

УДК 621.391

**УВЕЛИЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ОДНОГО ЭЛЕМЕНТА КОДА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТАЙМЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ**

ЗАХАРЧЕНКО Н.В., ГОЛЕВ Д.В., ТОЛКАЧЕВ А.В., БАСОВ В.Е.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
ул. Кузнечная, 1, Одесса, 65029, Украина
denis_veteran@ukr.net*

**ЗБІЛЬШЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ ОДНОГО ЕЛЕМЕНТА КОДУ
ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ТАЙМЕРНОГО КОДУВАННЯ**

ЗАХАРЧЕНКО М.В., ГОЛЕВ Д.В., ТОЛКАЧЕВ А.В., БАСОВ В.Є.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
вул. Кузнечна, 1, Одеса, 65029, Україна
denis_veteran@ukr.net*

**INCREASE INFORMATION CAPACITY OF ONE ELEMENT OF CODE
IN THE PROCESS OF USING TIMER CODING**

ZAKHARCHENKO N.V., GOLEV D.V., TOLKACHEV A.V., BASOV V.E.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications
Kuznechna st., 1, Odessa, 65029, Ukraine
denis_veteran@ukr.net*

Аннотация. Оценивается целесообразность использования ансамблей кодовых конструкций с различной энтропией при постоянной длительности реализаций $T_{ck} = mt_0$. Рассматриваются методы увеличения информационной емкости найквистового элемента при постоянной длительности кодовой конструкции. Оценена информационная емкость ансамблей кодовых слов, реализованных на интервалах $m \in 3 \div 10$ при заданном значении Δ , определяемого параметрами помех в реальном канале. Оценена относительная скорость уменьшения суммарной информационной емкости с увеличением « m ».

Ключевые слова: позиционные коды, кодовое расстояние, кратность ошибки, энтропия, найквистовый элемент, информационная емкость, таймерная сигнальная конструкция, энергетическое расстояние, уравнение качества.

Анотация. Оцінюється доцільність використання ансамблів кодових конструкцій з різною ентропією при постійній тривалості реалізацій $T_{ck} = mt_0$. Розглядаються методи збільшення інформаційної ємності найквистового елемента при постійній тривалості кодової конструкції. Оцінена інформаційна ємність ансамблів кодових слів, що реалізовані на інтервалах $m \in 3 \div 10$ при заданому значенні Δ , що визначається параметрами завад в реальному каналі. Оцінена відносна швидкість зменшення сумарної інформаційної ємності зі збільшенням « m ».

Ключові слова: позиційні коди, кодова відстань, кратність помилки, ентропія, найквистовий елемент, інформаційна ємність, таймерна сигнальна конструкція, енергетична відстань, рівняння якості.

Abstract. Feasibility of use of ensembles of code constructions with different entropy with the constant duration of implementations $T_{ck} = mt_0$ is estimated. Methods of increase of information capacity of a Nyquist interval are considered with the constant duration of code construction. The information capacity of ensembles of the code words realized on intervals $m \in 3 \div 10$ in case at a set value Δ , determined by parameters of noises in the real channel is. Relative speed of reduction of summary information capacity with increase « m » is estimated.

Key words: positional codes, code distance, multiplicity of the error, entropy, Nyquist interval, information capacity, timer signal construction, energetic distance, quality equation.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения приемлемого качества работы системы передачи информации (СПИ) в нестационарном канале связи необходимо поддерживать вероятность ошибки (верность передачи информации) на уровне, не превышающем некоторую предельно допустимую величину. Чтобы быть инвариантной к помехам в канале связи, система должна обладать способностью оценивать качество канала, прогнозировать его поведение, адаптироваться к изменяющимся условиям передачи. Для обеспечения последнего свойства используются разные виды сигнальной избыточности.

