

УДК 621.391.833

Сайко В.Г., д.т.н.; Дікарев О.В., к.т.н.;
Грищенко Л.Н., здобувач; Кравченко В.І., аспірант

ОГЛЯД СІМЕЙСТВ КІЛЬЦЕВИХ КОДІВ

Sayko V.H., Dikarev O.V., Hryshchenko L.M, Kravchenko V.I. Families overview for the ring codes. The paper is shown that any ring code can be converted to the initial parental code on the basis of which a family of descendants liked to it, possessing all the properties of conventional ring codes is obtained. All of them have the same distribution of the individual characters, but different initial vector length in the origin vector. The results of paper show that vectors of the shift indexes for descendants are differed by the number of elements with value equal to twice multitude of the units in the origin vector. The paper is given method of calculating such elements. It is shown that families with specific properties can be created besides the usual families. These families, in particular, are obtained on the basis of chain codes. Two types of families of this type are shown: with constant and variable number of components. The paper is shown that the families obtained from the ring codes with special properties, are easier to implement, but have features that need to be taken into account when the vectors of the shift indexes are analyzed and their specifics are obtained. The results of paper show that descendants of any family can be identified quickly and easily as well as detected channel errors in them.

Keywords: family of ring codes, identifier, code word, vector of the shift indexes.

Сайко В.Г., Дікарев О.В., Грищенко Л.М., Кравченко В.І. Обзор семейств кольцевых кодов. У роботі зазначено, що будь-який кільцевий код можна перетворити в початковий материнський код, завдяки якому утворюється сімейство нащадків, подібних до материнського коду. Перевагою сімейства кільцевих кодів є можливість легкого та простого здійснення ідентифікації його членів та виявлення в них каналних помилок. Показано, що сімейства, отримані на основі кільцевих кодів з загальними властивостями є простішими в реалізації, але мають особливості, які потрібно враховувати під час аналізу векторів показників зсуву для побудови специфікаторів нащадків сімейства кільцевих кодів.

Ключові слова: сімейство кільцевих кодів, ідентифікатор, кодове слово, вектор показників зсуву.

Сайко В.Г., Дікарев А.В., Грищенко Л.Н., Кравченко В.І. Обзор семейств кольцевых кодов. В работе показано, что любой кольцевой код можно преобразовать в начальный родительский код, на основании которого получается семейство подобных ему потомков. Преимуществом семейства является возможность осуществления легкой и простой идентификации его членов и выявления в них каналных ошибок. Показано, что семейства, полученные на основании кольцевых кодов со специфическими свойствами проще в реализации, но имеют особенности, которые требуется учитывать при анализе векторов показателей сдвигов потомков семейства и получения их спецификаторов.

Ключевые слова: семейство кольцевых кодов, идентификатор, кодовое слово, вектор показателей сдвига.

Вступ

Кільцеві коди відносяться до класу циклічних кодів, які є завадостійкими лінійними кодами і широко застосовуються для кодування інформації [1]. Кодові послідовності циклічних кодів утворюються шляхом зсуву їх елементів на один розряд праворуч або ліворуч. Назва циклічного коду походить від його основної, властивості, яка полягає в тому, що циклічний зсув елементів дозволеної кодової комбінації утворює також дозволену кодову комбінацію, що належить цьому ж циклічному коду. Інша властивість циклічного коду полягає в тому, що при підсумовуванні за модулем два (mod2) двох дозволених кодових комбінацій також утворюється дозволена кодова комбінація. Кільцеві коди, крім властивостей, притаманних циклічним кодам, характеризуються додатковими властивостями, а саме:

- кільцевий код завжди являє собою квадратну матрицю, кількість рядків якої

відповідає кількості елементів кодової послідовності;

- кожний кільцевий код характеризується вектором показників зсуву, який дістаємо за допомогою одного з двійкових перетворень XOR, OR, AND (із запереченням Not або без нього) початкової послідовності (першого рядка) кільцевого коду і решти його рядків.

