позиционного кодирования по достоверности, производительностью и количеству передаваемой информации. Для полного подтверждения обоснованности полученных результатов в ходе теоретических исследований необходимо провести соответствующие практические исследования, например с имитацией на программной модели применения той или иной системы передачи с разными принципами кодирования.

Ключевые слова: кодирование, сигнал, кодовые слова, энтропия, таймерные сигнальные конструкции, позиционное кодирование, остаточные классы, достоверность передачи.

Анотація. В процесі передачі сигналів по каналах різних систем передачі інформації для забезпечення високої достовірності та продуктивності передачі можна використовувати різні методи кодування і способи перетворення переданих даних. При цьому кожен з методів має свої переваги і

недоліки порівняно з іншими. Наприклад, при використанні таймерних сигнальних конструкцій (ТСК) можна забезпечити передачу значно більшої кількості інформації на одному відрізку часу порівняно, наприклад з позиційним кодуванням. Також класичне позиційне кодування поступається і за таких важливих параметрів передачі даних, як інформаційна ємність і ентропія. Одночасно, на результати обчислень зазначених параметрів значною мірою впливає мова, що використовується при передаванні текстової інформації, на основі якої проводяться розрахунки або тип тексту, що використовується (літературний, технічний та ін.). Також на результат обчислень може вплинути обсяг тексту, що аналізується (вплив швидше за все буде помітно в окремих випадках, а не в загальному). У цих умовах особливо важливого значення набуває можливість застосування певного/адаптованого типу кодування переданих даних у відповідних системах передавання інформації. Проведені теоретичні дослідження показують, що таймерне сигнальне кодування в цих умовах може бути успішно застосовано у системах залишкових класів на відміну від позиційного кодування. Подібна можливість забезпечує цілу низку переваг порівняно з класичним методом позиційного кодування за достовірністю, продуктивністю і кількістю інформації, що передається. Для повного підтвердження обґрунтованості отриманих результатів в ході теоретичних досліджень необхідно провести відповідні практичні дослідження, наприклад з імітацією на програмній моделі застосування тієї чи іншої системи передачі з різними принципами кодування.

Ключові слова: кодування, сигнал, кодові слова, ентропія, таймерні сигнальні конструкції, позиційне кодування, залишкові класи, достовірність передачі.

Abstract. In the process of transmitting signals over channels of different data transmission systems to provide high reliability and transmission performance can use various coding methods and ways of converting transmitted data. Moreover, each of the methods has its own advantages and disadvantages in comparison with others. For example, when using timer signaling structures (TSC), it is possible to provide the transmission of significantly more information in one time interval in comparison, for example, with positional coding. Also, classical positional coding is inferior in such important parameters of data transmission as information capacity and entropy. At the same time, the used language of the transmitted text information significantly affects the results of calculating these parameters, based on which the calculations are carried out or the type of text used (literary, technical, etc.). Also, the result of the calculations can be affected by the volume of the analyzed text (the influence is likely to be noticeable in particular cases, and not in general). In these conditions, the possibility of using a certain / adapted type of coding of the transmitted data in the corresponding information transmission systems becomes especially important. Conducted theoretical studies show that timer signal coding under these conditions can be successfully applied in residual class systems, in contrast to positional coding. This possibility provides a number of advantages over the classical positional coding method in terms of reliability, performance and amount of transmitted information. To fully confirm the validity of the results obtained in the course of theoretical research, it is necessary to conduct appropriate practical research, for example, with the simulation on a software model of the application of a particular transmission system with different coding principles.

Key words: coding, signal, code words, entropy, timer signal structures, positional coding, residual classes, transmission reliability.

Кодирование в системах связи осуществляется по алфавиту сигналов (код сигналов), по алфавиту сообщений (код сообщений) и по общим алфавитам одновременно [1].

В первом случае происходит преобразование одного алфавита источника сообщений, в другой без формирования сигналов. Примером может служить запись телеграммы на перфоленту для ввода в трансмиттер, набивая перфокарты в ЦВМ.

Для второго случая сигналы одного типа преобразуются в сигналы второго типа. Сюда относятся процессы модуляции, образование помехоустойчивых избыточных кодов [2].

Наконец, в третьем случае происходит преобразование сообщений в сигналы.

Подчеркнем различие между операциями расчленения сообщения на символы и кодирования. Первая операция обычно производится в самом источнике: символы сообщения с информационной точки зрения есть неделимые кванты и инженер получает их уже готовыми, например букв и цифр телеграфного текста. Поэтому эта операция для него объективна. Кодирование наоборот – представляет субъективную операцию в том смысле, что выбирается конструктором с учетом особенностей канала: видом фазочастотной характеристики канала (ФЧХ) и амплитудной (АЧХ). Поэтому кодирование часто

рассматривают как операцию согласования источника с каналом связи. Следует помнить, что в канале связи помимо сигнала от источника сообщений действует много видов различных помех, что приводит к существенному отличию сигналов на входе и выходе канала.