Важнейшей характеристикой цифровой связи является и помехоустойчивость, которая может быть обеспечена как применением эффективных способов приема и обработки сигналов, так и помехоустойчивым кодированием информации. Эффективность СПИ может быть существенно повышена за счет применения современных методов модуляции и помехоустойчивого кодирования. Они позволяют более полно использовать пропускную способность канала при высокой правильности передачи.

Целью статьи является оценка целесообразности использования ансамблей кодовых конструкций с различной энтропией для увеличения информационной емкости одного элемента кода при использовании таймерного кодирования.

НЕДОСТАТКИ ПОЗИЦИОННОГО КОДИРОВАНИЯ

При передаче по каналам связи информация кодируется, т.е. подлежащие передаче символы (буквы) номеруются в системе счисления, соответствующей числу различных значений информационного a параметра канала [1]. Для двоичного канала $a = 2$ («+», «-») или $(\mp, 0)$. В табл. 1 представлены номера чисел $N \in 1 \div 10$ в десятичной $N_{(10)}$ и двоичной $N_{(2)}$ системах.

Таблица 1 – Числа 1...10 в десятичной $N_{(10)}$ и двоичной $N_{(2)}$ системах счисления

$N_{(10)}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_{(2)}$	000 ^v 1	00 ^v 10	00 ^v 11	0 ^v 100	0 ^v 101	0 ^v 110	0 ^v 111	0 ^v 1000	0 ^v 1001	0 ^v 1010

Как следует из табл. 1 первичная запись десятичных номеров имеет различное число цифр (0; 1). Для получения равномерных кодов после последней слева 1 дописывают 0 так, чтобы число двоичных цифр соответствовало максимальному значению номера в десятичной системе счисления. В табл. 1 первый 0 после 1 обозначен меткой v .

Каждая двоичная цифра передается в канале соответствующим сигналом, имеющим длительность τ_0 , обеспечивающей окончание переходного процесса на выходе канала [1]

$$\tau_0 = \frac{1}{\Delta F}, \quad (1)$$

где ΔF – полоса пропускания канала, а τ_0 – длительность найквистового элемента [1]. Из изложенного следует, что при позиционном кодировании расстояние между моментами модуляции (изменение значения информационного параметра) кратное t_0 .

Из последнего можно сделать вывод, что минимальное энергетическое расстояние между кодовыми словами определяется энергией найквистового элемента. Последнее приводит к большой длине кодовых сигнальных конструкций при позиционном кодировании.

ОСОБЕННОСТИ ТАЙМЕРНОГО КОДИРОВАНИЯ

В таймерных сигнальных конструкциях кодовые слова [2] состоят из нескольких информационных отрезков, удовлетворяющих условию

$$\tau_{ci} = t_0 + z\Delta; \quad \Delta = \frac{t_0}{S}; \quad S, z - \text{целые числа}, \quad (2)$$

где Δ – минимальное значение изменения длины отрезков, обеспечивающее различие их при данных параметрах помех в канале [2].

Положение этих отрезков и их длительности обеспечивают формирование ансамблей передаваемых сигналов.

Общее количество реализаций N_p при заданных m , S и i определяется выражением [2]

$$N_p = \frac{[mS - i(S-1)]!}{i!(mS - iS)!}. \quad (3)$$

В табл. 2 в числителе дано количество реализаций на интервалах $T_{ck} = mt_0$ ($m \in 4 \dots 10$), вычисленных по формуле (3), а в знаменателе информационная емкость одного элемента J_H [3]

$$J_H = \frac{\log_2 N_p}{m} = \frac{H}{m}. \quad (4)$$

Таблица 2 – Количество реализаций ТСК и количество информации в одном найквистовом элементе при $i = 3$

$m \backslash S$	4	5	6	7	8	9	10
	$2^4 = 16$	$2^5 = 32$	$2^6 = 64$	$2^7 = 128$	$2^8 = 256$	$2^9 = 512$	$2^{10} = 1024$
2	10/0,83	35/1,026	84/1,065	165/1,052	286/1,02	455/0,98	680/0,941
4	35/1,282	165/1,473	455/1,472	969/1,417	1771/1,349	2925/1,279	4495/1,213
6	84/1,598	455/1,766	1330/1,730	2925/1,645	5456/1,552	9139/1,462	14190/1,379
7	120/1,727	680/1,882	2024/1,831	4495/1,733	8436/1,630	14190/1,533	22100/1,443
8	165/1,842	969/1,984	2925/1,919	6545/1,811	12341/1,699	20825/1,594	32509/1,499

В выражении (4) через H обозначена энтропия (информационный объем в битах) кодового слова.

