УДК 621.391.833

Дикарев А. В., к.т.н. *(Государственный университет телекоммуникаций)*

ДВОИЧНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ОДИНАКОВЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОДОБИЯ

Дікарєв О. В. Двійкові послідовністі з однаковим коефіцієнтом подоби. Розглядаються двійкові зсувні послідовності з однаковим коефіцієнтом подоби, які володіють з одного боку властивостями блокових циклічних кодів з виявленням та виправленням помилок, а з іншого – кодів Баркера, але з більш м'якими ніж у них вимогами до взаємної кореляції кодових слів. Це забезпечує їх пошириеність і, як наслідок, дає можливість використання для ефективного завадостійкого кодування дискретної інформації.

Ключові слова: завадостійке кодування, циклічні коди, коди Баркера, згорточні коди, взаємна кореляція

Дикарев А. В. Двоичные последовательности с одинаковым коэффициентом подобия. Рассматриваются двоичные сдвиговые последовательности с одинаковым коэффициентом подобия, которые владеют с одной стороны свойствами блочных циклических кодов с выявлением и исправлением ошибок, а с другой стороны – кодов Баркера, но с более мягкими требованиями к взаимной корреляции кодовых слов. Это обеспечивает их распространенность и, как следствие, дает возможность использования для эффективного помехоустойчивого кодирования дискретной информации.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, циклические коды, коды Баркера, свёрточные коды, взаимная корреляция

Dikariev O. V. Binary sequences with identical factor of similarity. Binary shift sequences with an identical coefficient similarities which have bouth, properties of sectional cyclic codes with an exposure and correction of errors, and codes of Barker, but with more soft requirements to cross-correlation of code words are examined . It provides their prevalence and, as a result, gives an opportunity of the use for the effective noiseproof coding of the discrete information.

Keywords: noiseproof coding, cyclic codes, Barker code, convolutional codes, mutual correlation

Рассматриваемые в статье двоичные сдвиговые последовательности с одинаковым коэффициентом подобия (СПОК) по принципу построения и основным свойствам идентичны известным кодам Баркера, но имеют не только единичный, а и другие, но обязательно постоянные, коэффициенты корреляции. Коды Баркера нашли широкое применегние при создании шумоподобных сигналов в широкочастотных радиотехнологиях, в частности, стандарта IEEE 802 [1, 2]. Следовательно, СПОК является строками матрицы, полученной циклическим сдвигом исходной двоичной последовательности, в которой векторное произведение по модулю 2 любых двух строк остаётся постоянным. Соотношение между числом единичных и нулевых символов в исходной последовательностью может задаваться разработчиком СПОК. В этом состоит главное отличие их от кодов Баркера. Между кодами Баркера и СПОК имеется много общего. С другой стороны, поскольку кодовые слова СПОК как и коды Баркера, обладают свойством колец Галуа, в принципе они могут выполнять роль помехоустойчивых кодов [3, 4]. В современных цифровых технологиях имеется насущная потребность обнаруживать и исправлять ошибки в адресной части кадров, фреймах, сэмплах и т.д. [5, 6, 7]. Обладая двумя уровнями избыточности, СПОК могут найти применение для этой цели.

Получение кодов Баркера. В общем случае коды Баркера являются двоичными последовательностями, в которых число единичных и нулевых элементов отличается на единицу и векторное произведение по модулю 2 двух любых последовательностей, получающейся из исходной циклическим сдвигом, не меняется и остаётся равным единице.

Пусть длина кода Баркера равна N двоичных символов. Если выполнять его циклический сдвиг на один символ и каждый раз располагать полученную таким образом новую последовательность в виде строк таблицы (матрицы), то новая строка матрицы не будет совпадать с любой другой её строкой ровно на единицу, т.е. корреляция между строками составляет один бит. По длине последовательности Баркера N задаются нечётными. Путём обычного перебора нетрудно убедиться, что в любой двоичной последовательности с нечётным N и числом нулей и единиц отличающихся на единицу, можно найти по крайней мере одну из них с указанными выше свойствами кода Баркера. Это подтверждают приведенные таблицы для N=3, 5, 7, 11 (Табл. 1…4).