За структурою розподілу одиничних символів, розміщених в кодовій послідовності, кільцеві коди розділяються на сімейства. За структурою побудови кодових послідовностей кільцеві коди розділяються на звичайні та особливі.

Останнім часом в ряду робіт [2-5] авторами були отримані нові властивості кільцевих кодів, але для подальшого їх практичного застосування в сучасних широкосмугових бездротових мережах необхідно дослідити особливості сімейств, отриманих на основі кільцевих кодів із загальними властивостями, для побудови інноваційних специфікаторів нащадків сімейства кільцевих кодів, що і є метою даної статті.

1. Основні властивості звичайних кільцевих кодів

Кільцеві коди, визначення яких наведено в [2], будуються за принципом блокових циклічних кодів [1]. Звичайним неспотвореним кільцевим кодом (ЗКК) є квадратна матриця розміром $N \times N$ двійкових елементів, кожен рядок якої є двійковою послідовністю довжиною N символів, m з яких є одиничними символами, а решта $N - m$ – нульовими. Кожен подальший рядок повторює попередній з одночасним кільцевим зсувом символів на один розряд праворуч або ліворуч. Перший рядок матриці кільцевого коду є її початковим вектором або початковою послідовністю. Кожен з N рядків кільцевого коду може слугувати кодовим словом при передачі дискретної інформації. Основним показником будь-якого кільцевого коду є його вектор показників зсуву (ВПЗ) [3]. Вектори показників зсуву, що властиві тільки для звичайних кільцевих кодів, мають такі основні ознаки:

- елементи вектора показників зсуву праворуч та ліворуч від центру розміщуються симетрично;

- для елементів, місцезнаходження яких в ВПЗ збігається, значення, отримане в результаті виконання логічної операції *OR*, дорівнює сумі значень, отриманих в результаті виконання логічних операцій *XOR* та *AND*;

- значення векторів показників зсуву кільцевого коду може бути отримано як в результаті здійснення операцій над рядками, так і в результаті здійснення операцій над стовпцями матриці ЗКК;

- сума елементів ВПЗ для всіх кільцевих кодів з однаковою кількістю одиничних символів m є незмінною.

- вектори показників зсуву для початкових векторів кодових послідовностей, що мають відзеркалений (повернений на 180 градусів) розподіл одиничних та нульових символів, залишаються незмінними;

- структура *XOR-вектора* показників зсуву залишається незмінною, якщо значення символів матриці ЗКК змінюються на протилежні. *AND* і *OR-вектори* показників зсуву такої властивості не мають.

Існують й інші особливі властивості звичайних кільцевих кодів, які описано в [4, 5]. Головним недоліком звичайних кільцевих кодів є невелика придатність їх ВПЗ для ідентифікації їх окремих рядків. Для цього найбільш придатними є спеціальні кільцеві коди з попереднім спотворенням.

2. Визначення сімейства кільцевих кодів

Сімейством кільцевих кодів є сукупність, що складається з основного материнського коду і невизначеної кількості утворених від нього нащадків.

Головний материнський кільцевий код та всі його нащадки мають однаковий дельта-фактор \underline{D} , але різну довжину подібних між собою векторів показників зсуву. Якщо в

кільцевому коді початковий вектор має довжину N двійкових символів, m з яких є одиничними, а решта $N-m$ - нульовими, то дельта-фактор D являє собою різницю між N і найбільшою відстанню між двома одиничними символами в V [1,2]. Початковий вектор материнського кільцевого коду будується таким чином:

1) вибирається дельта-фактор обраного сімейства кільцевих кодів.

2) до крайнього символу початкового вектора додаються нульові символи в кількості, необхідній для створення материнського коду сімейства.