Из табл. 2 следует, что:

1 С увеличением S при $m = \text{const}$ увеличивается количество реализаций. Пределом выбираемого значения S является вероятность ошибочного приема минимум одного информационного отрезка, искаженного на длину $\Theta \geq \Delta/2$.

2 С увеличением m при $i = \text{const}$ и $S = \text{const}$ количество реализаций увеличивается: следовательно увеличивается и энтропия (H).

3 С ростом m информационная емкость найквистового элемента до $m = 5$ включительно также увеличивается для всех значений S .

4 При $m > 5$, $S = \text{const}$ информационная ёмкость J_H найквистового элемента медленно уменьшается.

С целью оценки влияния параметра « i » при изменении « m » и « S » проанализируем таблицу 3, в которой приведены величины информационной емкости найквистового элемента для $S \in 6,7,8$ при $i \in 3,4,5$ для $m \in 3 \div 10$.

Таблица 3 – Информационная емкость найквистового элемента

i	S	m	3	4	5	6	7	8	9	10
3	6	J_H	0	1,598	1,765	1,729	1,644	1,551	1,461	1,379
	7	J_H	0	1,726	1,881	1,830	1,733	1,630	1,532	1,443
	8	J_H	0	1,841	1,984	1,919	1,810	1,698	1,594	1,498
4	6	J_H	–	0	1,542	1,804	1,833	1,790	1,722	1,647
	7	J_H	–	0	1,673	1,929	1,946	1,891	1,814	1,731
	8	J_H	–	0	1,790	2,040	2,045	1,980	1,894	1,804
5	6	J_H	–	–	0	1,475	1,799	1,879	1,873	1,930
	7	J_H	–	–	0	1,604	1,929	2,000	1,984	1,932
	8	J_H	–	–	0	1,721	2,044	2,107	2,081	2,022

Анализ табл. 3 показывает:

- 1) при $i \geq m$ информационная ёмкость найквистового элемента равна 0;
- 2) с увеличением S при любых значениях i для $i < m = const$ информационная ёмкость найквистового элемента тоже увеличивается;
- 3) с увеличением i при одних и тех же значениях S и $m > i$ информационная ёмкость J_H растёт;
- 4) с увеличением i значение m с максимальным значением J_H смещается вправо;
- 5) при необходимости передавать ансамбли из двух символов русского языка мощностью $N_p = 2^5 \cdot 2^5 = 1024$ реализаций целесообразно пользоваться ансамблем с максимальной информационной емкостью при $m = 5$;

б) при необходимости передавать ансамбли с мощностью $N_p' < 1024$ целесообразно подбирать из множеств с различным числом i и $m = 5$ так, чтобы $\sum N_{pi} \geq N_p'$.

Выполнение указанных рекомендаций позволяет использовать для передачи всех подмножеств при одном и том же цикле передачи $T_{пер} = const = m$, $S = const$ [3].

Оценим информационную емкость ансамблей кодовых слов, реализованных на интервалах $m \in 3..10$ при заданном значении Δ , определяемого параметрами помех в реальном канале. Например, возьмем канал ГТС, используемый в работе [5] при $S = 7$, $m = 5$, обеспечивающий вероятность ошибки $(5 \cdot 10^{-5} \div 10^{-5})$. Тогда мощность отдельных ансамблей для каждого значения m для всех i вычисляется согласно выражению (2).

