

УДК 621.395.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДВУХСИМВОЛЬНЫМИ АНСАМБЛЯМИ В СИМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ НА БАЗЕ ТСК

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

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

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ДВОСИМВОЛЬНИМИ АНСАМБЛЯМИ У СИМПЛЕКСНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТСК

Захарченко М.В., Гаджієв М.М., Голєв Д.В., Сєдов К.С., Русаловська О.А.

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

EFFECTIVENESS OF INFORMATION TRANSMISSION BY TWO-SYMBOLS ENSEMBLE IN SIMPLEX COMMUNICATION SYSTEMS ON THE BASIS OF TSC

Zakharchenko N.V., Gadzhiev M.M., Golev D.V., Sedov K.S., Rusalovskaya A.A.

*O.S. Popov Odesa National Academy of Telecommunications,
1 Kuznechna St., Odesa, 65029, Ukraine.
sedovmail2@gmail.com*

Аннотация. Теория электрической связи предусматривает передачу двух видов информации (сообщений): непрерывные сообщения и дискретные. Непрерывные сообщения характеризуются бесконечным числом своих значений на конечном интервале времени. Примером такого сообщения может быть значение величины направления на выходе микрофона: чем больше разрешающая способность измерительного устройства, тем больше различных значений напряжения. Дискретные сообщения (в противоположность непрерывным) характеризуются конечным числом значений на бесконечном интервале времени. Например, несколько томов художественного произведения имеют конечное число символов (букв), которые необходимо передать. Преимущества цифровых методов отображения, обработки, передачи, накопления и хранения информации обеспечивают им преимущественное использование. В настоящее время для увеличения скорости передачи информации используют различные методы цифрового преобразования – в частности сжатия информации. В данной статье исследована эффективность передачи информации двухсимвольными ансамблями в симплексных системах на базе таймерных сигнальных конструкций. Таймерное кодирование, в отличие от позиционного, при котором информация о передаваемом символе определяется видом сигнала на найквистовом интервале, хранит заложенную информацию в длине нескольких отдельных временных отрезков сигнала τ_{ci} и их взаимном положении. При этом, длительность каждого из отрезков сигнала не менее найквистового интервала: $\tau_{ci} = t_0 + z\Delta$. Проведено сравнение информационных параметров двухсимвольных ансамблей при позиционном и таймерном кодировании. Определены информационная емкость найквистового элемента и влияние числа избыточных элементов ($r = n - m$) на энтропию сообщения при позиционном блоковом кодировании. Определены оптимальные параметры таймерных сигнальных конструкций для влияющих на мощность кодового множества. Предложены таймерные сигнальные конструкции как механизм кодового уплотнения, при котором обеспечивается передача в одном кодовом слове информация о состоянии более двух источников.

Ключевые слова: ансамбль, кодирование, информационные элементы, кодовое множество, таймерные сигналы, найквистовые элементы.

Анотація. Теорія електричного зв'язку передбачає передачу двох видів інформації (повідомлень): неперервні повідомлення і дискретні. Неперервні повідомлення характеризуються нескінченним числом своїх значень на кінцевому інтервалі часу. Прикладом такого повідомлення може бути значення величини напруги на виході мікрофона: чим більше роздільна здатність вимірювального пристрою, тим більше різних значень напруги. Дискретні повідомлення (на противагу неперервним) характеризуються кінцевим числом значень на нескінченному інтервалі часу. Наприклад, декілька томів художнього твору мають кінцеве число символів (літер), які необхідно передати. Переваги цифрових методів відображення, оброблення, передавання, накопичення і зберігання інформації забезпечують їм переважне використання. В даний час для збільшення швидкості передавання інформації використовують різні методи цифрового перетворення – зокрема стиснення інформації. У даній статті досліджено ефективність передавання інформації двосимвольними ансамблями у симплексних системах на базі таймерних сигнальних конструкцій. Таймерне кодування, на відміну від позиційного, за якого інформація про символ, що передається, визначається видом сигналу на найквістовому інтервалі, зберігає закладену інформацію у довжині декількох окремих часових відрізків сигналу τ_{ci} і їх взаємне положення. При цьому, тривалість кожного з відрізків сигналу не менше найквістового інтервалу: $\tau_{ci} = t_0 + z\Delta$. Зроблено порівняння інформаційних параметрів двосимвольних ансамблів при позиційному і таймерному кодуванні. Визначені інформаційна ємність найквістового елемента і вплив числа надлишкових елементів ($r = n - m$) на ентропію повідомлення при позиційному блоковому кодуванні. Визначені оптимальні параметри таймерних сигнальних конструкцій, що впливають на потужність кодової множини. Запропоновано таймерні сигнальні конструкції як механізм кодового ущільнення, за якого забезпечується передача в одному кодовому слові інформації про стан більше двох джерел.

