УДК 621.3.085.42

А. А. Ожиганов

КОМПОЗИЦИОННЫЕ КОДОВЫЕ ШКАЛЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Рассматривается метод построения линейных композиционных кодовых шкал с одной информационной кодовой дорожкой. Приведен пример построения шкалы на основе предложенного метода.

Ключевые слова: *композиционная последовательность, кодовая шкала, линейная композиционная кодовая шкала, считывающие элементы.*

Введение. Цифровые преобразователи линейного перемещения (ЦПЛП) используются для обеспечения информационной связи по положению между позиционируемым объектом и устройством числового программного управления или устройством цифровой индикации. Наиболее перспективны ЦПЛП с непосредственным преобразованием перемещения в код на основе пространственного кодирования, основным элементом которых является кодовая шкала. В настоящее время в ЦПЛП широко применяются шкалы, кодовая маска которых выполнена в обыкновенном двоичном коде или коде Грея. Такие кодовые шкалы сложны в изготовлении, так как число их информационных дорожек обычно равно разрядности преобразователей. Поэтому масса и габариты преобразователей с увеличением их разрядности также возрастают [1].

В работах [2—4] рассмотрены псевдослучайные кодовые шкалы, используемые в качестве кодированного элемента ЦПЛП и имеющие всего одну или несколько (2—4) информационных кодовых дорожек (КД). Рассмотрим теоретические основы и метод построения однодорожечных линейных композиционных кодовых шкал (ЛККШ), обладающих всеми достоинствами псевдослучайных, но с более широким спектром разрешающей способности.

Теоретические основы построения линейных композиционных кодовых шкал. В цифровых преобразователях угла (ЦПУ), построенных по методу считывания, в качестве кодированного элемента используются [5] однодорожечные композиционные кодовые шкалы (ККШ). Особенностью таких шкал является то, что кодовая маска дорожки выполняется в соответствии с символами композиционной двоичной последовательности p-го порядка (K_p-последовательности).

Для получения K_p-последовательности $\{A_i\}$ используется полином

$$H(x)=\prod_{k=1}^{p} h_k(x)$$

степени $N=\sum_{k=1}^{p} m_k$ с коэффициентами поля Галуа $GF(2)$, где

$$h_k(x) = \sum_{j=0}^{m_k} h_j(x^j)$$

— примитивный полином степени m_k с параметрами $h_0 = h_{m_k} = 1$, h_j={0,1} при $0 < j < m_k$ [6].

Символы K_p-последовательности A_{N+i} генерируются в соответствии с рекуррентным выражением:

$$A_{N+i} = \bigoplus_{j=0}^{N-1} A_{i+j} H_j, \quad i = 0, 1, 2, ..., R - N - 1, \tag{1}$$

где знак $\oplus$ означает суммирование по модулю два. Начальные значения символов K_p-последовательности $A_0A_1...A_{N-1}$ выбираются с учетом того, что наибольший общий делитель (НОД) $[t_i(x), H(x)]=1$,

$$t_i(x) = \sum_{j=0}^{N-1} A_{i+j} x^j, i = 0, 1, 2, ..., R-1.$$

Период R K_p-последовательности зависит от степеней полиномов $h_k(x)$ и от полинома начальных значений символов K_p-последовательности $t_i(x)$. Если все m_k (справедливо для $m_k <$ 34 [7]) представляют собой взаимно простые числа, а НОД $[t_i(x), H(x)]=1$, то

$$R = \prod_{k=1}^{p} L_k, \tag{2}$$

где $L_k = 2^{m_k} - 1$.

При построении ККШ символы K_p-последовательности отображаются на КД по ходу часовой стрелки в последовательности $A_0A_1...A_{R-1}$, что позволяет получить разрешающую способность ЦПУ на основе таких шкал $\delta = 360^\circ/R$.

K_p-последовательности относятся к классу циклических кодов, следовательно, можно через циклические сдвиги последовательности задать порядок размещения на шкале N считывающих элементов (СЭ). Иными словами, n-му СЭ (n = 1, 2, ..., N) ставится в соответствие I_n-й циклический сдвиг K_p-последовательности. Тогда полином, определяющий порядок размещения N СЭ на ККШ, имеет вид

$$r(x) = \sum_{n=1}^{N} x^{I_n}, \tag{3}$$

где $I_n \in \{0, 1, ..., R-1\}$. При I_1=0, согласно (3), второй, третий,..., N-й СЭ будут смещены (по ходу часовой стрелки) относительно первого СЭ на $I_2, I_3,...,I_N$ квантов шкалы соответственно.