В таблице 4 дано количество реализаций для $m \in 3..10$; $S = const = 7$ для $i \in 1..10$, рассчитанное по формуле (3).

Таблица 4 – Ансамбли кодовых слов при $S = 7$

i	m							
	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15	22	29	36	43	50	57	64
2	36	120	253	435	666	946	1275	1653
3	1	120	680	2024	4495	8436	14190	22100
4	0	1	330	3060	12650	35960	82251	163185
5	0	0	1	792	11628	65780	237336	658008
6	0	0	0	1	1716	38760	296010	1344904
7	0	0	0	0	1	3432	116280	1184040
8	0	0	0	0	0	1	6435	319770
9	0	0	0	0	0	0	1	11440
10	0	0	0	0	0	0	0	1

Учитывая, что достоверное сообщение о том, что из всех событий x_i получено (или передано) именно сообщение x_i^* «несёт» в себе информацию, равную [4]

$$J(x_i^*) = \log_2 \frac{1}{P(x_i^*)}, \quad (5)$$

где $P(x_i^*)$ – вероятность появления x_i^* .

Так как $\frac{1}{P(x_i^*)}$ соответствует числу событий $N(x_i^*) \left(\frac{1}{P(x_i^*)} = N(x_i^*) \right)$, то количество информации (H), передаваемое на интервале $T_c = mt_0$ при заданном значении S , определяется числом реализаций при известных m и S (3)

$$H(x_i) = \log_2 N_p(x_i^*). \quad (6)$$

В табл. 5 даны значения энтропии (H) при $m \in 3..10$ для $S = 7$ и значения информационной емкости найквистового элемента J_H , рассчитанное по формуле (4)

$$J_H = \frac{\log_2 N_p}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{[mS - i(S - 1)]!}{i!(mS - iS)!}. \quad (7)$$

Оценена относительная скорость уменьшения суммарной информационной ёмкости с увеличением m

$$K = \frac{\sum J_{Hm+1}}{\sum J_{Hm}}. \quad (8)$$

В строке $\sum N_{pi}$ даны суммарные мощности ансамблей при каждом значении m с учетом всех i . Следует особенно подчеркнуть, что данные количества реализаций соответствуют только таймерным сигнальным конструкциям со значением $\Delta = \frac{1}{7}t_0 = 0,1428t_0$ (параметр $S = 7$). Если канал будет иметь другие статистические параметры помех (например, отношение $h = \frac{U_c}{U_u}$), то численные значения реализаций в ансамблях необходимо пересчитывать.

Таблиця 5 – Информационные параметры H и J_H при $S = 7$; $m \in 3 \dots 10$

m	3		4		5		6	
i	H	J_H	H	J_H	H	J_H	H	J_H
1	3,907	1,302	4,459	1,115	4,858	0,972	5,17	0,862
2	5,17	1,723	6,907	1,727	7,983	1,597	8,765	1,461
3	0	0	6,907	1,727	9,409	1,882	10,983	1,831
4	–	–	0	0	8,366	1,673	11,579	1,93
5	–	–	–	–	0	0	9,629	1,605
6	–	–	–	–	–	–	0	0
7	–	–	–	–	–	–	–	–
8	–	–	–	–	–	–	–	–
9	–	–	–	–	–	–	–	–
10	–	–	–	–	–	–	–	–
$\sum N_{P_i}$	52		263		1293		6348	
$\sum H$	9,077		18,273		30,616		46,126	
$\sum J_H$		3,025		4,568		6,123		7,688
K			1,51		1,34		1,256	

