

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСФОРМАЦІЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ
В НОВУ ЯКІСТЬ У КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ З МОДЕЛЛЮ ГІЛЬБЕРТА****ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСФОРМАЦИИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ
В НОВОЕ КАЧЕСТВО В КАНАЛАХ СВЯЗИ С МОДЕЛЬЮ ГИЛЬБЕРТА****EFFICIENCY OF TRANSFORMATION OF THE TRANSFER RATE
IN NEW QUALITY IN DATA LINKS WITH HILBERT'S MODEL**

Анотація. Проведено аналіз ефективності обміну якости передачі на інтервалах «хорошого» стану нестационарного каналу на швидкість передавання при використанні таймерних сигнальних конструкцій з наступним обміном її на нову якість за допомогою розрядно-цифрових кодів.

Аннотация. Проведен анализ эффективности обмена качества передачи на интервалах "хорошего" состояния канала на скорость передачи при использовании таймерных сигнальных конструкций с последующим обменом её на новое качество с помощью разрядно-цифровых кодов.

Summary. The analysis of efficiency of an exchange of quality of transmission on intervals of a "good" camp of the non-stationary channel on a transfer rate is carried out at usage timers signal constructions with its following exchange for new quality by means of bit-digital codes.

Забезпечення достовірного приймання при мінімальних часових затратах інформації в системах передачі даних завжди було актуальною проблемою.

Вирішення даної проблеми здійснюється двома методами: надлишковими кодами, що виправляють помилки, в одnobічних системах передачі [1]; адаптивними методами передачі в системах з вирішальним зворотним зв'язком (ВЗЗ) [1].

На жаль більшість досліджень з синтезу оптимальних сигнальних конструкцій орієнтовані на гаусові канали без пам'яті. Відомі методи знаходження параметрів завадостійкого коду спрямовані на визначення оптимальної величини надлишковості для забезпечення заданої вірності приймання [1,2]. Однак вибір навіть мінімального припустимого значення надлишковості розрядно-цифрового коду (РЦК) знижує швидкість передавання інформації в каналі. Аналіз показує, що при розрахунках параметрів надлишкового коду не враховується надмірний запас завадостійкості для бінарної системи передачі в реальних каналах зв'язку.

Метою даної роботи є аналіз ефективності обміну якости передавання на інтервалах "хорошого" стану нестационарного каналу на швидкість передавання з наступним обміном її на якість за допомогою надлишкових кодів.

Такий обмін обґрунтований особливостями розподілу помилок у реальних каналах, більшість яких є нестационарними. Наприклад, кабельні канали низових ланок автоматизованих систем управління (АСУ) описуються моделлю Гільберта з i -станами, комутовані канали місцевої телефонної мережі (МТМ) моделлю Елліота-Гільберта, яка має два стани: «хороший» стан, в якому ймовірність вірного прийому на кілька порядків більша від середньої ймовірності; "поганий" стан, в якому ймовірність вірного прийому прямує до 0,5. Статистичні дослідження реальних каналів показують, що вони 98 ... 99% свого часу перебувають в "хорошому" стані, а 1 ... 2% – у "поганому".

Якщо врахувати той факт, що на інтервалі "хорошого" стану каналу співвідношення сигнал/шум $h \geq 10[3]$, а ймовірність одиночної помилки становить $p_x \leq 10^{-9} \dots 10^{-8}$, то виникає досить великий запас на цьому інтервалі з завадостійкості по відношенню до середнього значення ймовірності помилки елемента РЦК.

Наведемо приклад неефективного використання окремих станів нестационарного каналу. Якщо канал має два стани: в першому "хорошому" стані, питома вага якого за часом $\gamma_x = 0,99$, ймовірність помилки $p_x < 10^{-7}$, а в другому "поганому", питома вага якого за часом $\gamma_n = 0,01$, ймовірність помилки $p_n = 0,5$, то середнє значення ймовірності

$$\bar{p}_e = \gamma_x \cdot p_x + \gamma_n \cdot p_n = 0,99 \cdot 10^{-8} + 0,01 \cdot 0,5 \approx 5 \cdot 10^{-3}$$

визначається "поганим" станом. При цьому вибір надлишковості коду потрібно здійснювати або з урахуванням найгіршого стану каналу, або середньої ймовірності помилки.