Табл. 1

Последовательность длиной N=3				K
0.	1	0	1	
1.	1	1	0	1-2=-1
2.	0	1	1	1-2=-1
3.	1	0	1	1-2=-1

Табл.2

Последовательность длиной N=5						K
0.	1	0	1	0	0	
1.	0	1	0	1	0	2-3=-1
2.	0	0	1	0	1	2-3=-1
3.	1	0	0	1	0	2-3=-1
4.	0	1	0	0	1	2-3=-1
5.	1	0	1	0	0	3-2=1

Табл. 3

Последовательность длиной N=7								K
0.	1	1	1	0	0	1	0	
1.	0	1	1	1	0	0	1	3-4=-1
2.	1	0	1	1	1	0	0	3-4=-1
3.	0	1	0	1	1	1	0	3-4=-1
4.	0	0	1	0	1	1	1	3-4=-1
5.	1	0	0	1	0	1	1	3-4=-1
6.	1	1	0	0	1	0	1	3-4=-1
7.	1	1	1	0	0	1	0	3-4=-1

Табл. 4

Последовательность Баркера длиной N=11												К
0.	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	5-6=-1
1.	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	5-6=-1
2.	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	5-6=-1
3.	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	5-6=-1
4.	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	5-6=-1
5.	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	5-6=-1
6.	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	5-6=-1
7.	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	5-6=-1
8.	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	5-6=-1
9.	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	5-6=-1
10.	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	5-6=-1
11.	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	5-6=-1

Если выполнить автоматизированный поиск двоичных последовательностей кодов Баркера программным путём, то алгоритм операций будет состоять из следующих основных программных блоков:

- Программный перебор C_N^m сочетаний двоичных последовательностей, где $m = \dfrac{N-1}{2}$ или $m = \dfrac{N+1}{2}$.
- Циклический сдвиг получаемых при этом N двоичных последовательностей, начиная с первого до последнего двоичного символа N. Результаты записываются в квадратную матрицу размером $N \cdot N$.
- Вычисление векторного произведения по модулю 2 каждой строки полученной матрицы с целью нахождения такой матрицы, в которой выполняется основное условие кодов Баркера. При этом необходимо исследовать $N \cdot C_N^m$ последовательностей для выделения одной из них. Так, например, для N=9 и N=13 число выполненных программных операций составляет соответственно $9 \cdot C_9^4 = 1134$ и $13 \cdot C_{13}^6 = 22310$. Отсюда следует первое свойство.

Свойство 1. Среди множества C_N^m двоичных последовательностей, где $m = \dfrac{N-1}{2}$ или $m = \dfrac{N+1}{2}$.- и нечётном N можно выделить по крайней мере одну из них, представляющую собой код Баркера.

Двоичные сдвиговые последовательности с одинаковым коэффициентом подобия (СПОК). В дальнейшем под СПОК понимаются двоичные последовательности, полученные циклическим сдвигом исходной последовательности, в которых взаимная корреляция равна единице либо какому-нибудь другому, но одному и тому же числу.

Первый способ получения СПОК – конкатенация двух или более кодов Баркера любой но одной и той же длины *N*. В качестве примера ниже представлена таблица 5, где выполнена конкатенация двух семибитовых кодов Баркера. Такие же последовательности могут быть получены при конкатенации кодов Баркера любой длины *N* один или несколько раз.

Табл. 5

Последовательность длиной N=7+7															К
0.	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	
1.	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	6-8=-2
2.	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	6-8=-2
3.	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	6-8=-2
4.	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	6-8=-2
5.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	6-8=-2
6.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	……..

Свойство 2. СПОК различной длины с различным числом корреляционных символов можно получить конкатенацией обычных кодов Баркера одинаковой длины *N*.

Метод перебора. Как и в случае кодов Баркера, СПОК с одним либо несколькими значениями корреляционных символов можно выделить простым перебором. Вариантов совпадений и несовпадений символов может быть не один, а два.

В Табл. 6 и 7 показаны две разновидности девятисимвольных СПОК с двумя значениями корререляционных символов 1 и -3. Корреляцию -3 имеют ближайшие соседи каждой строки в случае битового расположения элементов исходной последовательности таблицы 6 и и через одну строку в случае матрицы таблицы 7.

Интерес представляют варианты, когда N четное. В Табл. 8 рассмотрен случай последовательности *N*=8, в которой число единиц равно 5, а нулей 3. Количество несовпадений как и в предыдущем случае для *N*=9 составляет 1 и -3. Такие особенности СПОК позволяют их использование для обнаружения или исправления ошибок в каналах связи.

Свойство 3. Длина *N* СПОК может быть чётным и нечётным числом.

Свойство 4 . СПОК с различным числом корреляционных символов можно получить при различом количестве в N нулевых и единичных символов.