Для коррекции искажений используют корректирующие коды, в кодовых словах в которых содержатся информационные и дополнительные элементы: последние формируются на основе m информационных элементов, синтезированных при различных сочетаниях информационных элементов. Такие коды имеют низкую эффективность за счет большого удельного веса дополнительных элементов.

Цель данной статьи: убедиться в целесообразности использования остаточных классов при использовании таймерного сигнального кодирования и расчет соответствующих информационных параметров.

В статье вместо позиционных кодов используют эффективные таймерные коды [2], в которых информация в кодовых конструкциях «содержится» в величинах нескольких i информационных отрезков длиной не менее интервала Найквиста [1].

$$\tau_i > t_0 \frac{1}{\Delta F}, \quad 1)$$

где ΔF – полоса сигнала.

Количество реализаций таймерных сигналов определяется тремя параметрами:

1. Интервал реализации кодового ансамбля m .
2. Число информационных отрезков в каждом слове i .
3. S число элементов (квантов) Δ на интервале элемента Найквиста.

При указанных параметрах число реализаций таймерных N_{PT} конструкций определяется выражением [3]

$$N_{PT} = \frac{[ms - i(s - 1)]!}{i!(ms - is)!}. \quad 2)$$

Для случая $m = 5; s = 7; i = 3$ число реализаций равно кодовых $N_{PT} = 680$ конструкций.

Учитывая, что при таймерных сигналах можно синтезировать 680 кодовых слов, а при позиционном кодировании в двоичном канале при $m = 5$ всего можно реализовать только 32 кодовых слова ($N_{PII} = 2^5 = 32$), что в $680 / 32 = 21.25$ раз меньше по сравнению с таймерным кодом.

В данной статье передаче анализу подлежат кодовые слова, синтезированные из остатков трех модулей: $P_1 = 3, P_2 = 5, P_3 = 7$.

Число таких кодовых слов определяется произведением модулей:

$$P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 3 \cdot 5 \cdot 7 = 105$$

Таймерные коды в системе остаточных классов. Системой остаточных классов называется такая непозиционная система счисления, в которой любое целое положительное десятичное число $N^+(10)$ представляется в виде набора наименьших положительных остатков от деления числа $N^+(10)$ на положительные числа P_1, P_2, \dots, P_m называемые модулями (основами) [2].

$$N^+(10) = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}. \quad 3)$$

Любому целому числу $N < N^+(10)$ можно сопоставит только один набор остатков $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$. Обратное утверждение справедливо лишь в том случае, когда основы (модули) представляют попарно простые положительные числа.

Таблица 1 – Номер кодовых слов $N^+(10) \in 3 \cdot 5 \cdot 7 = 105$

$N^+(10)$ Мод	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
5	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
7	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1
$\Sigma_{ост}$	3	6	6	9	7	7	3	6	6	4	7	7	10	6	1
$N^+(10)$ Мод	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
5	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
7	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2
$\Sigma_{ост}$	4	7	7	10	8	1	4	7	7	5	8	8	4	7	2
$N^+(10)$ Мод	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
5	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
7	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3
$\Sigma_{ост}$	5	8	8	11	2	2	5	8	8	6	9	2	5	8	3

Продолжение табл. 1

$N^+(10)$ Мод	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
5	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
7	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4
$\Sigma_{ост}$	6	9	9	5	3	3	6	9	9	7	3	3	6	9	4
$N^+(10)$ Мод	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
5	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
7	5	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5
$\Sigma_{ост}$	7	10	3	6	4	4	7	10	10	1	4	4	7	10	5
$N^+(10)$ Мод	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
3	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
5	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0
7	6	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
$\Sigma_{ост}$	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105

Таблица состоит из 7 блоков по 15 кодовых слов, что составляет ансамбль с мощностью

$$N^+(10) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4)$$

$$N^+(10) = 3 \cdot 5 \cdot 7 = 105 \text{ кодовых слов.}$$

Каждый номер $N^+(10)$ представлен тремя остатками по модулям $P_1 = 3; P_2 = 5; P_3 = 7$, которые расположены под соответствующим десятичным числом (по вертикали).

