УДК 621.391.833

Дикарев А. В., к.т.н.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЕМЕЙСТВ КОЛЬЦЕВЫХ КОДОВ

Dikarev O. V. Identification of families of ring codes. It is shown that a certain uniform constructions are separated by a single zero. These are treated as links in a chain-ring code, can be identified from the set of distributions of single symbols on the elements of the original vector. The paper proves, that such construction, which being in a minimum on length, forms the basic original vector. It is both a basic link chain ring code too. The main characteristic of such a code are: it's vector of the shift indexes, that repeats the structural features of the original vector and it can serve as an identifier. There was carried justification of the fact, that with using of the addition of new units in basic original vector is possible to get a family of the chain ring codes with similar in appearance vectors of the shift indexes. The results indicate that the identification of any code word that belongs to this family requires knowledge only of its length. The index of itself family is given once before its use and no longer repeated pending change of the family. It is proved that the chain-ring codes with the extension of the basic original vector on length have same properties. Thus at the end of the vector adds an additional null symbols, which number is chosen arbitrarily. In this case an additional null symbols, which number is chosen arbitrarily, are added at the end of the vector. The new original vector enables to receive at least one code word, whose identifier is its length, and the index, as well as for families of the chain ring codes with spatial expansion is transmitted to the channel once and is not repeated in future.

***Keywords*:** ring code, code word, identifier, fractal structure

Дікарєв О. В. Ідентифікація сімейств кільцевих кодів. У роботі доведено, що кільцеві коди особливого виду, де у вихідному векторі одиничні символи утворюють однакові за довжиною ділянки підряд без пробілів слідуючих один за одним одиниць, відокремлених між собою одним нульовим символом, утворюють вектори показників зсуву аналогічної структури вихідного вектору. Кількість ланок у ланцюгових кільцевих кодах може бути будь-якою. Приписування у кінці базового вихідного вектора ланцюгового кільцевого коду нових нулів дає змогу отримати сімейство ланцюгових кільцевих кодів із якою завгодно кількістю членів-представників сімейства. Доведено, що починаючи з деякого моменту вектори показників зсуву сімейства мають фрактальну структуру, зручну для використання при ідентифікації кодових слів того ж самого сімейства.

***Ключові слова*:** кільцевий код, кодове слово, ідентифікатор, фрактальна структура

Дикарев А. В. Идентификация семейств кольцевых кодов. В работе показано, что кольцевые коды особого вида, где в исходном векторе единичные символы образуют равные по длине участки подряд без пробелов следующих друг за другом единиц, разделенных между собой одним нулем образуют векторы показателей сдвигов аналогичные по структуре исходному вектору. Число звеньев в цепочечном кольцевом коде может быть любым. Приписывание в конце базового исходного вектора цепочечного кольцевого кода новых нулей позволяет получить семейство цепочечных кольцевых кодов с каким угодно большим количеством членов-представителей семейства. Показано, что начиная с некоторого момента векторы показателей сдвигов семейства образуют фрактальную структуру, которую удобно использовать при идентификации кодовых слов одного и того же семейства.

Ключевые слова: кольцевой код, кодовое слово, идентификатор, фрактальная структура

Исходные предпосылки. В общем виде любой кольцевой код представляет собой квадратную матрицу размером $N \times N$. Каждая строка кода содержит N двоичных символов, m из которых единичные, а остальные N-m нулевые. Символы последующей строки относительно предыдущей строки сдвинуты на один бит влево либо вправо, но обязательно в одном направлении. Первая строка кольцевого кода принимается за исходный вектор или исходную последовательность, относительно которой осуществляется кольцевой сдвиг всех последующих строк и строится основной критерий кольцевого кода – его вектор показателей сдвигов. (N-1) отдельных последовательностей показателей сдвигов образуют квадратную числовую матрицу размером $(N-1)\times(N-1)$. На основании первой и остальных строк кольцевого кода получается его вектор показателей сдвигов (ВПС) размером (N-1) [1, 2]. Особенности кольцевых кодов с их матрицами или векторами показателей сдвигов изложены в [1...3]. Там же показано, что каждая строка кольцевого кода может служить при кодировании дискретной информации кодовым словом, которое необходимо идентифицировать. Идентификатором кодового слова должна быть его уникальная характеристика, присваиваемая пользователем или назначаемая информационной системой. По логике оптимизации процесса кодирования и обработке данных идентификаторы должны отвечать некоторым общим требованиям: по возможности быть короткими, малоинформативными, чтобы лишней информацией не загружать канал связи; быть простыми в реализации; иметь возможность закладывать в них избыточность, позволяющую выявлять и корректировать канальные ошибки.

