

УДК 621.391.833

А.В. Дикарев

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

СПОСОБЫ ПРОВЕРКИ КОЛЬЦЕВЫХ КОДОВ

В работе показано, что достаточным идентификатором, по которому может быть восстановлено искаженное кодовое слово, является его вектор показателей сдвигов. С целью уменьшения величины этого параметра достаточно представить его несколькими более малыми по размеру компонентами-спецификаторами. Их можно формировать различными способами по различным алгоритмам на основании приведенных в работе основных свойств и особенностей кольцевых кодов с порождаемыми ими векторами показателей сдвигов. Даны характерные формы спецификаторов для обычных и специальных кольцевых кодов. Приведены примеры идентификации кодовых слов на основании их спецификаторов. Предложено использовать идентификаторы не только для обнаружения и исправления канальных ошибок, но и для шифрования данных.

Ключевые слова: кольцевой код, идентификатор, кодовое слово, вектор, проверочные символы.

Постановка задачи

Каждый кольцевой код, во многом эквивалентен циклическим кодам [1-3], в общем случае представляет собой квадратную матрицу сдвинутых по кольцевому принципу на один символ вправо либо влево N двоичных последовательностей, в которых m элементов единичные, а остальные $N-m$ нулевые [4,5]. Любую строку кольцевого кода можно использовать в качестве кодового слова при кодировании дискретной информации. Каждому кольцевому коду соответствует свой уникальный вектор показателей сдвигов (ВПС), элементами которого являются $N-1$ целых четных положительных чисел. Вектор показателей сдвигов полностью характеризует свой кольцевой код и является его эквивалентом в другом математическом представлении. Он также является идентификатором кольцевого кода. Однако, значительная информационная величина элементов ВПС, если представить их двоичным кодом, не позволяет использовать его в таком качестве на практике. Тем не менее, отдельные значительно меньшие по величине компоненты ВПС, имеющие небольшую информационную величину, могут выполнять роль не только идентификаторов кодовых слов, но также фактора проверки и исправления канальных ошибок в кодовом слове. Задача состоит в нахождении и обосновании таких компонентов. В зависимости от полноты информации о кольцевом коде их требуется разное число и получаются они с разной степенью сложности.

В дальнейшем для названия отдельных компонентов идентификатора кольцевого кода воспользуемся термином “спецификатор”. Общепринятое понятие “спецификатор” трактуется, как обобщенное название семейства функций или свойств различного рода разработок. В приложении к кольцевым кодам будем использовать его как частный, один из нескольких возможных компонентов-показателей, определяющих основные свойства кодового слова, являющегося строкой кольцевого кода. В этот тер-

мин будем вкладывать понятие частичного, не достаточно полного и достоверного показателя кодового слова. Тогда полный идентификатор кодового слова должен состоять не из одного, а из нескольких спецификаторов.

Используемые в спецификаторах свойства кольцевых кодов. Обоснование приведенных далее свойств кольцевых кодов дано в [4-6].

1. Длина вектора показателей сдвигов на единицу меньше длины строки кольцевого кода и равна $N-1$.

2. Разность двух сумм векторов показателей сдвигов с параметрами $m=const$ и длиной исходного вектора N и $N+1$ всегда равна величине $2*m$.

3. На основании известной суммы элементов ВПС для одного значения N и $m=const$, можно получить сумму элементов ВПС для произвольного значения m и такой же длины кода N .

4. Элементы ВПС обладают взаимной центральной симметрией.

5. Интервал изменения величины элементов ВПС кольцевых кодов определяется соотношением величин N и m и расположен в интервале $[0, 2*m]$.

6. Структура и величина элементов ВПС функционально определяется структурой и распределением единиц на символах строк кольцевого кода. Эта зависимость не является единообразной и очевидной для всех кольцевых кодов, за исключением так называемых особых кольцевых кодов.

7. Для NOR-кольцевых кодов элементы ВПС, как и общая сумма их, являются четными величинами и могут быть уменьшены вдвое.

8. Закономерность, свойственная одному кольцевому коду, распространяется на все остальные.

9. Закономерности, присущие преобразованию строк кольцевого кода, сохраняются и для его столбцов.

10. Свойство эквивалентности ВПС для кольцевых кодов с таким же распределением единиц и нулей (дельта-фактором), но повернутых на 180 градусов.

11. Свойство эквивалентности ВПС для кольцевых кодов с прямыми и инвертированными символами строк кольцевых кодов.

12. Свойство равенства зеркального преобразования исходной последовательности, состоящее в том, что ВПС получается одним и тем же для кольцевого кода с левым и правым кольцевым сдвигом символов исходного вектора.