При формировании кодового слова на передаче формируются кодовые слова, из трех отрезков длины которых a_i состоят из двух слагаемых

$$a_i = t_0 + Z_i, \quad (5)$$

где $t_0 = \frac{1}{\Delta F}$ (ΔF – полоса частот сигнала); Z_i – остатки модулей 3, 5, 7 расположенные под номером $N^+(10)$, представляют числа:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 3; I - \text{отрезок } P_1 \in 0; 1; 2 \\ P_2 = 5; II - \text{отрезок } P_2 \in 0; 1; 2; 3; 4; 5 \\ P_3 = 7; III - \text{отрезок } P_3 \in 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6 \end{array} \right\} \quad (6)$$

Из табл. 1 следует, что наибольшая величина суммы трех остатков соответствует номеру $N^+(10) = 104$ и равна величине 12:

I – остаток равен 2

II – остаток равен 4

III – остаток равен 6

Определим максимальную длину кодового слова a , соответствующей $N^+(10) = 104$

$$a = t_0 + 2\Delta + t_0 + 4\Delta = 6\Delta = 3t_0 + 12\Delta. \quad (7)$$

При $s = 5; \Delta = \frac{t_0}{5} = 2t_0$

$$a = 3t_0 + 2t_0 + 2\Delta = 5t_0 + 2\Delta. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что максимальная длина кодового слова, сформированного из остатков, меньше длины кодового слова при двоичном коде

$$n = E^+ \log_2 105, \quad (9)$$

где E^+ – символ большего значения (числа) из выражения (9), что возможно когда $\log_2 105 = 7$.

Определение энтропии сообщения согласно структуре табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что с модулем $P_1 = 3$ синтезировано 35 кодовых слов ($105/3 = 35$); с модулем $P_2 = 5$ синтезировано 21 кодовое слово ($105/5 = 21$); с модулем $P_3 = 7$ – 15 кодовых слов ($105/7 = 15$).

Вероятности использования отдельных модулей по отношению к полному ансамблю 105 кодовых слов составляют:

$$P_1(3) = \frac{35}{105} = \frac{1}{3}; P_2(5) = \frac{21}{105} = \frac{1}{5}; P_3(7) = \frac{15}{105} = \frac{1}{7}.$$

Определим суммарное значение энтропии событий табл. 1

$$H_i = P_i \log_2 P_i, i \in 1; 2; 3. \quad (10)$$

$$H_1 = \frac{35}{105} \log_2 \frac{35}{105} = \frac{35}{105} (\log_2 35 + \log_2 105) = \frac{35}{105} (5,129 + 6,714) = \frac{414,523}{105} = 3,947,$$

$$H_2 = \frac{21}{105} \log_2 \frac{21}{105} = \frac{21}{105} (\log_2 21 + \log_2 105) = \frac{21}{105} (4,392 + 6,714) = \frac{233,237}{105} = 2,221,$$

$$H_3 = \frac{15}{105} \log_2 \frac{15}{105} = \frac{15}{105} (\log_2 15 + \log_2 105) = \frac{15}{105} (3,906 + 6,714) = \frac{159,317}{105} = 1,517,$$

$$H_{\Sigma} = \sum (H_1 + H_2 + H_3) = 3,947 + 2,221 + 1,517 = 7,686.$$

Вывод: при увеличении значения модуля P_i длины остатков увеличиваются (6), вследствие чего количество остатков на интервале 105 кодовых уменьшается.

Число кодовых слов синтезированных с модулем P_i равно 35, что близко к количеству символов русского текста (32). Однако значение энтропии (3,947) меньше энтропии русского текста. Объясняется это тем, что синтезированные кодовые слова «привязаны» к одному соответствующему модулю.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Торгашов В.А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ / Торгашов В.А. – М. : Сов. радио, 1973. – 120 с.
2. Системы передавання даних. – Т.1: Ефективність блокового кодування: навч.посіб. / [Захарченко М.В., Кільдїшев В.Й., Мартинова О.М., Ільїн Д.Ю., Трінтіна Н.А.] – Одеса: ОНАЗ ім.О.С. Попова, 2014. – 440 с.
3. Буга Н.Н. Основы теории связи и передачи данных – Ч. 4. / Буга Н.Н.– Л.: ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1970. – 704 с.
4. Теория передачи сигналов / Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. – Москва: Радио и связь, 1986. – С.304.
5. Цимбал В. П. Задачник по теории информации и кодирования / Цимбал В.П. – Киев: Вища школа, 1976. – 276 с.

REFERENCES:

1. Torgashov V. A. "System of residual classes and reliability of digital computers". M.:Sov. radio, 1973. 120 p.
2. Zakharchenko M.V. Kildishev V.I., Martinova O.M., Ilyin D.Y., Trintina H. A. "Data transmission systems. – vol 1: Block coding efficiency". Study guide. Odessa. ONAT O.S. Popov. 2014. 440 p.
3. Buga N.N. "Basics of communication theory and data transmission. vol 4". L.: LVIKA A.F. Mozhaisky. 1970. 704 p.
4. Zyuko A.G., Klovsky D.D., Nazarov N.V., Fink L.M. "Signal transmission theory". M.: Radio and communication. 1986. 304 p.
5. V. P. Cymbal. "Problem book on information theory and coding". K.: Vishcha school. 1976. 276 p.

DOI 10.33243/2518-7139-2020-1-2-25-30