Применительно к кольцевым кодам для этого важно, чтобы идентификаторы содержали в себе параметры ВПС кольцевого кода, к которому принадлежит кодовое слово. Такими параметрами могут быть данные о полной или половинной длине ВПС, величине и размещению отдельных элементов, полной и части суммы элементов ВПС, принадлежности кольцевого кода к определённому семейству. Отметим, что ВПС плохо соответствует роли идентификатора вследствие большой информационной величины своих элементов, распределение по значению которых к тому же не имеет единой функциональной связи с распределением единиц и нулей в исходном векторе. Тем не менее, в ряде случаев такая функциональная и алгоритмическая связь имеется и является достаточно простой и четкой, что, в свою очередь, позволяет создавать семейства подобных между собой кольцевых кодов особой структуры, ВПС которых подобны известным фракталам. Причём, число членов (представителей) каждого семейства выбирается произвольно и может быть неопределённо большим. Сформулируем используемые далее понятия.

– *Особый вид кольцевого кода*: его вариант, в котором распределение единичных символов в дельта-факторе имеет простую функциональную или алгоритмическую связь с размещением и величиной элементов его вектора показателей сдвигов.

– *Дельта-фактор*: распределение единичных и нулевых символов в исходном векторе, куда входят все его единицы, и крайние символы которого обязательно являются единичными.

– *Семейство кольцевых кодов*: множество кольцевых кодов особого вида с общим базовым исходным вектором.

– *Представитель семейства кольцевого кода*: кольцевой код, имеющий в качестве исходного вектора имеет внутреннее либо внешнее расширение исходного вектора базового родительского кольцевого кода.

– *База семейства кольцевых кодов*: родительский кольцевой код, исходный вектор которого позволяет получить множество подобных кольцевых кодов семейства со свойствами ВПС базового кольцевого кода. В основном, исходной последовательностью базового кольцевого кода является либо дельта-фактор в чистом виде, либо дельта-фактор, дополненный нулевым символом справа или слева.

– *Цепочечный кольцевой код*: кольцевой код, состоящий из отдельных звеньев, каждое из которых является базовым вектором исходного базового кода и собранных в единую цепь.

– *Цепочечный расширенный по структуре кольцевой код*: такой кольцевой код, исходные векторы отдельных представителей которого получаются добавлением в базовый исходный вектор новых звеньев.

– *Цепочечный расширенный по длине кольцевой код*: такой кольцевой код, исходные векторы отдельных представителей которого получаются добавлением в базовый исходный вектор новых нулевых символов.

Базовым исходным вектором, на основании которого получаются отдельные звенья кольцевых кодов, являются, в частности, симметричные образования единичных символом, разделённых одним либо несколькими нулевыми символами. Были исследованы звенья следующего вида: [1 1..1 0 1 1..1 0], [1 0 1 1..1 0 1 0], [1 0 1 1..1 0], которые показали хорошие результаты. Единичные образования в отдельных звеньях цепочечных кольцевых кодов обычно разделяются одним нулем.

Параметры исходного вектора-звена в этом случае обозначаются следующим образом:

$k1$ – величина первого единичного образования до нулевого символа;

$k2$ – величина второго единичного образования;

$k3$ – величина третьего единичного образования и т.д.;

v – число звеньев в цепочечном коде,;

m – общее число единичных символов в базовом исходном векторе и остальных исходных векторах семейства;

N – длина исходного вектора представителя семейства.

Одно звено обычно является дельта-фактором кольцевого кода, дополненное справа или слева одним нулем. Основные закономерности цепочечных кольцевых кодов можно продемонстрировать на их простейшем представителе с базовым исходным вектором, состоящим из двух одинаковых по длине единичных без пробелов образований $k1=k2$ и $k1>1$. По ассоциации с ровными площадками, образующими гладкую поверхность, набор цепочечных кольцевых кодов такого вида получил название "Майдан".

Набор семейств "Майдан". В таблицах 1 и 2 представлены два пространственно расширяющихся семейства цепочечных кольцевых кодов с одинаковыми по структуре, но различными по величине базовыми исходными векторами. Параметры первого базового исходного вектора составляют два сплошных набора единиц k=2, а второго – аналогично, но здесь k=3. Во всех таблицах вектор показателей сдвигов обозначается как "ПС" и соответствует кольцевым кодам с исходным вектором различной длины N.

