

А. А. ОЖИГАНОВ, И. Д. ЗАХАРОВ

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПСЕВДОРЕГУЛЯРНЫХ КОДОВЫХ ШКАЛ

Предлагается система автоматизированного проектирования псевдoreгулярных кодовых шкал, основными задачами которой являются получение рисунка кодирующей маски шкалы и размещение на ее информационных дорожках считывающих элементов с учетом заданных физических ограничений.

**Ключевые слова:** система автоматизированного проектирования, преобразователь перемещения, псевдoreгулярная кодовая шкала, считывающие элементы.

В современных информационно-измерительных системах широко применяются устройства аналого-цифрового преобразования, одним из видов которых являются преобразователи перемещений, построенные по методу считывания [1]. В качестве кодированного элемента в таких преобразователях могут быть использованы псевдoreгулярные кодовые шкалы (ПРКШ) [2]. В силу особенностей этим шкалам свойственно большое разнообразие вариантов построения кодирующих масок, даже в пределах одной разрядности [3]. Поэтому разработку ПРКШ целесообразно выполнять с использованием системы автоматизированного проектирования.

Предлагаемая система, укрупненная схема которой показана на рис. 1, содержит несколько модулей, различающихся по функциональному назначению. Основной функцией вычислительного модуля является объектное представление проектируемой ПРКШ. Пользователь имеет возможность манипулировать ПРКШ при помощи графического интерфейса пользователя (ГИП), который выделяется в отдельный модуль. Отклик модуля ПРКШ на действия

пользователя, в свою очередь, отображается посредством модуля графического представления кодовой шкалы (ГПКШ). Особого внимания также заслуживает расширяемое множество модулей-генераторов, используемых для формирования кодирующих масок (КМ) дорожек ПРКШ.

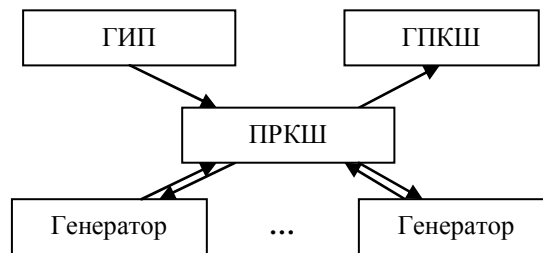


Рис. 1

Объектная иерархия модуля ПРКШ (рис. 2) спроектирована таким образом, чтобы максимально отразить технологические особенности проектируемого изделия. Так, младшим объектом иерархии является квант ( $q$ ) кодовой дорожки (КД) [2]. Множество квантов можно объединить в абстракцию, представляющую собой один период информационной КД. Синтез КМ осуществляется посредством выбираемого объекта-генератора двоичной рекуррентной последовательности. Конкретный тип генератора определяется пользователем в процессе проектирования. Полученный объект соответствует периоду информационной КД, предоставляя вышестоящему объекту иерархии интерфейс для работы с периодом информационной КД в целом.