Оцінимо можливість збільшення швидкості передавання в реальному каналі. Якщо алфавіт каналу дорівнює "a" станів, то на інтервалі $T_c = mt_0$ ($t_0 = 1/\Delta F$) можуть мати місце $N_p = a^m$ реалізацій. Збільшити число реалізацій можливо, зменшивши мінімальний час між моментами модуляції (ММ) в каналі з базою одиниця, тобто використати швидкість вище Найквістової.

Прикладом збільшення швидкості передавання у бінарній системі можуть слугувати таймерні сигнальні конструкції (ТСК) [3]. У ТСК відстань між ММ не менше найквістової, але й не кратна їй. Вона кратна деякому часовому відрізку $\Delta = t_0/S$ ($S \in 2, 3, \dots, k$), а відстань між ММ $\tau_c = t_0 + \Delta i$. Значення S показує наскільки зменшуються Δ по відношенню до t_0 . Така відстань забезпечує усунення міжсимвольних спотворень (МСС) в ТСК.

При РЦК збільшення пропускної здатності відбувається за рахунок зменшення енергетичної відстані між окремими елементами при використанні декількох значень a_k інформаційного параметра (фаз, амплітуд, частот) на інтервалі Найквіста t_0 , що забезпечує максимальне значення пропускної здатності

$$C_{\max} = \log_2 a_k. \quad (1)$$

У ТСК збільшення пропускної здатності здійснюється за рахунок зменшення енергетичної відстані між дозволеними реалізаціями на інтервалі всієї кодової конструкції T_c .

Число дозволених ТСК з i -відрізками на інтервалі T_c дорівнює [5]

$$N_p = C_{mS-i(S-1)}^i \times (a_k - 1)^i, \quad (2)$$

а максимальна кількість інформації, що міститься в ній

$$J_{\max} = \log_2 C_{mS-i(S-1)}^i + i \log_2 (a_k - 1), \quad (3)$$

де $i = 1, \dots, m$ – числом моментів модуляції [3]. При $a_k = 2$ права частина виразу (3) дорівнює нулю і трансформується в (1).

Сумарне число реалізацій $N_{p\Sigma}$ дорівнює

$$N_{p\Sigma} = \sum_{i=1}^m C_{mS-i(S-1)}^i. \quad (4)$$

Пропускна здатність каналу без пам'яті визначається:

$$C = \frac{1}{m} (\log_2 N_{p\Sigma} - H_B), \quad (5)$$

де $\log_2 N_{p\Sigma} = H_{\max}$ – максимальне значення інформації (без втрат), що можна передати сигнальною конструкцією, реалізованою на інтервалі T_c ; H_B – втрати інформації через невизначеність у прийманні сигнальної конструкції внаслідок спотворення сигналів.

Величина втрат інформації за рахунок завад у каналі, що впливає на пропускну здатність, визначається

$$H_B \leq (1 - P_{\Pi}) \log_2 (1 - P_{\Pi}) + P_{\Pi} \log_2 \frac{P_{\Pi}}{N_p - 1}. \quad (6)$$

де P_{Π} – імовірність помилкового прийому сигнальної конструкції.

Ймовірність помилкового і вірного прийому сигнальної конструкції при використанні множини з числом відрізків від 1 до m визначається

$$P_{\Pi} = 1 - \left[2\Phi\left(\frac{2h}{S}\right) \right]^m, \quad (7)$$

$$P_B = 1 - P_{\Pi}, \quad (8)$$

де $\Phi\left(\frac{2h}{S}\right)$ – функція Крампа.

Загальна пропускна здатність з двома станами каналу "хорошому" та "поганому" визначається з урахуванням показників питомої ваги кожного із них

$$\bar{C} = \gamma_X C_X + \gamma_{\Pi} C_{\Pi}. \quad (9)$$

На рис. 1 показані залежності значень \bar{C} від h при $m = 5$, $i = 3$ та $S = 5, 7, 9$.