13. Свойство функциональной зависимости: векторы показателей сдвигов, полученные из кольцевых кодов на основании двоичных операций *HOR*, *OR* и *NOT*, которые функционально связаны между собой.

Каждый кольцевой код можно сделать родоначальником семейства ему подобных кольцевых кодов. При этом наблюдаются три этапа получения представителей (членов) данного семейства [7]: исходный базовый начальный этап, определяемый выбранным дельта-фактором (структурой дельта-фактора), этап настройки или переходного состояния, при которой часть элементов ВПС изменяются в интервале от 2 до $2m$, и установившейся “коматозный” этап, при котором увеличение длины исходного вектора очередного представителя семейства N на единицу приводит только к добавлению в середине ВПС одного либо двух новых элементов со значением $2m$.

Далее на примерах кольцевых кодов с двукратной единицей и кольцевых кодов с баркеровской базой (исходным вектором) демонстрируются основные закономерности семейств особых кольцевых кодов, в которых базовый исходный вектор и ВПС любого представителя семейства связаны простой функциональной зависимостью.

Кольцевые коды с особыми свойствами

Кольцевые коды с двукратным единичным символом. Кольцевые коды с двукратным единичным символом в каждой строке обладает тем осо-

бым свойством, что векторы показателей сдвигов включают в себя элементы только двух значений “2” и “4”. Расположение единиц в строках кольцевого кода обуславливает месторасположение двух элементов со значением “2” в ВПС. Эти закономерности здесь весьма простые (табл. 1).

Таблица 1
Кольцевые коды с двукратной единицей

Параметры кода	Вид исходного вектора N	Вектор показателей сдвигов
$N=10, m=2$	0 0 1 0 1 0 0 0 0 0	4 2 4 4 4 4 4 2 4
$N=10, m=2$	0 0 0 1 0 0 1 0 0 0	4 4 2 4 4 4 2 4 4
$N=10, m=2$	0 0 0 0 1 0 1 0 0 0	4 4 4 2 4 2 4 4 4

- Если в исходном векторе две единицы следуют подряд друг за другом, то первые крайние элементы ВПС равны значению 2.

- Если в исходном векторе две единицы следуют через один пробел (один нулевой символ), то элементы со значением 2 располагаются на втором месте от концов соответствующего ВПС,

- Если в исходном векторе две единицы следуют через два пробела, то элементы со значением 2 располагаются на третьем месте от концов соответствующего ВПС и т.д.

Семейства кольцевых кодов с баркеровской базой. Определение. Кольцевой код, все элементы вектора показателей сдвигов которого равны одному и тому же целому числу, является кодом Баркера.

Каждый код Баркера может быть родоначальником (базовым исходным вектором) семейства особых кольцевых кодов. Любой представитель семейства получается приписыванием справа или слева к исходному базовому вектору дополнительного нулевого символа. Представители получаемых семейств имеют много общего. Для демонстрации этих свойств были выбраны семейства на основании исходных векторов кодов Баркера с параметрами $N=7, m=3$ и $N=11, m=5$, представленные в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Семейство баркеровских кодов с базой $N=7, m=3$

Параметры	Исходный вектор N	Вектор показателей сдвигов	S
$N=7, m=3$	0 1 0 1 1 0 0	4 4 4 4 4 4	24
$N=8, m=3$	0 1 0 1 1 0 0 0	4 4 4 6 4 4 4	30
$N=9, m=3$	0 1 0 1 1 0 0 0 0	4 4 4 6 6 4 4 4	36
$N=12, m=3$	0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0	4 4 4 6 6 6 6 6 4 4 4	54

Вектор показателей сдвигов базового кода Баркера с $N=7, m=3$ имеет все элементы вектора показателей сдвигов одинаковые и равные 4.

Представитель №1 семейства с $N=8$ и $m=3$ (вторая строка табл. 2) имеет ВПС с одним новым, наращенным на две единицы, элементом в центре, равным $2*m=6$. Представитель №2 этого семейства с $N=9$ и $m=3$ (третья строка таблицы 2) имеет ВПС уже с двумя (по сравнению с ВПС исходного кода Баркера) новыми, наращенными на две единицы, элементами со значениями $2*m=6$. Представитель №5 семейства с $N=12$ и $m=3$ (четвертая строка табл. 2)

имеет ВПС с пятью новыми элементами в середине со значениями, равными $2*m$.

Отсюда следует алгоритм формирования элементов ВПС представителей таких особых расширенных кольцевых кодов: с каждой новой единицей в значении исходного вектора $N=7$ в середине ВПС добавляется новый элемент со значением равным $2*m$.