Ключові слова: ансамбль, кодування, інформаційні елементи, кодова множина, таймерні сигнали, найквістові елементи.

Abstract. The theory of electrical communication provides transmission of two types of information (messages): continuous messages and discrete. Continuous messages are characterized by an infinite number of their values on a finite time interval. An example of such a message may be the value of a quantity of the direction power of the microphone output: the greater the resolving power of the measuring device, the more different voltage values. Discrete messages (as opposed to continuous ones) are characterized by a finite number of values over an infinite time interval. For example, several volumes of a work of art have a finite number of characters (letters) that must be transferred. Advantages of digital methods of display, processing, transmission, accumulation and storage of information provide them with the primary use. Actually, various methods of digital conversion are used to increase the speed of information transfer - particularly, information compression. In this article were researched the efficiency of information transmission by two-character ensembles in simplex systems based on timed signal constructions. Timer coding, as opposed to positional, in which the information of the transmitted symbol is determined by the type of signal on the nyquist interval, keeps stored information in the length of several separate time segments of the signal τ_{ci} and their mutual position. In this case, the duration of each of the signal segments is not less than the nyquist interval: $\tau_{ci} = t_0 + z\Delta$. Comparison of information parameters of two-character ensembles at positional and time coding had been made. Determined the information capacity of the nayquist element and the influence of the number of redundant elements ($r = n - m$) on entropy of the message at positional block coding. Optimal parameters of timed signal constructions for the code set affecting power were determined. Timer signal constructions are proposed as a code summarization mechanism, which provides transmission of information about the state of more than two sources in one codeword.

Key words: ensemble, coding, information elements, code set, timed signals, nayquist elements.

В наше время прогресс в научно-технической сфере неразрывно связывает деятельность человека с многочисленными устройствами и услугами, принцип действия которых базируется на обработке и передаче информации. С каждым годом количество таких устройств и услуг увеличивается лавинообразным способом. Это обуславливает рост все большей потребности в передаче информации по каналам связи. Получение пропускной способности, которая превышает скорость модуляции, возможно только в том случае, когда каждый элементарный сигнал длительностью $t_0 = 1 / \Delta F$ (найквистовый элемент) переносит больше одного бита информации.

Целью статьи является проведение сравнения информационных параметров двухсимвольных ансамблей симплексных систем при позиционном и таймерном кодировании, определить энтропию и информационную емкость найквистового элемента при отдельных методах кодирования.

Анализ позиционных равномерных кодов. Сигнальные конструкции равномерных простых и избыточных позиционных кодов отличаются количеством элементов n в кодовых конструкциях [1].

$$n = m + r, \quad (1)$$

где m количество информационных элементов в кодовом слове; r – количество избыточных элементов.

Количество информационных элементов определяется максимальным номером объекта N_m о котором ведется передача [2]

$$m = E^+[\log_2 N_m], \quad (2)$$

где E^+ – символ ближайшего целого числа $\log_2 N_m^+$. Например, при необходимости передавать 32 символа букв русского языка $m = E^+[\log_2 32] = 5$. Если необходимо передавать 32 буквы и 10 цифр, то $m = E^+[\log_2 42] = 6$, так как пятью элементами нельзя передать более 32 букв.