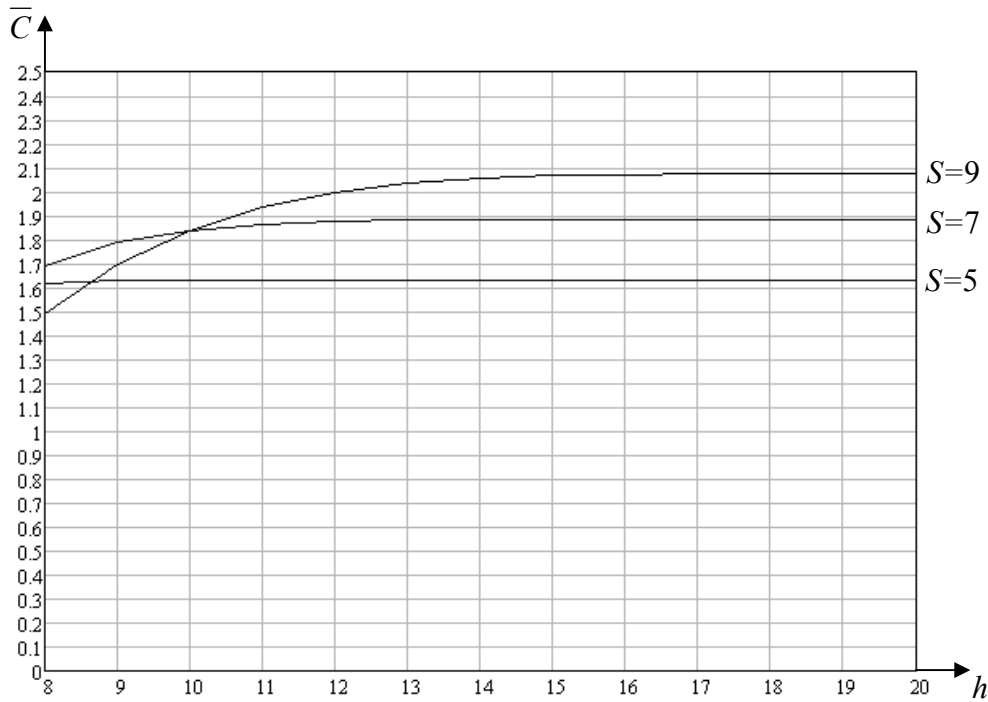


Рисунок 1 – Залежність $\bar{C}(h)$ при $m = 5, i = 3$ та $S = 5, 7, 9$

Аналіз залежностей рисунка показує, що в реальних каналах зв'язку в "хорошому" стані каналу ($h \geq 10$) пропускна здатність каналу при ТСК більше ніж в 2 рази порівняно з РЦК. Тому доцільно для підвищення швидкості передавати більшу частину інформації в "хорошому" стані каналу при використанні ТСК.

Розглянемо можливість трансформації отриманого запасу за швидкістю в якість передавання в комутованому каналі МТМ. Згідно з результатами статистичного вимірювання параметрів каналу МТМ [4]: імовірність «хорошого» стану каналу $p_x < 0,99 \cdot 10^{-8}$, імовірність «поганого» стану каналу $p_x = 0,5$. Для цього проведемо порівняння наступних систем передачі, в яких застосовується:

– код Хеммінга з кількістю інформаційних елементів $m = 5$, кількістю перевірочних елементів $r = 4$, загальною кількістю елементів у кодовому слові $n = 9$, $N_p = 512$ та режим виправлення однократних помилок ($t_B = 1$);

– таймерний сигнал, що дозволяє отримати $N_p = 680$ на інтервалі $5 t_0$ при $i = 3, S = 7$.