Пространственно расширенное семейство с базой k=2, m=4 Табл. 1

Параметры кода	Вид исходного вектора N	Вектор показателей сдвигов ПС
N=6, m=4	1 1 0 1 1 0	4 4 0 4 4
N=9, m=6	1 1 0 1 1 0 0 1 1 0	6 6 0 6 6 0 6 6
N=12, m=8	1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0	8 8 0 8 8 0 8 8 0 8 8

Пространственно расширенное семейство с базой k=3, m=6 Табл. 2

Параметры кода	Вид исходного вектора N	Вектор показателей сдвигов ПС
N=8, m=6	1 1 1 0 1 1 1 0	4 4 4 0 4 4 4
N=12, m=9	1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0	6 6 6 0 6 6 6 0 6 6 6
N=16, m=12	1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0	8 8 8 0 8 8 8 0 8 8 8 0 8 8 8

Из Табл. 1 и 2 можно убедиться, что вид вектора показателей сдвигов по своей структуре полностью соответствует виду исходного вектора цепочечного кольцевого кода. Кроме того, величина каждого элемента ВПС, кроме разделительных нулей, функционально зависит от числа звеньев цепочки v, составляя по значению элементов ВПС удвоенную величину $2\times v$. Идентификаторами кодового слова для этих случаев могут служить параметры исходного вектора k и v, либо k и m, либо k и N.

В Табл. 3 и 4 представлены семейства цепочечных кольцевых кодов, расширяющихся по длине N посредством добавления нулевых символов в конце базового исходного вектора. Причем, в Табл. 3 рассматривается внутреннее добавление нулей в дельта-фактор до его последней единицы, а в Табл. 4 – внешнее добавление нулей после его последней единицы. Результаты в обоих случаях получается одинаковыми, о чем свидетельствуют данные Табл. 3 и 4.

Семейство "Майдан" с внутрибазовым линейным расширением Табл. 3

Параметры кода	Вид исходного вектора N	Вектор показателей сдвигов ПС	Сумма S
N=6, m=4	1 1 0 1 1 0	4 4 0 4 4	16
N=7, m=4	1 1 0 0 1 1 0	4 6 2 2 6 4	24
N=8, m=4	1 1 0 0 0 1 1 0	4 6 4 4 4 6 4	32
N=9, m=4	1 1 0 0 0 0 1 1 0	4 6 4 6 6 4 6 4	40

Такой результат легко объяснить. Действительно, если исходный вектор сложить в кольцо и после этого начать добавлять нули, то абсолютно безразлично, куда эти нули вставляются: до или после последней единицы дельта-фактора исходного вектора, вследствие линейности и кольцевой замкнутости операций расширения исходного базового вектора [4...6]. Этот эффект и демонстрирует результаты Табл. 3 и 4. Необходимо отметить, что общая сумма всех элементов ВПС с увеличением длины исходного вектора очередного представителя семейства на единицу увеличивается на одну и ту же величину (в нашем случае на 8), что имеет свое объяснение [1]. Внутренняя структура элементов ВПС при этом усложняется, меняются значения его средних элементов, наращиваясь каждый раз на две единицы, пока не достигнет своего предельного значения, равного величине $2m$.

Семейство "Майдан" с внешнебазовым линейным расширением Табл. 4

Параметры кода	Вид исходного вектора N	Вектор показателей сдвигов ПС	Сумма S
N=6, m=4	1 1 0 1 1 0	4 4 0 4 4	16
N=7, m=4	1 1 0 1 1 0 0	4 6 2 2 6 4	24
N=8, m=4	1 1 0 1 1 0 0 0	4 6 4 4 4 6 4	32
N=9, m=4	1 1 0 1 1 0 0 0 0	4 6 4 6 6 4 6 4	40

На основании данных таблиц, а также данных, приведенных в [7...9], чётко прослеживаются функциональные и структурные связи исходного базового вектора с ВПС порождающего им цепочечного кольцевого кода, которые далее распространяются на отдельных представителей семейства, в часности, на членов семейства с базовым исходным вектором, параметры которого k=2, v=2, а также и на другие подобные семейства. Эти закономерности сформулированы далее в виде выводов.