Слагаемое r определяется по формуле Варшавова-Гильберта [3].

$$2^{n-m} \geq \sum_{i=0}^{d_0-2} C_{n-1}^i. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что если при заданных параметрах n , m и d_0 удовлетворяется условие (3), то существует код, который можно реализовать с помощью не более чем $n - m$ проверок на четность. Рассмотрим пример реализации кода, имеющего $n = 63$, который исправляет двухкратные ошибки $t_u = 2$.

Учитывая связь кратности, исправляемость ошибки t_u и кодового расстояния d_0 [4]

$$d_0 = 2t_u + 1 \quad (4)$$

из (3) следует

$$2^{n-m} \geq \sum_{i=0}^3 C_{63}^i = 1 + 63 + 1953 = 2017.$$

Из последнего выражения следует, что неравенство (3) будет удовлетворяться при $n - m = r = 11$, так как $2^{11} = 2048$. Например, при $n = 63$; $r = 11$, $m = 63 - 11 = 52$ получаем искомый код [63; 52], но, к сожалению, метод синтеза его не найден.

Из приведенного выше следует, что количество избыточных r элементов определяется числом информационных элементов m и требуемым кодовым расстоянием d_0 .

В табл. 1 даны значения числа избыточных элементов m в зависимости от r при $m \in 1...25$; $d_0 \in 2...6$.

Таблица 1 – Количество проверочных элементов

$d_0 \backslash m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	21	25
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	9	5	6
4	3	5	5	6	6	7	7	7	9	8	9	9	10
5	4	7	8	8	9	9	10	10	10	11	13	13	14
6	5	9	10	11	11	12	12	13	13	14	16	17	17

Из табл. 1 следует, что с увеличением d_0 при одном и том же m число избыточных (проверочных) элементов может превышать m . Например, $m = 5$, $d_0 = 4$ число избыточных элементов равно 6, что говорит о низкой эффективности кода (скорость передачи информации кодом определяется как): $K_u = \frac{m}{m+r} < 0,5$.

Изменяя кодовое расстояние d_0 можно синтезировать кодовое множество с различным значением количества информационных элементов.

Примером могут служить циклические коды с различными образующими полиномами $F_i(x)$ [4].

В табл. 2 даны значения m и d_0 при постоянном значении $n = 31$.

Таблица 2 – Значения m и d_0

n	m	d_0	$F_i(x)$
31	26	3	45
	21	5	75
	16	7	67
	11	11	57
	6	15	73

Следует отметить, что постоянство значения n в табл. 2 ($n = 31$) при изменении количества информационных элементов обеспечивает различную энтропию H (информационное содержание кодовых слов в битах ($H = m$)) и информационную емкость найквистового элемента I_n

$$I_n = \frac{m}{n}. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что I_n равно единице для простых кодов ($m = n$) и меньше единицы для избыточных кодов ($m \neq n$)

$$\begin{cases} I_n = 1 \text{ при } r = 0, \\ I_n < 1 \text{ при } r \neq 0. \end{cases} \quad (6)$$

Выражение (6) характеризует низкую эффективность позиционных двоичных кодов по информационной емкости найквистового элемента: значение $I_n \leq 1$. Причиной этого является невозможность синтеза на временном интервале $T_{ck} = mt_0$ большего количества кодовых слов чем 2^m .

$$N_p = 2^m.$$

Следовательно, для увеличения количества реализаций на заданном интервале m элементов, необходимо уменьшить энергетическое расстояние между кодовыми словами. Инструментом такого уменьшения могут быть только таймерные сигнальные конструкции [5].

