

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХСИМВОЛЬНЫХ АНСАМБЛЕЙ В СИМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В связи с возрастанием объемов информации в сетях связи актуальным является повышение скорости передачи, особенно при работе по каналам с ограниченной полосой пропускания и мощностью. В статье получили дальнейшее развитие новые принципы и алгоритмы помехоустойчивого кодирования на основе таймерных сигналов, в которых дополнительные проверочные символы не требуются. Для этого были исследованы и определены параметры качества передачи таймерными сигналами в «хорошем» и «плохом» состояниях канала. Приведены результаты статистических исследований искажений параметров таймерных сигналов при использовании их в каналах городской телефонной сети общего пользования.

Оценена временная эффективность при использовании таймерных сигнальных конструкций для повышения качества передачи двукратных повторений укрупненных символов.

**Ключевые слова:** таймерная сигнальная конструкция, канал, модель Гильберта, коэффициент группирования ошибок, скорость передачи, энергетическое расстояние.

N.V. ZAKHARCHENKO, V.Y. KILDISHEV, D.V. GOLEV, A.V. TOLKACHEV

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, Odessa,

## EFFICIENCY OF TWO-CHARACTER ENSEMBLES IN SIMPLEX SYSTEMS BASED ON THE CORRECTIVE TIMER SIGNAL DESIGNS

**Abstract.** In connection with the increasing volumes of information in communications systems is to increase the current transmission rate, especially when operating over channels with limited bandwidth and power. In this paper further developed new principles and algorithms of noiseless coding based on timing signals where additional check bits are not required. For this purpose were investigated and determined the parameters of transmission quality timing signals in a "good" and "bad" states. Shown the results of the statistical research the distortion parameters of timing signals when they are used in the channels of the city telephone network.

Temporal efficiency when using timer signal designs for improvement of quality of transmission of double repetitions of the enlarged characters is estimated.

**Key words:** timer signal designs, channel, Hilbert model, clustering errors coefficient, data rate, energetic distance.

### Введение

В наше время прогресс в научно-технической сфере неразрывно связывает деятельность человека с многочисленными устройствами и услугами, принцип действия которых основывается на обработке и передаче информации. С каждым годом количество таких устройств и услуг увеличивается лавиноподобным образом. Это обуславливает возрастание все большей необходимости в передаче информации по каналам связи. При этом экономически целесообразным является использование существующих каналов – увеличение их пропускной способности.

Ключевое место в теории информации занимают принципы, сформированные К. Шенноном в 50-х годах XX столетия для каналов с независимым распределением ошибок, по которым достижение необходимых характеристик передачи информации, представленной в виде разрядно-цифрового кода (РЦК), возможно за счет увеличения длины кодового слова, а потери на кодировании незначительны уже при длительности кодовых слов не менее 500 элементов.

Предложенные таймерные сигнальные конструкции (ТСК) в работах Захарченко Н.В., Киреева И.А., Дельгадо Е.В. дали возможность увеличить скорость передачи практически вдвое на интервале «хорошего» состояния нестационарных каналов за счет укрупнения сигналов словаря. Также ТСК имеют свойства помехозащищенного кода, но избыточность в виде дополнительных проверочных символов в них не используется [1]. Таким образом исследование помехозащищенных методов передачи на основе ТСК является актуальной задачей.

Целью статьи является оценка временной эффективности при использовании ТСК для повышения качества передачи двукратных повторений укрупненных символов.

### 1. Эффективность позиционных кодов.

Системы передачи дискретной информации делятся на два вида:

- 1) односторонние (или симплексные) системы передачи;
- 2) системы с решающей обратной связью (РОС)

В системах первого вида для передачи информации, в каком либо направлении, используются только односторонние каналы (от станции А к Б или от станции Б к А). В таких системах передающая сторона не владеет информацией о качестве поступившей информации. Передающая сторона может владеть только структурой ошибок в каналах такого же типа.

