

УДК 621.391

МЕТОД ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДУЛЯЦИИ НА БАЗЕ СОВЕРШЕННЫХ ДВОИЧНЫХ РЕШЕТОК ЭКВИВАЛЕНТНОГО КЛАССА

Н. И. Кушниренко, д. т. н. В. Я. Чечельницкий

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса
natalka_kni@ukr.net

В работе исследованы корреляционные свойства совершенных двоичных решеток эквивалентного класса, предложен метод передачи информации на основе циклических сдвигов совершенных двоичных решеток, разработаны экономичные схемы модулятора и демодулятора сигналов.

Ключевые слова: шумоподобные сигналы, совершенные двоичные решетки, информационная модуляция, двумерная периодическая взаимнокорреляционная функция.

На сегодняшний день при разработке систем радиосвязи значительное внимание уделяется вопросам помехозащищенности, а именно помехоустойчивости и скрытности связи. Для обеспечения высоких показателей скрытности связи в современных системах характерно применение шумоподобных сигналов [1], которые строятся на основе разнообразных алгебраических конструкций. В качестве таких конструкций могут выступать совершенные двоичные решетки (СДР), вопросы приложения которых получили широкое освещение в научных работах последних лет [2, 3]. Несмотря на это, в теории СДР по сей день имеется ряд нерешенных проблем, связанных с особенностями структурных и корреляционных свойств данных конструкций, которые оставляют существенный простор для исследований. Тщательное их изучение позволит еще более эффективно и широко применять СДР в разных отраслях науки и техники.

В данной работе предлагается метод передачи информации на базе СДР, который основан на циклическом сдвиге строк и/или столбцов базовой решетки. В работе решаются следующие задачи: анализируются свойства циклических сдвигов СДР по строкам и/или столбцам, исследуются свойства двумерных периодических взаимнокорреляционных функций (ДПКВФ) между СДР эквивалентного класса, обосновывается метод информационной модуляции на основе эквивалентного класса СДР, предлагаются экономичные схемы модулятора и демодулятора сигналов.

Как известно из [2], СДР называют двумерные матрицы размера $N \times N$ (N -порядок СДР):

$$\mathbf{P}(N) = \|p_{i,j}\|, \quad (1)$$

где $p_{i,j} \in \{+1, -1\}$ — элементы СДР, $i = \overline{0, N-1}$ — номера строк СДР, $j = \overline{0, N-1}$ — номера столбцов СДР, которые имеют идеальную двумерную периодическую автокорреляционную функцию (ДПАКФ) — $\mathbf{R}(N)$. Такая ДПАКФ имеет лишь один ненулевой элемент $r_{m,n} = N^2$, где m и n — пространственные координаты, для данного корреляционного коэффициента $m=n=0$.

Каждая СДР произвольного порядка N является основой для построения эквивалентного класса СДР [2]. Объединение множеств СДР всех эквивалентных классов данного порядка образует полный класс СДР — $U(N)$ -класс. Эквивалентный класс — $E(N)$ -класс, может быть получен из матрицы $\mathbf{P}^0(N)$, которую будем называть опорной, путем применения операции циклического сдвига ко всем ее строкам и столбцам. Таким образом, наличие произвольной СДР однозначно задает соответствующий $E(N)$ -класс, мощность которого составляет

$$\Psi_{E(N)} = N^2. \quad (2)$$

Установлено следующее свойство ДПКВФ решеток $E(N)$ -класса.

ДПКВФ между опорной СДР и СДР, чьи строки и/или столбцы циклически сдвинуты по отношению к опорной, содержит один пик, энергия которого равна $E=N^2$. Сдвиги этого пика по отноше-

нию к местоположению его в ДПАКВ однозначно определяют количество циклических сдвигов строк и/или столбцов опорной СДР.

Данное свойство имеет важное практическое значение, поскольку является базой для разработки метода информационной модуляции на основе циклических сдвигов опорной СДР.

Ниже приведено описание предложенного метода информационной модуляции, на основе которого разработаны экономичные схемы модулятора и демодулятора сигналов.

Предположим, что сообщение состоит из дискретных символов, каждый из которых выбран из некоторого конечного множества — алфавита. Пусть

$$A \in \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{q-1}\}$$

алфавит, состоящий из q разных символов. Предполагается, что для передачи каждого символа a_i , где i — номер соответствующего символа из алфавита A , модулятор будет использовать одну опорную СДР из $E(N)$ -класса.

Количество циклических сдвигов по строкам $k1$ и столбцам $k2$ рассчитывается по номеру i передаваемого символа a_i для передаваемой СДР следующим образом:

$$k1 = \text{Int}(i / N), \quad (3)$$

где $\text{Int}(a / b)$ — целая часть от деления a на b ;

$$k2 = \text{Res}(i / N), \quad (4)$$

где $\text{Res}(a / b)$ — остаток от деления a на b .

Ясно, что порядок N для СДР $E(N)$ -класса необходимо выбирать из условия $N^2 \geq q$.

На приемной стороне в демодуляторе (декодере) с корреляционным методом декодирования проводится расчет ДПВКФ между принятой решеткой $\mathbf{Y}(N)$ и опорной решеткой $\mathbf{P}^0(N)$, параметры последней хранятся в запоминающем устройстве. Затем решающее устройство декодера осуществляет поиск максимального лепестка ДПВКФ и значений его максимально правдоподобных координат $(\hat{k}1, \hat{k}2)$. Декодер источника вычисляет номер максимально правдоподобного передаваемого символа следующим образом:

$$\hat{i} = \hat{k}1 \cdot N + \hat{k}2.$$

Максимально правдоподобный номер \hat{i} определяет переданное сообщение $a_{\hat{i}}$, которое поступает получателю сообщения.

Предложенный метод передачи информации позволил разработать экономичные схемы модулятора и демодулятора сигналов, построенных на базе эквивалентного класса СДР. При этом сложность каждого разработанного устройства приблизительно в N^2 меньше в сравнении с устройствами, которые обрабатывают шумоподобные сигналы и строятся по традиционным схемам передачи информации. Кроме этого, данный метод может быть усовершенствован с целью создания криптографического метода передачи информации в системах связи.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Valery P. Ipatov. Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications. — Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2005.
2. Чечельницкий, В.Я. Метод построения полного класса совершенных двоичных решеток порядка $N=2k$ / В.Я. Чечельницкий // Радиоэлектроника (Изв. вузов).— 2006.— Т. 49, № 9.— С. 44–53.
3. Arasu K.T., Pott A. Perfect binary sequences of even period // Journal of Statistics and Applications. — 2009. — Vol. 4 N. 2–3. — Pages 169–178.

N. I. Kushnirenko, V. J. Chechelnytskyi

Method of informational modulation based on perfect binary arrays of equivalent class.

The paper presents a research on the correlation properties of the equivalent class perfect binary arrays. The data transmission method based on cyclic shifts of perfect binary arrays was proposed. The efficient signal modulator and demodulator schemes were developed.

Keywords: *noise-like signals, perfect binary arrays, informational modulation, two-dimensional periodic cross-correlation function.*