Розрахунок параметрів системи передачі з РЦК виконаємо для середнього значення $\bar{p} = 5 \cdot 10^{-3}$ та коефіцієнта групування $\alpha = 0,32$ [4]. Результати представимо в табл. 1, де R – відносна ефективна швидкість передавання. Імовірність помилки кодової комбінації для РЦК $P_n = P(\geq 1, n) = \bar{p} \cdot n^{1-\alpha}$ або з виправленням однократної помилки $P(\geq 2, n) = \bar{p} \cdot (n/2)^{1-\alpha}$.

Для ТСК з урахуванням того, що $2h/S = \Delta/2\sigma$ формула (7) перетворюється в наступний вираз

$$P_n = 1 - \left[2\Phi\left(\frac{\Delta}{2\sigma}\right) \right]^2 \quad (10)$$

При $S = 7$ для "хорошого" стану каналу використовуємо відповідне середньоквадратичне відхилення значущого моменту модуляції фронту $\sigma = 0,0178t_0$ [5].

Таблиця 1 – Розрахункові параметри однобічної системи на базі ТСК та РЦК

№ системи	Тип коду	N_p	R	P_n
1	РЦК ($n = 9, m = 5$)	512	0,55	$2,2 \cdot 10^{-2}$
2	РЦК ($n = 9, m = 5, t_B = 1$)			$1,4 \cdot 10^{-2}$
3	ТСК ($h = 12, m = 5, S = 7$)	680	1,88	$1,79 \cdot 10^{-4}$
4	РЦК ($n = 9, m = 5, t_B = 1$) сумісно з ТСК	680	1,05	$1,12 \cdot 10^{-4}$

З цього прикладу бачимо, що ТСК дозволяють отримати на інтервалі $5t_0$ в 1,3 разів більшу кількість реалізацій ніж при РЦК. При цьому передача ТСК відбувається на інтервалі в 1,8 разів менше ніж при РЦК. Це означає, що на одному і тому ж інтервалі часу T_i можливо передати більшу кількість сигнальних конструкцій ніж при РЦК. Якщо припустити, що на інтервалі T_i кількість помилок у дискретному каналі незмінна, тоді за рахунок збільшення числа переданих сигнальних конструкцій можливе зменшення ймовірності помилки ТСК, що і підтверджують розрахунки. Ймовірність помилки ТСК навіть менше ймовірності помилки РЦК, що виправляє однократні помилки.

З цього випливає, що на інтервалах «хорошого» стану каналу можливо передавати значно більший об'єм інформації ТСК ніж при РЦК. Застосування частини виграшу відносно швидкості передавання дозволить підвищити достовірність передачі за рахунок виправлення помилок завадостійким кодом.

На закінчення можна відзначити, що запас по завадостійкості в бінарній системі можна трансформувати у швидкість з метою збільшення обсягу переданої інформації без втрати якості за рахунок використання оптимальних структур сигнальних конструкцій.

Література

1. *Элементы теории передачи данных дискретной информации* / [Л.П. Пуртов, А.С. Замрий, А.И. Захаров, В. М. Охорозин]. – М.: Связь, 1972. – 232 с.
2. *Захарченко В.Н.* Исследование эффективности систем передачи данных с РОС / В.Н. Захарченко, В.В. Корчинский: зб. наукових праць УДАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 1997. – С. 17-21.
3. *Захарченко В.Н.* Модель потока ошибок при исследовании систем передачи данных с переменными параметрами / Захарченко В.Н., Горохов С.М., Корчинский В.В. // Зб. наук. праць УДАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 1999. – С. 18–22.
4. *Захарченко М.В.* Доцільність параметричної оцінки якості прийому таймерних сигнальних конструкцій за числом значущих моментів відновлення у системах з вирішальним зворотним зв'язком / [М.В. Захарченко, Д.В. Голев, В.Й. Кільдішев, О.Ю. Мірошніченко] // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К., 2005. – Вип. 30. – С. 149–155.
5. *Повышение эффективности блочного кодирования при работе по нестационарным каналам связи* / [Захарченко Н.В., Горохов С.М., Захарченко В.Н. и др.]. – Баку: ЭЛМ, – 2009. – 362 с.