Выводы

– Сумма элементов ВПС каждого представителя семейства цепочечных кольцевых кодов с размером исходного вектора N и числом единичных символов m находится по формуле:

$$S(N) = 2m(N-m)\,.$$

– Сумма элементов ВПС двух соседних представителей одного и того же семейства цепочечных кольцевых кодов со структурой "Майдан" в коматозном состоянии отличается на величину $2m$.

– Элементы ВПС образуют два симметричных и равных по значениям элементов подвектора.

– Первые крайние элементы ВПС по значению равны $2v$.

– Значения следующих элементов возрастают на две единицы и этот принцип действует до тех пор, пока не будут сформированы две симметричные половины элементов ВПС, отвечающие заранее известной общей сумме элементов ВПС.

– Между двумя симметричными половинами элементов ВПС располагаются элементы, возрастающие по величине на две единицы до тех пор, пока не достигнут предельного значения $2m$, после чего их рост прекращается. Для каждого нового представителя семейства с N на единицу больше его соседа слева в ВПС добавляется элемент со значением $2m$. Такое состояние ВПС представителей семейства цепочечных кольцевых кодов является стационарным ("коматозным") и может продолжаться для неопределенно большой длины исходного вектора N. Насыщенное стационарное коматозное состояние цепочечных кольцевых кодов для одного из вариантов семейств "Майдан" с параметрами базового исходного вектора k=2, v=2 представлено в Табл.5.

Коматозное состояние представителей семейства "Майдан" Табл. 5

Параметры кода	Вид исходного вектора N	Вектор показателей сдвигов ПС	Сумма S
N=10, m=4	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	4 6 4 6 8 6 4 6 4	48
N=11, m=4	1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0	4 6 4 6 8 8 6 4 6 4	56
N=19, m=4	1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0	4 6 4 6 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 6 4 6 4	120

Насыщение начинается с появлением первого элемента ВПС со своим предельным значением 2·4=8 при *N*=10. Для других представителей семейства при увеличении на единицу длины исходного вектора *N* в ВПС только добавляются новый элемент со значением 2*m*.

Заключение

1. Различные структурные разновидности семейств цепочечных кольцевых кодов вида "Майдан" допускают пространственное расширение посредством увеличения числа звеньев и линейное расширение при увеличении длины исходного вектора *N*.
2. Во всех случаях между видом дельта-фактора базового исходного вектора и ВПС порожденного им кольцевого кода имеется простая функциональная и алгоритмическая зависимость.
3. Каждое семейство может в своем составе иметь неопределённо большое число представителей.
4. Для идентификации кодовых слов, полученных на базе разновидностей семейств "Майдан", достаточно всего четырех параметров исходного вектора *N, k, v* и буквенного индекса семейства.

Литература

1. Дикарев А. В. Постулаты кольцевых кодов / А. В. Дикарев // Зв'язок.). – 2013. – №5(105). – С. 53-56.
2. Дикарев А. В. Коды на основе двоичных колец / А. В. Дикарев // Системи управління, навігації та зв'язку. –-2014. – №1(29). – С.50-53.
3. Дикарев А. В. Баркероподобные последовательности / А. В. Дикарев // Зв'язок. – 2013. – №4(104). – С.68-70.
4. Берлекэмп Э. Алгебраическая теория кодирования / Э. Берлекэмп ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1971. – 477 с.
5. Марков А. А. Введение в теорию кодирования/ А. А. Марков. – Москва : Наука, 1982. – 192 с.
6. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Є. Уэлдон ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1976. – 594 с.
7. Баранов В. Л. Відновлення та оптимізація інформації в системах прийняття рішень : підручник / В. Л. Баранов, М. М. Браіловський, А. А. Засядько, Н. Ф. Казакова ; за ред. В. О. Хорошко. – К.: ДУІКТ, 2009. – 134 с.
8. Скопа О. О. Перспективи використання ґратчастого кодування в інформаційних радіосистемах з корелятивною обробкою сигналу / О. О. Скопа, Я. І. Торошанко, К. Б. Нікіфоренко // Збірник наукових праць ІПМЕ. – 2006. – № 35. – С. 49-55.
9. Мазурков М. И. Свойства циклических по времени частотно-временных кодов кубических вычетов над расширенными полями Галуа / М. И. Мазурков, А. А. Скопа // Информатика и связь. – 1997. – С. 201-209.

Автор статьи

Дикарев Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев. Тел. 275 86 34. E-mail: aleksandr@ukr/net.)

Дата надходження в редакцію: 10.04.2015 р. Рецензент: д.т.н., проф. В. Г. Сайко