Сімейство кільцевих кодів має такі особливості:

- будь-який кільцевий код можна використати в якості родоначальника нового сімейства кільцевих кодів;

- материнським кодом сімейства може бути кільцевий код, у якого після перехідного етапу утворення вектор показників зсуву набуває свого стаціонарного стану. Перехідний етап утворення векторів показників зсуву (ВПЗ) звичайних кільцевих кодів (ЗКК) полягає в наступному.

Спочатку будується ВПЗ для кільцевого коду, початковим вектором якого є дельта-фактор цього коду. Цей стан ВПЗ назвемо початковим станом. Далі, за допомогою покрокового нарощування довжини дельта-фактора на один нульовий символ, кожного разу знаходимо черговий ВПЗ і порівнюємо його з двома попередніми, і якщо ліва або права половина двох сусідніх ВПЗ відрізняється лише одним елементом з десятковим значенням, що дорівнює 2^*m (для XOR- кільцевих кодів), то перший кільцевий код з мінімальною довжиною N початкового вектора, що має цю властивість, і буде вважатись материнським кодом нового сімейства.

Вектори показників зсуву нащадків сімейства є подібними та фрактальними і відрізняються між собою лише числом елементів з десятковим значенням 2^*m усередині, починаючи від центру ВПЗ.

Таким чином, сімейством кільцевих кодів є така їх сукупність, яка має материнський код і невизначене число нащадків або членів сімейства.

3. Властивості сімейств кільцевих кодів

З метою демонстрації основних властивостей і особливостей сімейств кільцевих кодів розглянемо їх представників з найбільш характерними ознаками. Так, в таблиці 1 наведено характеристики сімейства кільцевих кодів з параметрами $D=5$, $m=3, L=7$, де D - розмір дельта-фактора, m -кратність одиничних символів в початкових векторах всіх кільцевих кодів сімейства, L - базова довжина материнського кільцевого коду.

Таблиця 1

Характеристики кільцевих кодів з параметрами $D=5$, $m=3, L=7$

Довжина коду N	Кількість одиничних символів m	Структура кільцевого коду	Структура вектора показників зсуву ПВЗ	Сума значень елементів ВПЗ
7	3	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[462264]$	24
9	3	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[46622664]$	36
11	3	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[4666226664]$	48
13	3	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[466662266664]$	60

В результаті аналізу характеристик кільцевих кодів, наведених таблиці 1, можна зазначити наступні особливості:

- дельта-фактор кільцевих кодів має довжину 5 символів, тоді як довжина базового материнського кільцевого коду ($L=7$) є на два символи більшою;

- нарощування довжини вектора показників зсуву на два елементи, що дорівнює $2 \cdot m = 6$, спостерігаються для членів сімейства через збільшення довжини початкового вектора на два символи. Тому нумерація членів сімейства повинна проводитися парами сусідніх нащадків. Цю особливість треба враховувати при присвоєнні порядкових номерів членам сімейства кільцевих кодів. Нумерація повинна бути парною і перший член пари повинен бути непарним, а другий парним, в той час як обидва вони мають однакові вектори показників зсуву за значеннями і розташуванням елементів.

Подібні закономірності спостерігаються і в кільцевих кодах інших сімейств з параметрами $D=6, m=4, L=8$ та $D=5, m=4, L=8$, характеристики яких наведено в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Характеристики кільцевих кодів з параметрами $D=6, m=4, L=8$

Довжина коду N	Кількість одиничних символів m	Структура кільцевого коду	Структура вектора показників зсуву ПВЗ	Сума значень елементів ВПЗ
8	4	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0]$	ВПЗ=[4644464]	32
10	4	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[468444864]	48
12	4	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[46884448864]	64
14	4	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[4688844488864]	80
16	4	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[468888444888864]	96

Таблиця 3

Характеристики кільцевих кодів з параметрами $D=5, m=4, L=8$

Довжина коду N	Кількість одиничних символів m	Структура кільцевого коду	Структура вектора показників зсуву ПВЗ	Сума значень елементів ВПЗ
6	4	$C=[1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0]$	ВПЗ=[44044]	16
8	4	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0]$	ВПЗ=[4840484]	32
10	4	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[488404884]	48
12	4	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[48884048884]	64
14	4	$C=[1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$	ВПЗ=[4888840488884]	80