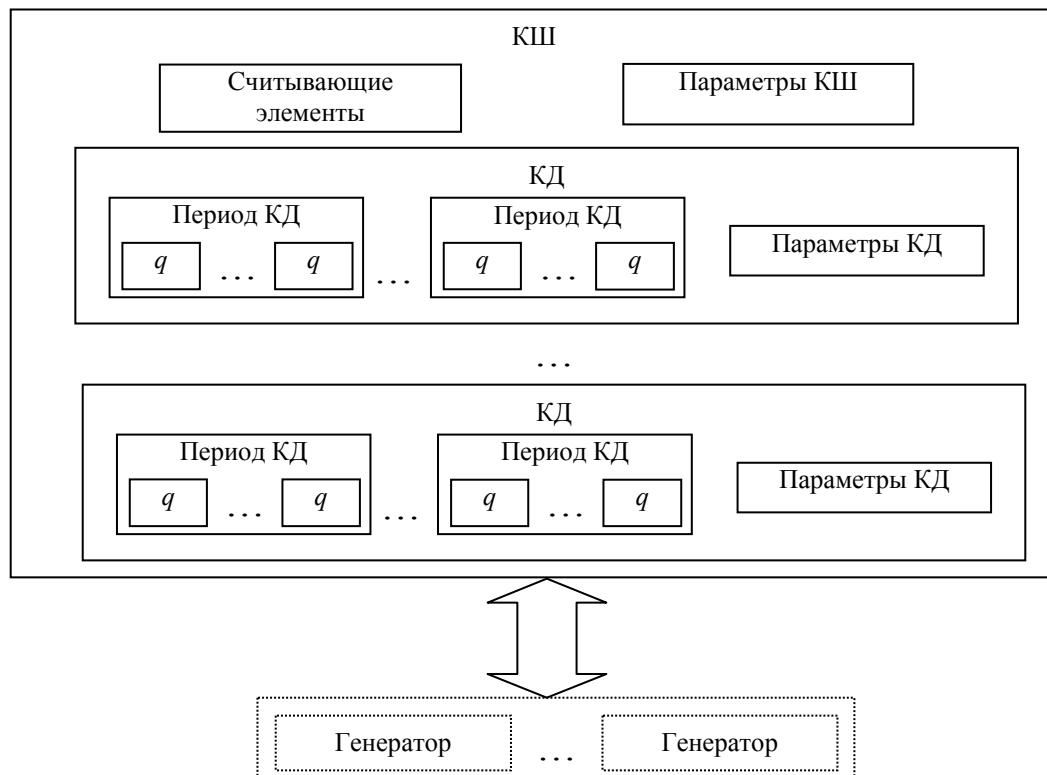


Рис. 2

Выше в объектной иерархии системы расположен объект КД, который функционально состоит из двух частей, отвечающих за логическую и физическую составляющие. Объекты периодов информационной КД составляют основу логической части объекта КД. В физической части хранятся либо вычисляются такие параметры КД, как диаметр, число периодов, линейные

размеры кванта и др. Объект КД предоставляет интерфейс для работы графического модуля, позволяющего рассчитывать местоположение конкретного кванта информационной КД.

Кодовая шкала является верхним уровнем объектной иерархии модуля ПРКШ. В функции КШ входит хранение списка объектов КД, предоставление интерфейса работы с ними, а также взаимодействие со считывающими элементами (СЭ) и их физическими параметрами. Для этих целей в состав КШ включена сущность, отвечающая за размещение СЭ на всех КД, из которых состоит данная КШ. Физические ограничения для КШ определяются как ее физическими параметрами (расстояние между КД и линейные размеры квантов каждой информационной КД), так и конструктивными особенностями преобразователя на основе ПРКШ в целом. Для устранения неоднозначности результатов считывания с ПРКШ информации СЭ должны размещаться с необходимой избыточностью [4].

Модули-генераторы различаются по типу генерируемых двоичных рекуррентных последовательностей. Такие модули состоят из двух частей — вычислительной и интерфейсной. В вычислительной части, выполняемой в отдельном потоке, реализуется алгоритм генерации двоичной рекуррентной последовательности, а интерфейсная часть предоставляет полученные последовательности модулю ПРКШ и осуществляет контроль над вычислительной частью, останавливая и возобновляя вычислительный поток. Известны алгоритмы формирования двоичных рекуррентных последовательностей, пригодные для формирования КМ шкалы и оптимизированные для использования в САПР кодовых шкал [3, 5]. Рассматриваемая в настоящей работе САПР ПРКШ позволяет унифицировать их реализацию, инкапсулируя вычислительную часть и предоставляя единый интерфейс.

Круговая ПРКШ представляет собой диск с нанесенной на него КМ в виде информационных КД и СЭ. Вдоль информационных КД размещены СЭ, с которых снимается информация об угловом положении ПРКШ.

В качестве входных данных модуля ПРКШ, получаемых из ГИП, выбираются внутренний и внешний диаметры КМ, минимальные линейные размеры кванта информационной КД, расстояние между КД, размеры СЭ, а также минимальные расстояния между ними.

Ширина  $i$ -й КД ( $i=1, \dots, k$ ) вычисляется модулем ПРКШ в соответствии с выражением

$$\Delta_i = \frac{(D_{\text{ex}} - D_{\text{in}} - (k-1)w)}{k},$$

где  $D_{\text{in}}$  и  $D_{\text{ex}}$  — внутренний и внешний диаметр КМ, а  $w$  — минимальное расстояние между соседними КД.

