

ПРИСТРІЙ КАНАЛЬНОГО КОДУВАННЯ НА ОСНОВІ КОДІВ КАУТСА-ФІБОНАЧЧІ

О. Д. Азаров, О. В. Кадук

Актуальність

Сьогодні завдяки високим темпам розвитку електроніки створено швидкодійні пристрої, що забезпечують високу щільність, точність та достовірність передачі і реєстрації даних. Вони покладені в основу функціонування систем зв'язку, відео та звукозаписувальної, обчислювальної техніки, яка широко використовується в різних сферах людської діяльності. Зараз найбільш широко використовується цифрова форма представлення інформації. З метою створення максимально ефективних умов передачі у канал зв'язку цифровий потік піддається стискаючому, заводозахисному та каналному кодуванню (КК). Важливу роль в цьому процесі відіграє каналне кодування, що орієнтоване на апаратне забезпечення та досягнення потрібного значення ефективної швидкості передачі інформації. Канальне кодування широко використовуються в техніці реєстрації даних на магнітні носії, що дозволяють оптимізувати такі параметри інформаційного потоку, як коефіцієнт самосинхронізації, кодову швидкість, надлишковість, густину реєстрації, ефективну смугу частот спектру, плавання базової лінії. В сучасних комп'ютерних мережах каналне кодування при передаванні дискретної інформації дозволяє забезпечити синхронізацію між передавачем і приймачем, досягнути мінімального значення постійної складової, тобто мінімального значення постійного струму між передавачем і приймачем, а при використанні оптичних каналів це дозволяє уникнути перевантаження джерела світла. Канальне кодування дає можливість зменшити ширину спектру результуючого сигналу при одній і тій же бітовій швидкості, що дозволяє на одній лінії досягнути більш високої швидкості передавання даних [1, 2].

Мета дослідження

Аналіз характеристик каналного коду, виходячи з показників кодової швидкості, надлишковості, ступеня самосинхронізації, коефіцієнта ефективної швидкості передачі та ін.

Постановка задачі

Актуальними в даній галузі є дві задачі, а саме:

- 1) створення ефективного каналного коду, що зміг би оптимально відповідати вище вказаним вимогам;
- 2) побудова пристрою каналного кодування, що реалізує певний варіант коду.

Розв'язання задач

Розглянемо параметри каналного коду, по яким буде визначатись його ефективність. У випадку КК інформаційна комбінація з b символів вхідного двійкового коду заміщується p символами каналного коду. Відношення числа символів b до p називають кодовою швидкістю

$$V_k = \frac{b}{p}. \quad (1)$$

Параметр кодової швидкості визначає ступінь зменшення швидкості проходження інформації через канал зв'язку при її заміщенні за методами каналного кодування. Чим вища кодова швидкість каналного коду, тим менша його надлишковість, що визначається як

$$N = \frac{p-b}{b} * 100\%. \quad (2)$$

Довжини серій одиниць і нулів у каналних кодах є обмеженими. Дане обмеження довжин серій символів коду дає можливість самосинхронізації каналу зв'язку. Всі методи каналного кодування можуть бути охарактеризовані параметрами k та d , причому параметр k визначає максимальну кількість нулів між двома одиницями, параметр d – мінімальну кількість нулів між двома одиницями (при реакції на одиницю). Ступінь самосинхронізації буде тим більший, чим менше відношення максимальної та мінімальної довжин тактових інтервалів, що визначаються як

$$T_{\min} = V_k * (d + 1) * T, \quad (3)$$

$$T_{max} = V_k * (k + 1) * T, \quad (4)$$

де T – довжина тактового інтервалу, що відповідає одному біту, переданому за методом NRZI (Non Return to Zero Inverted – без повернення до нуля модифікований). Ступінь самосинхронізації визначається коефіцієнтом самосинхронізації:

$$k_s = T_{max} / T_{min} = V_k(k + 1)T / V_k(d + 1)T = (k + 1) / (d + 1). \quad (5)$$

На практиці значення коефіцієнту самосинхронізації вибирається в межах $k_s = 2 \dots 4$. Для визначення параметру швидкості передачі інформації використовують параметр, який називають коефіцієнтом швидкості передачі. Цей коефіцієнт визначається як

$$k_{min} = \frac{T_{min}}{T} \quad (6)$$

і має тим більше значення, чим далі рознесені тактові інтервали. Рознесення переходів дозволяє зменшувати верхню частоту в спектрі каналного коду та звужувати АЧХ каналу або ж в існуючому каналі рееструвати інформацію з більшою швидкістю.