Далее в таблице 3 показаны представители (члены) баркеровского семейства кольцевых кодов с особыми свойствами, полученными посредством линейного расширения кода Баркера с параметрами $N=11$ и $m=5$. Здесь ВПС отдельных представителей изменяется сле-

$D2$. Последующие вычисления позволяют проверить и устранить путём подбора (с определенной степенью точности) ошибки в кодовом слове.

3. Строка 3. В качестве идентификатора кодового слова используется общая сумма коэффициентов вектора показателей сдвигов S и два спецификатора $D1$ и $D2$. Как и в предыдущем случае, последующие вычисления позволяют проверить и устранить путём подбора ошибки в кодовом слове. Точность расчетов при этом повышается.

4. Строка 4. В качестве идентификатора используется инвертированное кодовое слово и один из спецификаторов $D1$ или $D2$. Недостатком метода является завышенное количество бит, используемых для идентификации кодового слова и исправления ошибок.

5. Строка 5. В качестве идентификатора используется инвертированное кодовое слово и два спецификатора $D1$ и $D2$. Недостатком метода, как и в предыдущем случае, является завышенное количество бит, используемых для идентификации кодового

слова и исправления ошибок. Точность исправления ошибок при этом высокая.

6. Строка 6. В качестве идентификатора используется общая сумма коэффициентов вектора показателей сдвигов S и два спецификатора $D1$ и $D2$. Кодовое слово на приемный конец вообще не посылается. Оно восстанавливается посредством последующих вычислений.

7. Строка 7. В качестве идентификаторов специальных кольцевых кодов образующих семейства, входят два спецификатора: индекс (название) самого семейства, который передается один раз для всего семейства, а далее время от времени может обновляться, оставаясь одним и тем же. Индекс может занимать одно хорошо защищенное от искажений кодовое слово.

8. Строка 8. В дальнейшем для каждого представителя семейства передается только длина кодового слова и номер строки кольцевого кода, поскольку с одной длиной N может быть не одно, а N кодовых слов, а именно столько, сколько строк в кольцевом коде.

Таблица 6

Возможные варианты спецификаторов кольцевых кодов

№п.п.	Кодовое слово плюс отдельные спецификаторы		
1.	Кодовое слово	Сумма элементов ВПС S	
2.	Кодовое слово	Сумма элементов ВПС S	$D1$
3.	Кодовое слово	Сумма элементов ВПС S	$D1$ $D2$
4.	Кодовое слово	Инвертированное кодовое слово	$D1$
5.	Кодовое слово	Инвертированное кодовое слово	$D1$ $D2$
6.	Сумма элементов вектора показателей сдвигов S		$D1$ $D2$
7.	Общий индекс данного семейства кольцевых кодов		
8.	Длина кодового слова N плюс номер строки, защищенные циклическим кодом		

Выводы

1. Наилучшим идентификатором кольцевого кода является его вектор показателей сдвигов.

2. В чистом виде ВПС для идентификации и исправления ошибок в кодовых словах использовать нерационально, заменяя его одним или несколькими спецификаторами.

3. Спецификаторы получаются математическим преобразованием по выбранному алгоритму элементов ВПС. Получено четыре вида спецификаторов и показаны способы их применения.

4. На основании любого кольцевого кода можно создать семейство подобных ему кольцевых кодов. Особым видом семейств являются такие, у которых имеется простая функциональная связь между видом исходного вектора кольцевого кода и значениями величин элементов его вектора показателей сдвигов. Показаны особенности отдельных представителей таких семейств и предложен алгоритм их идентификации.

5. Выбранные по определённым алгоритмам, спецификаторы могут быть использованы для идентификации и, кроме того, шифрования информации.

Список литературы

1. Айфичер Эммануил С. Цифровая обработка сигналов: практический подход. / Эммануил С. Айфичер, Барри У. Джервис. - М.: "Вильямс", - 2004, - 992 с.
2. Берлекэмп Э. Алгебраическая теория кодирования. Пер. с англ. / Э. Берлекэмп. - М.: Мир. - 1971. - 477 с.
3. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. Пер. с англ. / У. Питерсон, Э. Уэлдон. - М.: Мир. - 1976. - 594 с.
4. Дикарев А.В. Коды на основе двоичных колец / Дикарев А.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2014. - Випуск 1(29) - С.50-53.
5. Дикарев А.В. Постулаты кольцевых кодов / Дикарев А.В. // Зв'язок. - 2013. - Випуск №5(105). - С. 53-56.
6. Дикарев А.В. Баркероподобные последовательности / Дикарев А.В. // Зв'язок. - 2014. - Випуск №2 - С.68-70.
7. Дикарев А.В. Семейства цепочечных кольцевых кодов / Дикарев А.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2014. - Випуск 1(29) - С.36-40.