С учетом того, что ширина всех КД, входящих в проектируемую КШ одинакова, внутренний диаметр  $D_i$   $i$ -й КД может быть определен из соотношения

$$D_i = D_{\text{in}} + (\Delta_i + w)i = \frac{iD_{\text{ex}} + (k-i)D_{\text{in}} + iw}{k}.$$

Линейный размер кванта КД вычисляется в соответствии с выражением

$$q_i = \frac{\pi D_i}{N_i P_i},$$

где  $N_i$  — число квантов в одном периоде  $i$ -й информационной КД, а  $P_i$  — число периодов КМ  $i$ -й КД.

Число квантов каждой кодирующей маски КД определяется разработчиком ПРКШ и задается посредством выбора соответствующего генератора последовательности. В случае

формирования КМ  $i$ -й информационной КД на основе последовательностей де Брейна число ее квантов равно  $2^n$ , где  $n$  — степень последовательности де Брейна.

Число периодов текущей информационной КД определяется рекуррентно из соотношения

$$P_i = P_{i-1} N_{i-1}, \quad P_0 = 1.$$

На сформированной КМ информационной КД размещаются СЭ, число которых равно степени последовательности, лежащей в основе построения маски конкретной дорожки.

Корректность размещения СЭ на КД проверяется путем нахождения всех кодовых комбинаций, получаемых при изменении угла поворота ПРКШ на один квант младшей КД. Размещение СЭ корректно тогда и только тогда, когда все получаемые с ПРКШ кодовые комбинации уникальны. В противном случае необходимо синтезировать другую КМ.

При синтезе каждой КД должны выполняться следующие условия.

1. Линейные размеры одного кванта информационной КД должны быть больше либо равны минимально различаемым размерам кванта для выбранных СЭ.

2. Расстояния  $S$  на КД между СЭ не должны превышать определенной для используемого типа СЭ величины:

$$S = \sqrt{r_1^2 \sin^2(\alpha_1 - \alpha_2) + (r_0 - r_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_2))^2},$$

где  $r_0$  и  $r_1$  — расстояния между центром круговой КМ и центрами квантов, над которыми размещаются СЭ ( $r_0 > r_1$ );  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы между заданной нулевой позицией (край кванта, с которого начинается отсчет) и квантами, над которыми размещаются СЭ.

Расстояния между центром круговой КМ и центром любого кванта  $i$ -й информационной КД определяются из выражения

$$r_i = D_i + \frac{\Delta_i}{2}.$$

В случае формирования КМ на основе последовательности де Брейна угол между нулевой позицией и  $j$ -м квантом  $i$ -й КД определяется из соотношения

$$\alpha_j^i = \frac{180^\circ(2j+1)}{2^{n_i} P_i}.$$

Вследствие воздействия СЭ друг на друга, например выделяемым тепловым излучением, необходимо стремиться к максимальному увеличению расстояния между ними. Поэтому алгоритм перебора вариантов размещений СЭ в модуле ПРКШ должен начинаться с проверки таких случаев, когда СЭ распределены по шкале равномерно.

В работе представлена система автоматизированного проектирования ПРКШ, подробно рассмотрена объектная иерархия основного вычислительного модуля. На основе рассмотренного подхода реализована САПР ПРКШ на языке C++/Qt4. Подобную систему можно применять для проектирования преобразователей угловых перемещений, использующих различные виды ПРКШ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домрачев В. Г., Мейко Б. С. Цифровые преобразователи угла: принципы построения, теория точности, методы контроля. М.: Энергоатомиздат, 1984. 328 с.
2. Ожиганов А. А., Прибыткин П. А. Псевдорегулярные кодовые шкалы для цифровых преобразователей угла // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2011. Вып. 1. С. 67—72.

3. Ожиганов А. А., Захаров И. Д. Применение последовательностей де Брейна для построения псевдорегулярных кодовых шкал // Науч.-техн. вестн. НИУ ИТМО. 2012. Вып. 2(78). С. 69—74.
4. Азов А. К., Ожиганов А. А. Устранение неоднозначности считывания в преобразователях перемещения с рекурсивными кодовыми шкалами // Информационные системы. 2001. № 6. С. 39—42.
5. Ожиганов А. А., Захаров И. Д. Использование порождающих полиномов М-последовательностей при построении псевдослучайных кодовых шкал // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 6. С. 49—56.

**Сведения об авторах**

- 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
- Илья Дмитриевич Захаров** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: zakharov\_ilya@hotmail.com

Рекомендована кафедрой  
вычислительной техники

Поступила в редакцию  
08.02.12 г.