Проведення операції заміщення b символів двійкової інформації p символами каналного коду призводить до появи надлишковості і при $d=0$ параметр T_{min} буде меншим T . Тоді k_{min} зменшується і швидкість реєстрації також зменшується. В той же час можливе значення коефіцієнта збільшення швидкості реєстрації тісно, але обернено пропорційно пов'язане з таким параметром, як вікно детектування. Вікно детектування визначає можливість правильного розпізнавання імпульсів сигналів на виході каналу реєстрації і залежить від кодової швидкості та довжини тактового інтервалу

$$T\delta = V_k * T. \quad (7)$$

При зменшенні вікна детектування відбувається ускладнення схем детектування на виході каналу передачі.

Враховуючи практично взаємозворотню дію коефіцієнта швидкості передачі та вікна детектування слід при виборі оптимального методу каналного кодування застосувати деякий комплексний показник. Цим показником є коефіцієнт ефективної швидкості передачі, що визначається як

$$k_{eff} = k_{min} * T_\delta / T = k_{min} * V_k. \quad (8)$$

Виконавши деякі спрощення шляхом підстановки наведених вище формул отримаємо

$$k_{eff} = b^2 * (d + 1) / p^2, \quad (9)$$

$$k_{eff} = V_k^2 * (d + 1). \quad (10)$$

Використовуючи запропонований коефіцієнт k_{eff} , вибір каналного коду проводять виходячи з максимального його значення при $k_s = 2 \dots 4$ [3, 4].

Задачу побудови ефективного каналного коду можна вирішувати шляхом використання рекурентних рядів Каутса-Фібоначчі (КФ), для яких вага члену ряду в будь-якій позиції дорівнює деякій сумі попередніх членів ряду [5]. Таке відображення членів ряду дозволяє, при проведенні операції кодування, одержувати серії нулів та одиниць з обмеженими d і k , що забезпечує самосинхронізацію при незначній надлишковості. Найбільш прості алгоритми одержання каналних кодів Каутса-Фібоначчі базуються на рекурентних співвідношеннях, запропонованих Каутсом.

Порівняльний аналіз відомих каналних кодів з кодами КФ по параметрах коефіцієнта самосинхронізації k_s , вікна детектування T_δ надлишковості N та коефіцієнтів швидкості передачі k_{min} та ефективної швидкості передачі k_{eff} інформації дозволяє побудувати таблицю 1.

З таблиці 1 можна зробити висновок, що при однаковому коефіцієнті самосинхронізації коди КФ дозволяють забезпечити більш високе, порівняно з іншими, значення коефіцієнту ефективної швидкості передачі k_{eff} . Наприклад, порівняно з кодом ГК 5/6 КФ код з параметрами (0, 3, 9, 10) дозволяє забезпечити теоретичне збільшення швидкості передачі на 31%.

Таблиця 1

Таблиця порівняння каналних кодів

Група кодів	k_s	КОД	$k_{шип}$	$T_d=v_k*T$	$k_{шип}$	Н, %
$4 > k_s > 3$	3	ГК4/5	0,8	0,8	0,64	25
	2,5	M^2	1	0,5	0,75	100
	3	КФ(0,2,7,9)	0,77	0,77	0,6	28,5
	3	КФ(0,2,8,10)	0,8	0,8	0,64	25
	3	КФ(0,2,9,11)	0,81	0,81	0,66	22
	3	КФ(0,2,10,12)	0,83	0,83	0,69	20
	3	КФ(0,2,11,13)	0,84	0,84	0,71	18,18
	3	КФ(0,2,12,14)	0,85	0,85	0,73	16,16
$k_s=4$	4	ГК5/6	0,833	0,833	0,694	20
	4	НДМ-3	2	0,33	0,66	200
	4	ЗРМ	1,5	0,5	0,75	100
	4	КФ(0,3,8,9)	0,889	0,899	0,79	12,5
	4	КФ(0,3,9,10)	0,9	0,9	0,81	11,1
	4	КФ(0,3,10,11)	0,905	0,905	0,82	10
	4	КФ(0,3,11,12)	0,91	0,91	0,84	9,09
	4	КФ(0,3,12,13)	0,92	0,92	0,85	8,3

Виходячи з переваг коду Каутса-Фібоначі побудовано пристрій каналного кодування для варіанту коду КФ(0,3,11,12). Даний пристрій відноситься до пристроїв формування сигналів для високошвидкісної передачі цифрової інформації по каналах зв'язку. Структурну схему пристрою представлено на рис.1 [3].