Поступила в редакцію 27.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Сайко В.Г., Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

СПОСОБИ ПЕРЕВІРКИ КІЛЬЦЕВИХ КОДІВ

О.В. Дікарев

У статті доведено, що достатнім ідентифікатором, за яким можна відновити спотворене кодове слово, є його вектор показників зсуву. З метою зменшення величини цього параметру досить представити його декількома більши дрібними за своїм розміром компонентами-спеціфікаторами. Їх можна формувати за різними алгоритмами на підставі наведених у роботі основних властивостей та особливостей кільцевих кодів та відповідних їм векторам показників зсуву. Подано характерні форми спеціфікаторів для звичайних й спеціальних кільцевих кодів. Наведено приклади ідентифікації кодових слів на підставі їх спеціфікаторів. Запропоновано використання ідентифікаторів не тільки для виправлення каналних помилок, але й для шифрування інформації.

Ключові слова: кільцевий код, ідентифікатор, кодове слово, вектор, перевірочні символи.

WAYS OF CHECK OF RING CODES

A.V. Dirarev

In work it is shown, that by the sufficient identifier on which the deformed code word can be restored, its vector of indicators of shifts is. For the purpose of reduction of size of this parameter it is enough to present its several smaller on the size components-qualifiers. They can be formed in the various ways on various algorithms on the basis of the basic properties resulted in work and features of ring codes with vectors of indicators of shifts generated by them. Characteristic forms of qualifiers for usual and special ring codes are given. Examples of identification of code words on the basis of their qualifiers are resulted. It is offered to use identifiers not only for detection and correction of channel errors, but also for enciphering of data.

Keywords: a ring code, the identifier, a code word, a vector, verifying symbols.

УДК 621.325.5:621.382.049.77

О.В. Дробик¹, М.А. Косоветь²¹Державний університет телекомунікацій, Київ²Науково-виробниче підприємство «Квантор», Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ РОЗТІКАННЯ СПЕКТРУ ОБМЕЖЕНОГО У ЧАСІ ЧАСТОТИ БИТТЯ 3D-РАДАРА

Побудована генеративна модель сигналу биття на виході змішувача, яка дала змогу дослідити розтікання спектру обмежених у часі сигналів биття, а також зсув екстремумів їх спектральної щільності відносно частот, присутніх в гармонічних коливаннях моделі.

Вступ

У науковій лабораторії НВП «Квантор» були проведені дослідження побудованого FMCW (Frequency Modulation Continuous Wave) радара з такими параметрами: діапазон частот лінійної частотної модуляції (ЛЧМ) - від 92 ГГц до 96 ГГц; період ЛЧМ (тривалість інтервалу спостережень) - 1 мс; розрядність АЦП - від 16 до 32 біт; кількість циклів накопичення - від 1 до 10000; кількість шарів відбиття - 3; відстані до шарів відбиття - 0,095 м, 0,105 м, 0,106 м; середовище поширення хвиль - повітря; відношення С/Ш - від 80 дБ до 30 дБ.

Основна частина

Будемо виходити з припущення строгої лінійності закону ЛЧМ і наявності 3 відбиваючих поверхонь. Тоді сигнал на виході змішувача FMCW радара можна описати виразом

$$s(t) = U_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + U_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + U_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_3).$$

Розглянемо спочатку аналоговий сигнал у вигляді нескінченного в часі гармонійного коливання

$s(t) = \cos(\omega_0 t + \varphi)$, $-\infty < t < +\infty$, який має Фур'є-образ (а точніше неперервне у часі перетворення Фур'є, НЧПФ),

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt, \quad s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(j\omega) e^{j\omega t} d\omega,$$

дискретний за частотою (лінійчатого виду),

$$\pi e^{j\varphi} \delta(\omega - \omega_0) + \pi e^{-j\varphi} \delta(\omega + \omega_0),$$

де $\delta(\omega)$ - дельта-функція або функція Дірака. Випадок сигналу з 3-х нескінчених в часі гармонічних коливань показаний на рис. 1, а його теоретичний лінійчатий спектр - на рис. 2.

При розгляді такого сигналу на інтервалі $t_1 \leq t \leq t_2$ і використанні апарату Фур'є (тобто апарату подання сигналу суперпозицією нескінчених в часі комплексних експонент) виникає питання про те, як слід продовжити сигнал за межами цього інтервалу.

Одним із варіантів продовження сигналу за межами інтервалу спостереження є прийняття припущення про те, що $s(t) = 0$ при $t_1 \leq t \leq t_2$.