Особенности таймерного кодирования. В отличие от позиционного способа кодирования, когда информация о передаваемом символе определяется видом сигнала на единичном (найквистовском) интервале, в таймерных сигнальных конструкциях (ТСК) информация заложена в продолжительностях (длинах) нескольких отдельных временных отрезков сигнала τ_{ci} и их взаимном положении (рис. 1). С целью уменьшения межсимвольных искажений продолжительность каждого из отрезков сигнала в сигнальной конструкции не менее найквистового интервала

$$\tau_{ci} = t_0 + z\Delta, \quad (7)$$

где z – целое число; $z \in 0 \dots z_0$.

Временной отрезок Δ показывает часть единого элемента $t_0 > \Delta \frac{t_0}{s}$ и определяется помехами, в канале и допустимой вероятностью ложного приема сигнальной конструкции ($s \in 2, 4, \dots, s_0$).

На рис. 1 показаны диаграммы реализации нескольких ТСК на интервале $T_{ck} = 35\Delta$.

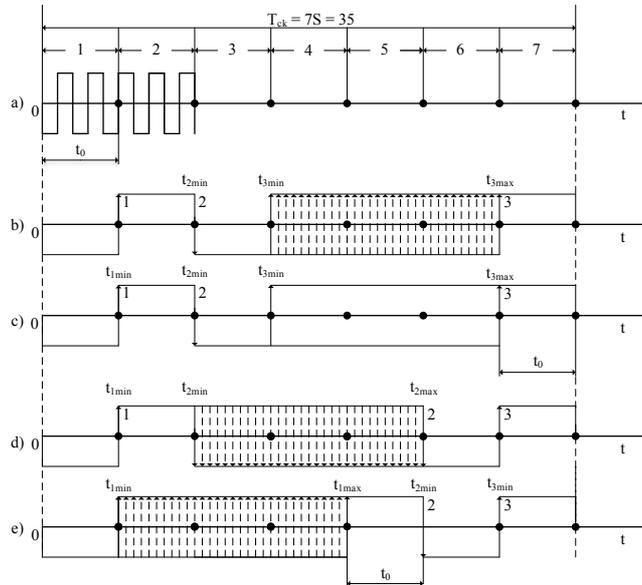


Рисунок 1 – Реализации ТСК при $s = 5$; $m = 7$; $i = 3$; $t_{1min} = 5\Delta$; $t_{2min} = 10\Delta$; $t_{3min} = 15\Delta$; $t_{1max} = 20\Delta$; $t_{2max} = 25\Delta$; $t_{3max} = 30\Delta$

На рис. 1,а представлено 7 найквистовых элементов длиной $t_0 = \Delta \frac{1}{\Delta F}$. Каждый найквистовый элемент равен длительности пяти элементов $\Delta \left(\frac{t_0}{\Delta} = s \right)$.

Первое слагаемое выражения (7) обеспечивает установление переходного процесса на выходе канала при передаче всех i отрезков каждой сигнальной конструкции, а вторые ($z\Delta$) во всех сигнальных конструкциях несут информацию о передаваемых словах.

Рис. 1,б отражает минимальные значения длительностей отрезков, и показано зону (заштриховано), позволяющую методом смещения третьего перехода на интервалы Δ вправо в зоне $\tau_{3min} \dots \tau_{3max}$ синтезировать разрешенное множество, $N_p = 15$ комбинаций.

Следует отметить, что при $\tau_{1min} = t_0$ и $\tau_{3min} = t_0$. За счет смещения только третьего перехода реализуется 15 комбинаций.

На рис. 1, в) показано реализацию одной из возможных комбинаций за счет смещения конца отрезка 3 на величину Δ .

- первый отрезок $\tau_{1min} = 5\Delta = t_0$;
- второй отрезок $\tau_{2min} = 5\Delta = t_0$;
- третий отрезок $\tau_{3min} = 5\Delta + \Delta = 6\Delta = t_0 + \Delta$.