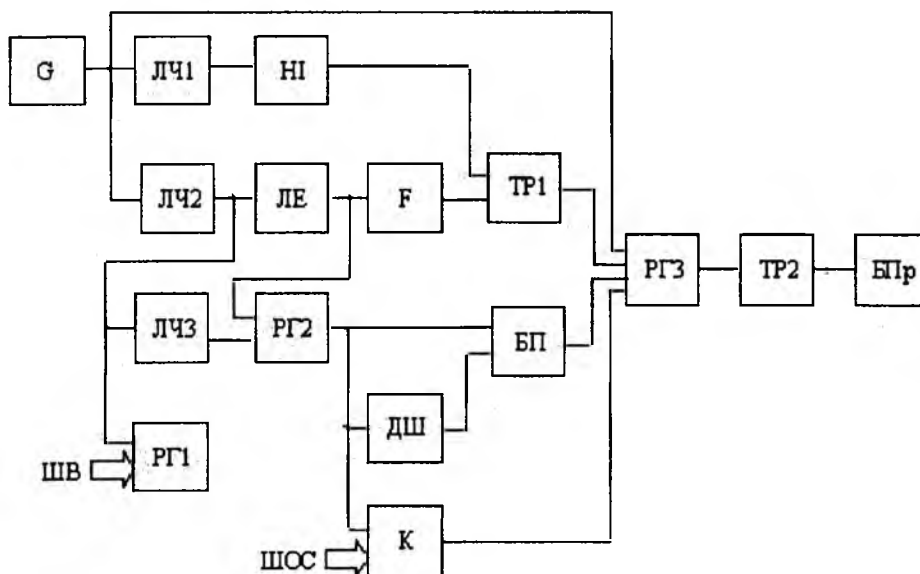


Рис.1 - Структурна схема пристрою каналного кодування

У запропонованому пристрої кодування двійкового одинадцятирозрядного коду в дванадцятирозрядний код Каутса-Фібоначі інформаційне одинадцятирозрядне слово розвертається за допомогою першого регістра (РГ1) з послідовної двійкової форми в паралельну. В подальшому за допомогою елементів блоку пам'яті (БП) це слово перетворюється в дванадцятирозрядне кодове слово Каутса-Фібоначі. За допомогою третього регістра (РГ3) паралельне кодове дванадцятирозрядне слово Каутса-Фібоначі переводиться в послідовну форму і подається в канал зв'язку.

Пристрій складається з генератора (G), під'єданого виходом до лічильного входу першого (ЛЧ1) і другого (ЛЧ2) лічильника імпульсів. Вихід першого лічильника з'єднаний з входом інвертора (НІ) та синхровходом третього регістра зсуву, вихід інвертора з'єднаний з синхровходом першого тригера (ТР1), вихід якого під'єднаний до керуючого входу третього регістра зсуву, вихід якого з'єднаний з лічильним входом другого тригера (ТР2), інверсний вихід якого з'єднано з

інформаційним входом цього тригера, а прямий вихід з'єднано з входом блоку передачі (БПр). Вихід блоку з'єднується з каналом зв'язку. Виходи другого лічильника імпульсів зв'язані через елемент "І" з його входом скидання в нуль. При цьому один з виходів другого лічильника під'єднаний до синхровходу третього лічильника імпульсів (ЛЧЗ) та синхровходу першого регістру. Виходи третього лічильника імпульсів під'єднані до входу схеми 2І-НІ (ЛЕ), вихід якої з'єднано з формувачем імпульсів (F) та синхровходом паралельного регістру (РГ2). Вихід формувача імпульсів з'єднано з входом встановлення в одиницю першого тригера. До інформаційного входу першого регістру підключена шина входу (ВШ), інформаційні виходи першого регістру під'єднані до інформаційних входів паралельного регістру. Виходи паралельного регістру з'єднані з А входами компаратора (К), а входи В цифрового компаратора під'єднані до шини опорного сигналу (ШОС), вихід цифрового компаратора з'єднаний з інформаційним входом третього регістра зсуву. Виходи паралельного регістру під'єднані до адресних входів блоку пам'яті, виходи яких під'єднані до інформаційних входів третього регістра зсуву. Виходи паралельного регістра під'єднані до входів дешифратора (ДШ), виходи якого з'єднані з входами установки режиму роботи відповідно до блоку пам'яті.