m	7		8		9		10	
i	H	J_H	H	J_H	H	J_H	H	J_H
1	5,426	0,775	5,644	0,706	5,833	0,648	6	0,6
2	9,379	1,34	9,886	1,236	10,316	1,146	10,691	1,069
3	12,134	1,733	13,042	1,63	13,793	1,533	14,432	1,443
4	13,627	1,947	15,134	1,892	16,328	1,814	17,316	1,732
5	13,505	1,929	16,005	2,001	17,857	1,984	19,328	1,933
6	10,745	1,535	15,242	1,905	18,175	2,019	20,359	2,036
7	0	0	11,745	1,468	16,827	1,87	20,175	2,018
8	–	–	0	0	12,652	1,406	18,287	1,829
9	–	–	–	–	0	0	13,482	1,348
10	–	–	–	–	–	–	0	0
$\sum N_{P_i}$	31198		153365		753835		3705165	
$\sum H$	64,816		86,698		111,781		140,07	
$\sum J_H$		9,259		10,838		12,42		14,008
K	1,204		1,171		1,146		1,128	

Проанализируем параметры табл. 5:

- 1) как и в табл. 2 максимальная емкость найквистового элемента в табл. 5 соответствует $m = 5$, $i = 3$;
- 2) суммарная мощность ансамблей $\sum N_{p_i}$ растёт с увеличением m ;
- 3) суммарное значение J_H в табл. 5 растёт с увеличением m за счёт использования реализаций при всех значениях i ;
- 4) относительная скорость изменения суммарной информационной ёмкости с увеличением m уменьшается с различным ускорением $\frac{H_{(m+1)}}{H_{(m)}} > \frac{H_{(m+2)}}{H_{(m+1)}}$.

ВЫВОДЫ

- 1) Из табл. 5 следует, что при каждом значении m в двоичном канале суммарная информационная ёмкость H в несколько раз может превышать длительность кодового слова m .
- 2) Суммарная информационная ёмкость (H) найквистового элемента в двоичном канале в десятки раз может превышать длительность кодовой конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Зюко А.Г., Фалько А.И., Банкет В.Л., Иващенко П.В. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 232 с.
- 2 Захарченко Н.В. Эффективность компенсации избыточности кода при использовании таймерных сигналов / Н.В.Захарченко, В.Е.Басов // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – Вип.31. – К.: 2005. – С. 6–13.
- 3 Захарченко Н.В. Информационные параметры таймерных сигнальных конструкций при кодовом уплотнении канала / Захарченко Н.В., Горохов С.М., Кочетков А.В., Горицкий В.М., Толкачев А.В. // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова. – 2016. – № 2. – С. 25–29.
- 4 Фельдбаум А. А. Теоретические основы связи и управления / Фельдбаум А.А., Дудыкин А.Д., Мановцев А.П., Миролубов Н.Н.. – М.: Физматгиз, 1963. – 932 с.
- 5 Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / Выгодский М.Я.. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 991 с.

REFERENCES

- 1 Zyuko A.G., Falko A.I., Banket V.L., Ivaschenko P.V. Pomehoustoychivost i effektivnost sistem peredachi informatsii / Pod red. A.G. Zyuko. – M.: Radio i svyaz, 1985. – 232 s.
- 2 Zaharchenko N.V. Effektivnost kompensatsii izbytochnosti koda pri ispolzovanii taymernykh signalov / N.V. Zaharchenko, V.E. Basov // Modelyuvannya ta Informatsiyni tehnologiyi: zb. nauk prats. – Vip.31. – K.: 2005.– S. 6–13.
- 3 Zaharchenko N.V. Informatsionnyie parametryi taymernykh signalnyih konstruksiy pri kodovom uplotnenii kanala /Zaharchenko N.V, Gorohov S.M., Kochetkov A.V., Goritskiy V.M., Tolkachev A.V. // Naukovi pratsi ONAZ Im. O.S. Popova. – 2016. – #2. – S. 25–29.
- 4 Feldbaum A. A. Teoreticheskie osnovyi svyazi i upravleniya / Feldbaum A.A., Dudyikin A.D, .Manovtsev A.P, Mirolyubov N.N.. – M.: Fizmatgiz, 1963. – 932 s.
- 5 Vyigodskiy M.Ya. Spravochnik po vyisshey matematike / M.Ya.Vyigodskiy. – M.: AST: Astrel, 2006. – 991 s.