Для обеспечения качества передачи в односторонних системах используются избыточные коды, в которых общее число элементов в кодовой комбинации « $n$ » включает « $m$ » информационных и « $k$ »

проверочных элементов.

$$n = m + k \tag{1}$$

Число  $m$  определяется от числа различных объектов  $N$ , о которых передается информация.

$$m = E^+ \log_2 N \tag{2}$$

где  $E^+$  – символ ближайшего большого целого числа; число  $k$  уравнения (1) определяется структурой ошибок в используемом канале.

Для передачи в односторонних системах можно использовать простой  $m$ -элементный код. В этом случае используется  $z$ -кратное повторение одного и того же кодового слова. Минимальное число повторений  $z = 3$  (для повышения качества приема  $z > 3$  (целое число)). Реальные каналы удовлетворяют, в основном, модели Гилберта и имеют два состояния – «хорошее» состояние, в котором вероятность ошибочного приема  $P_{xc} < (5 \cdot 10^{-4} \div 10^{-5})$ , и «плохое» состояние  $P_{nc} \gg P_{xc}$ . При этом, время существования «хорошего» состояния ( $T_{xc}$ ) намного больше времени существования ( $T_{nc}$ ) на канале ГТС  $T_{xc} = 500 \div 800$  байт, а  $T_{nc} \leq t_0 = \frac{1}{\Delta F}$  [1].

Из последних цифр следует, что большая избыточность кода или  $z$ -кратное повторение кодового слова приводит к неэффективному использованию канала.

Оценим, какое число избыточных элементов « $k$ » в корректирующем коде необходимо предусмотреть, чтобы ошибки заданной кратности были исправлены. В таблице 1 приведено число корректирующих элементов при  $m \in 2 \div 10$  и  $d_0 \in 2 \div 8$  [2].

Число избыточных элементов определяется из граничных значений Хэмминга для блочных кодов [2].

$$2^{n-m} = 2^k \geq \sum_{i=0}^{d_0-2} C_{n-1}^i \tag{3}$$

Обычно значение  $d_0$  определяется заказчиком с учетом статистики ошибок в канале данного вида и заданной кратности исправления [3]:

$$\left. \begin{aligned} t_u &= \frac{d_0 - 1}{2} \\ d_0 &= 2t_u + 1 \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

Таблица 1

**Число корректирующих элементов при  $m \in 2 \div 10$  и  $d_0 \in 2 \div 8$**

$d_0 \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4
4	3	5	5	6	6	7	7	7	7	8
5	4	7	8	8	9	9	10	10	10	11
6	5	9	10	11	11	12	12	13	13	14
7	6	11	12	13	14	15	15	16	16	17
8	7	13	14	15	16	17	18	18	19	19

Из (4) следует, что для исправления трехкратной ошибки при  $m=5$  ( $d=7$ ) необходимо к « $m$ » информационных элементов добавить 14 проверочных, а для передачи байта ( $m=8$ ) необходимо добавить 16 элементов.

Приведенные примеры показывают низкую эффективность избыточного позиционного кодирования (при  $d > 4$  число избыточных элементов  $k > m$ ).

Эффективность применения избыточных позиционных кодов в режиме исправления оценивается коэффициентом исправления  $h$  при известной вероятности  $P_{ucn}$

$$h = \frac{P(\geq 1, n)}{P(\geq 1, n) - P_{ucn(n)}} \tag{5}$$

На рис. 1 показана  $n=15$  зависимость коэффициента  $h$  от кратности ошибки для телефонного кабельного канала для длительности кодовых слов  $n \in 15; 31; 63; 200; 511$ . Из рисунка следует, что для элементности  $n \in 15 \div 511$  коэффициент исправления не превышает одного порядка (10 раз). Из приведенного анализа можно сделать вывод о низкой эффективности использования избыточных позиционных кодов вообще и тем более при передаче двухбуквенных ансамблей: количество укрупненных символов более 1000 пар ( $2^5 \cdot 2^5 = 1024$ ), что при позиционном кодировании требует 10 элементов в двоичном канале для простого кода и в несколько раз больше для искомого избыточного кода. Такая низкая