Пристрій працює таким чином. Вхідний двійковий код розділяється на рівномірні часові послідовності по одинадцять бітових інтервалів, перетворюється за допомогою каналних кодів Каутса-Фібоначі в дванадцятисимвольні послідовності і в подальшому в струм передачі. Сигнал тактової частоти (рис.2а), сформований генератором ділиться на одинадцять за допомогою першого лічильника імпульсів (рис.2б) та на дванадцять за допомогою другого лічильника імпульсів (рис.2в). Інформаційні сигнали в двійковому коді з виходу першого регістра записуються в другий регістр в момент додатного перепаду сигналу, який надходить з виходу схеми 2І-НІ (рис.2г). Вихідні сигнали формувача імпульсів (рис.2д) надходять на вхід встановлення в одиницю першого тригера, вихідний сигнал (рис.2е) якого подається на вхід установки режиму роботи третього регістра зсуву і встановлює режим паралельного чи послідовного зсуву. В блоці пам'яті виконується перекодування інформації з одинадцятирозрядного двійкового коду в дванадцятирозрядний код Каутса-Фібоначчі. Третій регістр зсуву перетворює паралельний запис цього коду в послідовний зсув кодової інформації, яка після перетворення надходить в канал зв'язку.

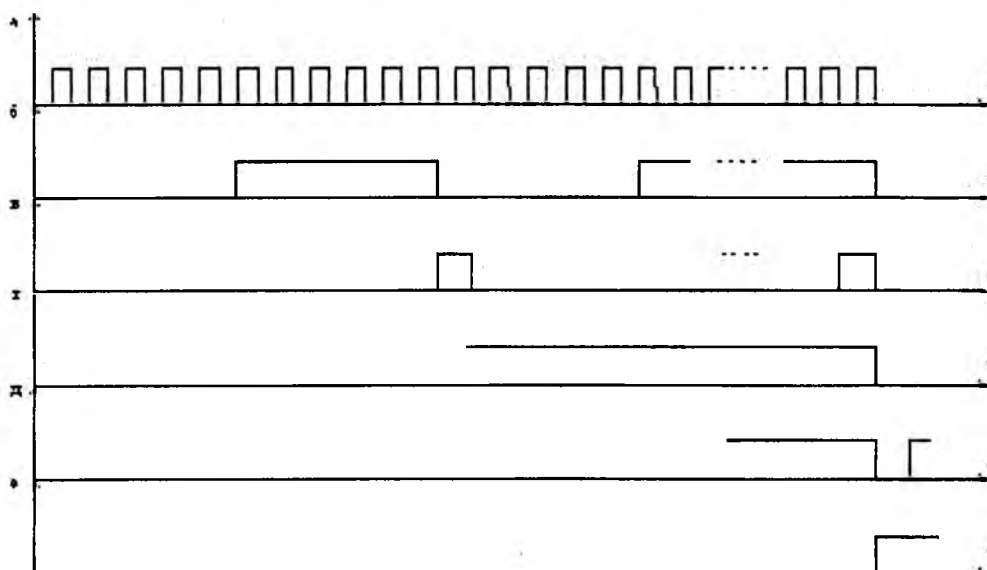


Рис.2 - Часові діаграми роботи пристрою каналного кодування

Висновки

1. Показано, що для побудови ефективного каналного коду, що при надлишковості на рівні 9–15% забезпечує самосинхронізацію, можна використати ряди Каутса-Фібоначчі, де вага певного розряду дорівнює сумі деяких молодших розрядів.
2. Вибір оптимального варіанту коду можна проводити на основі наведеної таблиці характеристик різних варіантів коду.
3. Запропоновано реалізацію пристрою кодування одинадцятирозрядного двійкового коду у дванадцятирозрядний каналний код Каутса-Фібоначчі (0, 3, 11, 12).

Список літератури

1. Стахов А. П., Сторожук Ю. А. Кодирование данных в информационно-регистрирующих системах. – К.: Техника, 1985 – 127 с.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 992с.: ил.
3. Марценюк В. П., Кадук О. В. Пристрій каналного кодування. Патент на корисну модель. Бюл. № 11 від 15.11.2005.
4. Бернад Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.: ил.
5. W. H. Kauts, Fibonacci codes for synchronization. // IEEE transaction information theory, 1995 – Vol.5, pag. 284 – 292.
6. Азаров О. Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.
7. Ричард Рид. Основы теории передачи информации. – М.: Вильямс, 2005. – 304 с.

Азаров Олексій Дмитрович, доктор технічних наук, професор, директор інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна, тел. 51-32-93. 44-03-64, azarov@vstu.vinnica.ua.

Кадук Олександр Володимирович, магістрант інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна, моб. 80976024284, k67alex@yahoo.com.