Для заданной разрешающей способности необходимо получить с N СЭ при полном обороте шкалы R различных N-разрядных кодовых комбинаций. Это обеспечивается путем решения задачи размещения на ККШ СЭ, которая сводится к нахождению подходящего линейно независимого множества из N циклических сдвигов K_p-последовательности [8].

Рассмотрим построение N-разрядной линейной ККШ с разрешающей способностью $\delta_л=D/R$, где D — контролируемое перемещение.

Для синтеза ЛККШ получим последовательность $\{A_i^*\}$, воспользовавшись рекуррентным соотношением (1) и предположив, что размещение СЭ на ЛККШ корректно и задается полиномом (3).

Очевидно, что последовательность $\{A_i^*\}$ включает в себя последовательность $\{A_i\}$, а также некоторые дополнительные символы, число которых зависит от особенностей размещения на ЛККШ СЭ.

Определим разность номеров циклических сдвигов K_p-последовательности, соответствующих случаю размещения на шкале двух соседних СЭ, как $d_i = j_m - j_{m-1}$ (i=1, 2, ..., N–1, m=2, 3, ..., N).

Тогда для получения последовательности $\{A_i^*\}$ рекуррентное соотношение (1), при заданных начальных значениях символов, необходимо применить q раз:

$$q = R - N + \sum_{i=1}^{N-1} d_i \; . \tag{4}$$

С учетом того, что

$$\sum_{i=1}^{N-1} d_i = d_1 + \cdots + d_i + \cdots + d_{N-1} = \left(j_2 - j_1\right) + \cdots + \left(j_m - j_{m-1}\right) + \cdots + \left(j_N - j_{N-1}\right) = j_N \;\; \left(j_1 = 0\right),$$

соотношение (4) в итоге принимает вид

$$q = R - N + j_N \,. \tag{5}$$

Общее число символов последовательности $\{A_i^*\}$ с учетом N задаваемых начальных значений может быть найдено из соотношения

$$Q = R + j_N \,. \tag{6}$$

Метод построения линейных композиционных кодовых шкал для преобразователей линейных перемещений включает следующие этапы.

1. В зависимости от требуемой разрядности N и разрешающей способности $\delta_л$ шкалы с использованием примитивных полиномов $h(x)$ формируется полином $H(x)$.

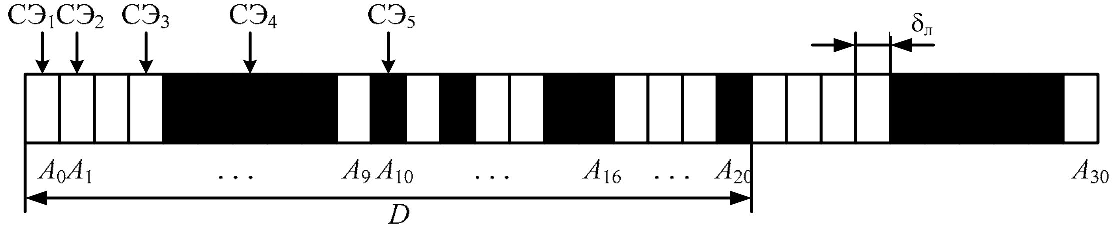
2. С учетом требований к размещению на шкале СЭ формируется полином размещения $r(x)$.

3. С использованием рекуррентного соотношения (1), с учетом (5) и (6), получается последовательность $\{A_i^*\}$, i=0, 1, …, Q–1.

4. Элементарные участки (кванты) шкалы выполняются в соответствии с двоичной последовательностью $\{A_i^*\}$. Символы последовательности $\{A_i^*\}$ отображаются на информационной кодовой дорожке слева направо: $A_0\ A_1\ ...\ A_{Q-1}$.

5. Считывающие элементы размещаются вдоль КД линейной ККШ в соответствии с полиномом $r(x)$.