4. Сімейства особливих кільцевих кодів

Сімейства особливих кільцевих кодів утворюють кільцеві коди з особливими властивостями, зокрема, ланцюжкові (ланцюгові) кільцеві коди [4]. Ці коди відрізняються від звичайних кільцевих кодів структурою своєї побудови. Якщо сімейства звичайних кільцевих кодів утворюються за допомогою нарощування нульовими символами початкового вектора базового материнського кільцевого коду і нащадків (членів) сімейства, що відрізняються між собою довжиною початкового вектора, то похідні сімейства ланцюгових кільцевих кодів утворюються за допомогою нарощування ланок і відрізняються між собою їх кількістю. Є очевидним, що довжина таких кодів може бути значною. Зазначимо, що побудова сімейств особливих кільцевих кодів передбачає їх велике розмаїття. Так, на рис. 3 наведено ланковий код, що складається з двох ланок виду $[1\ 1\ 0]$. Між ланками розміщуються один, два і три нулі. Для утворення материнського кільцевого коду і його нащадків в кінці отриманого таким чином дельта-фактора додається різна кількість нулів. Для будь-якого члена сімейства таких кільцевих кодів легко заздалегідь розраховується вид вектора показників зсуву. У цьому полягає велика перевага таких сімейств.

Особливістю сімейства ланцюгових кодів, наведеного на рис. 3 з двобітовою ланкою, є циклічна замкнутість за кількістю нулів між двобітовими групами одиниць в початковому векторі кожного похідного коду. Кількість нулів в ланці зростає на одиницю і дорівнює 1, 2, 3, 4 при $N=6, 8, 10, 12$. До вектору показників зсуву чергової пари нащадків додається пара елементів із значенням $2*m=8$.

В табл. 4 наведено характеристики для триланкового коду з масивом в три одиниці в кожній ланці і довжиною початкового вектора кільцевого коду $N=13, 15, 18, 21$. Як видно з таблиці, перехідний процес закінчується при $N=18$ і нарощуванні ВПЗ на величину подвоєного числа одиниць $2*m=18$ здійснюється після нарощування початкового вектора на три нульові символи, що дорівнює числу ланок. Таку особливість необхідно враховувати при побудові сімейств кільцевих кодів зі спеціальними властивостями.

Таблиця 4

Характеристики ланцюгових кільцевих кодів з параметрами $D=var, m=var, L=var$

Довжина коду N	Кількість одиничних символів m	Структура кільцевого коду	Структура вектора показників зсуву ПВЗ	Сума значень елементів ВПЗ
12	9	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0]$	$ВПЗ=[66606660666]$	54
15	9	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[612126066121260612]$	108
18	9	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[6121812606121812606]$	162
21	9	$C=[1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$	$ВПЗ=[6121818126061218181260]$	216

5. Ідентифікація і виправлення помилок. Будь-який рядок кільцевих кодів сімейства можна використати в якості кодового слова. Тому для ідентифікації кодових слів, що входять до складу сімейства, необхідно мати:

- на передавальному і приймальному кінцях системи обміну даними однозначний ідентичний словник кодових слів, де кожен код відповідатиме одному з рядків материнського кільцевого коду або похідного кільцевого коду сімейства;
- унікальний індекс сімейства;
- десяткову нумерацію членів сімейства, що відповідає словнику кодових слів.