Анализируя метод формирования ТСК с учетом рис. 1, можно установить [4], что мощность реализуемого множества (N_p) определяется:

- 1) числом информационных отрезков i ;
- 2) интервалом реализации m элементов;
- 3) величиной $\Delta = t_0/s$

$$N_p = C_{ms-(s-1)}^i \quad (8)$$

Преобразовав выражение (8), можно получить [5]

$$N_p = \frac{(ms - i(s - 1))!}{i!(ms - is)!} \quad (9)$$

В табл. 3 дано количество реализаций ТСК при $i_1 = 3$; $i_2 = 5$. Для $m \in 4...10$ для $s \in 2...7$ и количество реализаций позиционных сигналов конструкции N_{pn} .

Таблица 3 – Количество реализаций ТСК

i	s	m	4	5	6	7	8	9	10
		N_{pn}	16	32	64	128	256	512	1024
3	2		10	35	84	165	286	455	680
	4		35	165	455	969	1771	2925	4495
	6		84	455	1330	2925	5456	9139	14190
	7		120	680	2024	4495	8436	14190	22100
5	2			1	21	126	462	1287	3003
	4			1	126	1287	6188	20349	53130
	6			1	462	6188	33649	118755	324632
	7			1	792	11628	65780	237336	658008

Проанализировав табл. 3, можно сделать выводы:

1. При $i = m$ независимо от s возможна одна реализация.
2. При $m > i$ с увеличением s количество реализаций увеличивается.
3. При $s > 2$ для $m \in 4...5$ количество реализаций увеличивается с ростом s ;
4. При $5 < m \in 5...6 < 6$ для $s = 7$; $i = 3$ возможна передача двух символов русского языка одной комбинацией, так как $N_p > 1024(32 \times 32 = 1024)$.
5. При реализации передачи одним кодовым словом длиной $T_k = 8t_0$ следует воспользоваться табл. 3.
6. При $i = 5$; $s = 7$; $m = 8$, так как в этом случае число $N_p > 65780 > 256 \times 256 = 65536$.

Проведенный анализ показывает, что таймерные сигнальные конструкции позволяют реализовать кодовое уплотнение путем уменьшения энергетического расстояния между двумя кодовыми словами, обеспечивая передачу в одном кодовом слове информации о состоянии двух и более источников.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Korchynskii V.V. Methods of assessing the security of communication systems of special purpose / V.V. Korchynskii, V.I. Kildishev, A.M. Berdnikov // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2017. – № 2. – С. 101–107.
2. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / [А.Г. Зюко, А.Ч. Фалько, В.Л. Банкет и др.]. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с..
3. Удалов А.П. Избыточное кодирование при передаче информации двоичными кодами / А.П. Удалов, Б.А. Супругин. – М.: Связь, 1964. – 270 с.
4. Мешковский К.А. Кодирование в технике связи / К.А. Мешковский, Н.Е. Кирилов. – М.: Связь, 1966. – 324 с.
5. Захарченко М.В. Системы передавання даних. Том 1: Завадостійке кодування: підручник. – Одеса: Фенікс, 2009. – 448 с.

REFERENCES:

1. Korchynskii V.V. Methods of assessing the security of communication systems of special purpose / V.V. Korchynskii, V.I. Kildishev, A.M. Berdnikov // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2017. – № 2. – С. 101–107.
2. G, Zyuko A, et al. "Pomehousoichivost I effektivnost system peredachi informatsii" Radio i sviaz, 1985, p. 272.
3. P, Udalov A, and Suprugin B A. "Izbytochnoe kodirovanie pri peredache informatsii dvoichnyimi kodami" Sviaz, 1964, p. 270.
4. A, Meshkovsky K, and Kirilov N E. "Kodirovanie v tehnikе svyazi". – M., Sviaz, 1966, p. 324.
5. V, Zakharchenko N. "Sistemi peredavannya danih" Phoenix, vol. 1. Zavodostiyke koduvannya, 2009, p. 448.