Свойство 5. Более мягкие требования к коэффициентам корреляции СПОК снимают присущую кодам Баркера уникальность, и вследствие этого во много раз увеличивается число СПОК, а это позволяют использовать их в качестве кодовых слов при кодировании дискретной информации.

Табл. 6

Последовательность длиной N=9. Вариант 1										
0.	1	1	1	0	0	1	1	0	1	
1.	1	1	1	1	0	0	1	1	0	5-4=1, 3-6=-3
2.	0	1	1	1	1	0	0	1	1	5-4=1, 3-6=-3
3.	1	1	1	1	1	0	0	0	1	5-4=1, 3-6=-3
4.	1	0	1	0	1	1	1	0	0	5-4=1, 3-6=-3
5.	0	1	1	0	1	1	1	1	0	5-4=1, 3-6=-3
6.	1	0	1	1	0	1	1	1	1	5-4=1, 3-6=-3
7.	1	0	0	1	1	0	1	1	1	5-4=1, 3-6=-3
8.	1	1	0	0	1	1	0	1	1	5-4=1, 3-6=-3
9.	1	1	1	0	0	1	1	0	1	5-4=1, 3-6=-3

Табл. 7

Последовательность длиной N=9. Вариант 2										К
0.	0	0	0	0	1	1	1	0	1	
1.	1	0	0	0	0	1	1	1	0	5-6=-1, 3-6=-3
2.	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5-6=-1, 3-6=-3
3.	1	0	1	0	0	0	0	1	1	5-6=-1, 3-6=-3
4.	1	1	0	1	0	0	0	0	1	5-6=-1, 3-6=-3
5.	1	1	1	0	1	0	0	0	0	5-6=-1, 3-6=-3
6.	0	1	1	1	0	1	0	0	0	5-6=-1, 3-6=-3
7.	0	0	1	1	1	0	1	0	0	5-6=-1, 3-6=-3
8.	0	0	0	1	1	1	0	1	0	5-6=-1, 3-6=-3
9.	0	0	0	0	1	1	1	0	1	5-6=-1, 3-6=-3

Табл. 8

Последовательность длиной N=8									К
0.	1	1	1	0	1	0	0	1	
1.	1	1	1	1	0	1	0	0	4-3=1, 2-4=-2
2.	0	1	1	1	1	0	1	0	4-3=1, 2-4=-2
3.	0	0	1	1	1	1	0	1	4-3=1, 2-4=-2
4.	1	0	0	1	1	1	1	0	4-3=1, 2-4=-2
5.	0	1	0	0	1	1	1	1	4-3=1, 2-4=-2
6.	1	0	1	0	0	1	1	1	4-3=1, 2-4=-2
7.	1	1	0	1	0	0	1	1	4-3=1, 2-4=-2
8.	1	1	1	0	1	0	0	1	4-3=1, 2-4=-2

Выводы. Не являясь уникальными подобно кодам Баркера, а значит более разнообразными и многочисленными, но обладая многими его особенностями, СПОК могут найти применение при тестировании дискретных каналов связи, помехоустойчивом кодировании, а в некоторых случаях служить альтернативой кодам Баркера. Отличия СПОК от кодов Баркера состоят в их длине *N* и количестве символов корреляции.

Литература

1. Комп’ютерні мережі з бездротовим доступом : навчальний посібник / [В. Г. Сайко, В. Ф. Олійник, С. Г. Бунін та інш.]. – К.: Ніка-Центр, 2007/ – 296 с.

2. Системи та мережі цифрового радіозв’язку: інженерно-технічний довідник / [В. Ф. Олійник, В. Г. Сайко, С. В. Булгач., В. Г. Кривуца]. – Ніжин: вид-во "Аспект-Поліграф”, 2011. -612 с.

3. Мешковский К. А. Кодирование в технике связи / Мешковский К. А., Кириллов Н. Е. – М.: Связь, 1966. – 320 с.

4. Скопа О. О. Генератор послідовностей GMW на основі слідів полів Галуа / О. О. Скопа, К. М. Фількін // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2008. – №2(4). – С. 77-82.

5. Закиров З. Г. Сотовая связь стандарта GSM / З. Г. Закиров, А. Ф. Надеев, Р. Р. Файзуллин. – М: Эко-Трендз, 2004. – 264 с.

6. Смирнов А. В. Цифровое телевидение: от теории к практике / А. В. Смирнов, А. Е. Пескин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 352 с.

7. Серов А. В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H / А. В. Серов. – СПб: БХВ-Петербург, 2010. – 464 с.