эффективность двоичного кода определяется низким удельным весом информации в одном элементе Найквиста: количество информации  $J_H$  определяется:

$$J_H = \log_2 n_e = \log_2 2 = 1 \text{ бит на элемент}$$

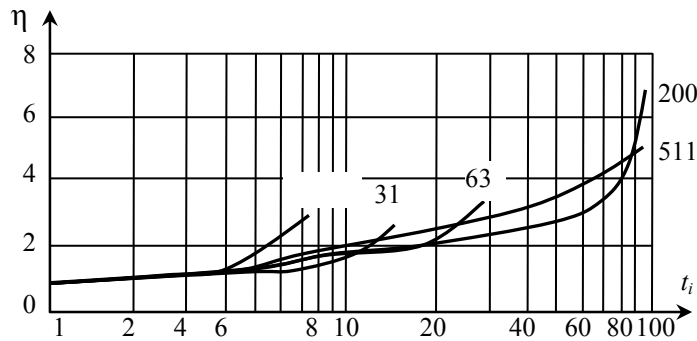


Рис. 1. Зависимость  $h = f(t)$  для телефонного кабельного канала

**2. Таймерные сигналы как инструмент увеличения информационной емкости одного двоичного элемента.**

Рассматривая позиционные коды, мы не обратили внимания на минимальное энергетическое расстояние между кодовыми словами: моменты модуляции (смены значения информационного параметра) в этих кодах кратны элементу Найквиста, что и определяет энергетическое расстояние между кодовыми конструкциями. Для увеличения объема передаваемой информации на интервале  $T_c = m \cdot t_0$ , необходимо чтобы искомые сигналы позволяли получать число реализаций  $N_p > 2^m$ . Последнее неравенство может быть удовлетворено, если изменить требования к моментам модуляции: вместо «моменты модуляции кратны элементу Найквиста» нужно выполнить условие «моменты модуляции кратны элементу  $\Delta$  ( $\Delta = t_0 / S$ ;  $S \in 2;3$ ;  $t_0$  – целое), но и не меньше элемента Найквиста [3]

$$\tau_{ci} = t_0 + \gamma\Delta \quad \gamma \in 2 \dots \quad (6)$$

Первое слагаемое (6) обеспечивает установление переходного процесса на выходе канала, а второе содержит информацию о передаваемом символе. Величина  $\Delta$  определяет различительную способность длительностей отдельных отрезков в этом канале.

При приведенных выше условиях число реализаций  $N_{PT}$  определяется [3]

$$N_{PT} = \frac{[mS - i(S - 1)]!}{i!(mS - iS)!} \quad (7)$$

В таблице 2 приведено число реализаций ТСК рассчитанное при  $m \in 4 \div 10$  для  $i=2;3;4$ ;  $S=3;7;8$

Таблица 2

**Число реализаций ТСК при  $m \in 4 \div 10$  для  $i=2;3;4$ ;  $S=3;7;8$**

$i$	$S$	$m$	4	5	6	7	8	9	10
		$2^m$	16	32	64	128	256	512	1024
2	3	$N_T$	28	55	91	136	190	253	325
	7	$N_T$	120	253	435	666	946	1275	1653
	8	$N_T$	153	325	561	861	1225	1653	2145
3	3	$N_T$	20	84	220	455	816	1330	2024
	7	$N_T$	120	680	2024	4495	8436	14190	22100
	8	$N_T$	165	969	2925	6545	12341	20825	32509
4	3	$N_T$	1	35	210	715	1820	3876	7315
	7	$N_T$	1	330	3060	12650	35960	82251	163185
	8	$N_T$	1	495	4845	20475	58905	135751	270725

Обратим внимание, что в таблице приведены числа реализаций сигнальных конструкций на интервале  $T_{CK} = mt_0$  для  $m \in 4 \div 10$ . Из таблицы следует: число  $N_p$  увеличивается с увеличением  $m$  и  $S$ ; при  $i = m$  возможна только одна реализация.