Пример линейной композиционной кодовой шкалы. На рисунке приведена пятиразрядная ЛККШ, СЭ размещены в соответствии с полиномом $r(x) = 1 + x + x^3 + x^6 + x^{10}$.



Информационная дорожка шкалы длиной Q=31 выполнена в соответствии с последовательностью $\{A_i^*\}$=$A_0A_1...A_{30}$=0000111110101001100010000111110. При построении использован полином $H(x) = h_1(x)h_2(x) = (x^2 + x + 1)(x^3 + x + 1) = x^5 + x^4 + 1$, а символы A_{5+i} последовательности $\{A_i^*\}$ при начальных значениях A_0=A_1=A_2=A_3=0, A_4=1 удовлетворяют рекуррентному выражению $A_{5+i} = A_{4+i} \oplus A_i$ (i = 0, 1, ..., 25).

При перемещении шкалы на один элементарный участок, например справа налево, на выходах считывающих элементов СЭ$_1$, СЭ$_2$, СЭ$_3$, СЭ$_4$ и СЭ$_5$ формируются пятиразрядные кодовые комбинации, соответствующие двадцати одному варианту перемещений ЛККШ (см. таблицу).

Последовательность кодовых комбинаций ЛККШ

№ положения ЛККШ	СЭ$_1$	СЭ$_2$	СЭ$_3$	СЭ$_4$	СЭ$_5$	Десятичный эквивалент кода
0	0	0	0	1	1	3
1	0	0	1	1	0	6
2	0	0	1	1	1	7
3	0	1	1	0	0	12
4	1	1	1	1	0	30
5	1	1	1	0	1	29
6	1	1	0	1	1	27
7	1	1	1	0	0	28
8	1	0	0	0	0	16
9	0	1	1	1	0	14
10	1	0	0	1	1	19
11	0	1	0	0	0	8
12	1	0	1	0	0	20
13	0	0	1	0	0	4
14	0	1	0	1	0	10
15	1	1	0	0	1	25
16	1	0	0	0	1	17
17	0	0	1	0	1	5
18	0	0	0	0	1	1
19	0	1	0	1	1	11
20	1	0	0	1	0	18

Заключение. Рассмотренные однодорожечные ЛККШ могут использоваться в качестве кодированного элемента в преобразователях линейного перемещения, построенных по методу считывания. При одинаковой разрядности разрешающая способность ЛККШ ниже разрешающей способности псевдослучайных и классических кодовых шкал, маска которых выполнена в обыкновенном двоичном коде или в коде Грея. Однако K_p-последовательности, используемые при получении кодовой маски шкалы, позволяют в пределах одной разрядности реализовать ЛККШ с более широким диапазоном разрешающей способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Преснухин Л. Н., Майоров С. А., Меськин И. В., Шаньгин В. Ф.* Фотоэлектрические преобразователи информации. М.: Машиностроение, 1974. 375 с.
2. *Ожиганов А. А.* Псевдослучайные кодовые шкалы для преобразователей линейных перемещений // Изв. вузов. Приборостроение. 1995. Т. 38, № 11—12. С. 37—39.
3. *Ожиганов А. А., Жуань Чжипэн.* Использование псевдослучайных последовательностей при построении кодовых шкал для преобразователей линейных перемещений // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 7. С. 28—33.
4. *Ожиганов А. А., Жуань Чжипэн.* Критерий выбора длины линейной псевдослучайной кодовой шкалы // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 5. С. 30—35.
5. *Ожиганов А. А., Тарасюк М. В.* Композиционные кодовые шкалы // Изв. вузов. Приборостроение. 1994. Т. 37, № 5—6. С. 26—29.
6. *Макуильямс Ф. Д., Слоан Н. Д.* Псевдослучайные последовательности и таблицы // ТИИЭР. 1976. Т. 64, № 12. С. 80—95.
7. *Яковлев В. В., Федоров Р. Ф.* Стохастические вычислительные машины. Л.: Машиностроение, 1974. 344 с.

8. *Ожиганов А. А., Тарасюк М. В.* Размещение считывающих элементов на композиционной кодовой шкале // Изв. вузов. Приборостроение. 1997. Т. 40, № 1. С. 42—47.

Сведения об авторе

Александр Аркадьевич Ожиганов — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники;
E-mail: ojiganov@mail.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
08.02.12 г.