Відправник по кодовому словнику повинен закодувати індекс сімейства, десятковий номер члена сімейства і номер рядка кільцевого коду. Якщо обмін даними проводиться в межах одного сімейства, то передавати його індекс в кожному кодовому слові не потрібно. Залишається ідентифікувати порядковий номер кільцевого коду сімейства і його рядка, використовуюваного як код інформації. Щоб вектори показників зсуву рядків були різними, вони гамуються з вибраною спотворюючою послідовністю. Але як показано в [5] замість цієї процедури зручно використовувати початковий вектор кільцевого коду, зсунений на k розрядів від початку праворуч або ліворуч, де k - порядковий номер рядка, що постає як кодове слово. Зручно замість номера рядка надсилати його специфікатор. Обчислювальний пристрій на приймальній стороні по цьому специфікатору знайде відповідне кодове слово-рядок кільцевого коду, або відновить його за наявності помилок. Для особливих ланцюгових кодів можна обмежитися специфікатором не всього кодового слова, а тільки однієї ланки, оскільки для інших ланок вони повторюються. Наступна можливість спрощення конструювання специфікаторів кільцевих кодів пов'язана з фрактальністю ВПЗ членів сімейства. Оскільки їх ядром є єдиний дельта-фактор, що має загальний номер рядків для всіх похідних, специфікатори однакових за номером рядків можна залишати однаковими, міняючи тільки специфікатори номерів похідних.

Висновки

Кожен кільцевий код можна перетворити в материнський кільцевий код, на основі якого утворюється сімейство подібних до нього похідних кільцевих кодів.

1. Перевагою сімейства є те, що його члени легко і просто ідентифікувати і виявляти в них канальні помилки.

2. Сімейства, отримані на основі кільцевих кодів з особливими властивостями, є простішими в реалізації, але мають особливості, які треба враховувати при створенні специфікаторів.

3. При виборі специфікаторів кодових слів треба враховувати індекс сімейства, порядковий номер похідного кільцевого коду і номер рядка.

4. Якщо обмін даними проводиться в межах одного сімейства, його індекс можна не враховувати.

5. Для сімейства зручно використовувати однакові специфікатори рядків для всіх похідних при різних специфікаторах їх порядкових номерів.

6. При створенні специфікаторів окремих рядків материнського коду сімейства і його похідних початковий вектор потребує попереднього спотворення, як і в звичайних кільцевих кодах.

Література

1. Мак Вильямс Ф.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки / Мак Вильямс Ф.Дж., Слоэн Н.Дж.А. - М. - Связь. - 1979, - 774 с.

2. Дикарев А.В. Коды на основе двоичных колец /Дикарев А.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2014. - 1(29) - С. 50-53.

3. Дикарев А.В. Постулаты кольцевых кодов /Дикарев А.В. // Зв'язок. - 2013 - №5(105) - С. 53-56.

4. Дикарев А.В. Некоторые закономерности кольцевых кодов // Дикарев А.В. / Системи управління, навігації та зв'язку. - 2014. - 3(31) - 2014. - С. 51-55.

5. Дикарев А.В. Семейства цепочечных кольцевых кодов // Дикарев А.В. / Системи управління, навігації та зв'язку. - 2014. - 1(29) - 2014. - С.36-40.

Автори статті

Сайко Володимир Григорович - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +38 044 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

Дикарев Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +38 044 249 25 04. E-mail: opliusch@yahoo.com.

Грищенко Людмила Миколаївна - здобувач кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +38 093 672 65 40. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Кравченко Владислав Ігорович - аспірант кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +38 063 801 81 16. E-mail: vladislav_kravchenko@mail.ua.

Authors of the article

Sayko Volodymyr Hryhorovych – doctor of sciences (technical), professor, head of Department of Radio technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38 044 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

Dikarev Oleksandr Viktorovych – candidate of sciences (technical), associate professor of Department of Radio technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38 044 275 86 34. E-mail: dikarev35@list.ru.

Hryshchenko Lyudmyla Mykolaivna – degree seeking applicant of Department of Radio technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38 093 672 65 40. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Kravchenko Vladyslav Ihorovych – postgraduate student of Department of Radio technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +38 063 801 81 16. E-mail: vladislav_kravchenko@mail.ua.

Дата надходження в редакцію: 07.03.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М.А. Віноградов