**3. Выбор параметров ансамбля передачи двухсимвольных ансамблей.**

Прежде всего, выберем значение  $\Delta$  (или  $S$ ), при котором возможна работа. Для каналов ГТС хорошо проходит работа при  $S_1 = 7$ ;  $S_2 = 8$ . При этих значениях вероятность ошибочного приема  $P_o \approx 5 \cdot 10^{-5} \div 10^{-5}$  [3]

Определим параметры уравнения качества передачи при условии, что в канале в «хорошем» состоянии смещается только один момент модуляции [3]. Поставим условие, что смещение одного перехода на величину  $\Theta = 1\Delta$  будет исправляться по синдрому. Будем считать, что уравнение качества имеет вид [3]

$$1x_1 + 3x_2 + 5x_3 = 0 \pmod{7} \quad (8)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – длительности отдельных отрезков.

При увеличении длины одного из отрезков на величину  $\Delta$  (со знаком «+») синдромами будут числа 1, 3, 5; при знаке «-» синдромами будут 6, 4, 2. Следовательно, любое возможное смещение будет исправлено. Так как нас интересует 1024 реализации при заданном значении  $S$ , удовлетворяющих условию (7), то искомое число реализаций  $N_p = 7168$  ( $N_p' \geq 1024 \cdot 7 = 7168$ ). Можно показать, что такое множество может быть получено при  $i = 4$ ;  $S = 7$ ; ( $6t_0 < m < 7t_0$ )  $\approx 6,5t_0$ ; ( $T_{CK} \approx 6,5t_0$ ).

Учитывая, что эти сигнальные конструкции будут удовлетворять условию (7), то их можно передавать по каналу дважды на расстоянии нескольких кодовых слов. Тогда, учитывая [1], одно из них будет принято верно согласно (8) по одному верно принятому слову.

### Выводы

Следовательно, двукратная передача двухсимвольных ансамблей в симплексных системах с двукратным повторением на интервале  $T_{пер} = 2 \cdot 6,5 = 13t_0$  с избыточным ТСК обеспечивает выше скорость передачи по сравнению с передачей избыточным позиционным кодом с  $n = m + k = 10 + 19 = 29$  элементов (табл. 1) в  $\left(\frac{29}{2 \cdot 6,5}\right) = 2.23$  раза

Такая эффективность объясняется тем, что простые и корректирующие таймерные сигнальные конструкции (ТСК) реализуются на одном и том же интервале.

### Литература

1. Захарченко В.М. Синтез багатопозиційних часових кодів / Захарченко В.М. – К.: Техніка, 1999. – 281 с.
2. Берликэмп Э. Алгебраическая теория кодирования / Берликэмп Э.; пер. с англ.; под ред. С.Д. Бирмана. – М.: Мир, 1971. – 477 с.
3. Захарченко М.В. Системи передавання даних. «Радіотехніка». – Т. 1: Ефективність блокового кодування / [Захарченко М.В., Кільдішев В.Й., Мартинова О.М., Ільїн Д.Ю., Трінтіна Н.А.]. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2014. – 488 с.

### References

1. Zaharchenko V. M. Sintez bagatopozicijnyh chasovih kodiv / Zaharchenko V. M. – K.: Tehnika, 1999. – 281 s.
2. Berlikemp E. Algebraicheskaya teoriya kodirovaniya / Berlikemp E.; per. s angl. pod red. S.D. Birmana. – M.: Mir, 1971. – 477 s.
3. Zaharchenko M.V. Sistemi peredavannya danih. "Radiotekhnika". – T. 1: Efektivnist blokovogo koduvannya / [Zaharchenko M.V., Kildishev V.Y., Martinova O.M., Ilin D.Yu., Trintina N.A.]. – Odesa: ONAZ im. O.S. Popova, 2014. – 488 s.

Рецензія/Peer review : 5.1.2017 р. Надрукована/Printed : 15.3.2017 р.  
Стаття рецензована редакційною колегією