

УДК 004.93:519.71

СИНТЕЗ АВТОМАТОВ, ОПИСЫВАЮЩИХ ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИМИТИВЫ

Молчанова В.С., Козловский В.А.

Институт прикладной математики и механики НАН Украины

В работе рассмотрена задача построения автоматных моделей графических примитивов и их комбинаций. Предложено два подхода к синтезу генерирующего автомата. Первый исходит из произвольности множества слов W , по которым строится система уравнений, генерирующего автомата. Вторым подход основывается на структурных особенностях образа. Предложен алгоритм описания растровых изображений отрезков прямых, эллипса, а также их комбинаций в виде систем автоматных уравнений.

Введение

Проблема компактного описания растровых изображений по-прежнему является актуальной, и предлагаются различные методы ее решения. Их эффективность в значительной степени определяется типом изображений [1]. По-видимому, в общем случае нет эффективного перехода от растрового изображения к векторному описанию. В работе предлагается способ такого перехода для графических изображений, которые можно синтезировать относительно небольшого набора простых графических примитивов. Например, для чертежей в основном достаточно отрезков прямых и кривых второго порядка. Идея предлагаемого перехода опирается на автоматное представление графических примитивов системами уравнений, задающих генерирующий автомат. Для отрезков прямых такое описание было предложено в [2]. В данной работе излагается общая идея синтеза генерирующего автомата и построение автомата, описывающего эллипс.

Синтез генерирующего автомата

Исходная среда представляет собой растр-прямоугольную матрицу размерности $m \times n$, элементы которой равны 0 или 1, в зависимости от наличия или отсутствия фрагмента изображения, попадающего на элемент матрицы. В более общем случае каждому элементу может сопоставляться некоторое число, указывающее оттенки серого или цветность

Для описания образов используется алфавит Фримена (алфавит «розы ветров») $V = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$, где 0 кодирует движение вправо, 1- вправо вниз, 2- вниз и т.д. по часовой стрелке [3]. Слово в этом алфавите, кодирующее образ или его фрагмент, образуется в результате движения по растру специального автомата-сканера. В общем случае совокупность W таких слов и описывает некоторый образ $P(W)$, Множество W является заданием на синтез автомата, генерирующего данное множество, возможно из разных состояний. Возможны 2 подхода к синтезу такого автомата. Первый подход исходит из произвольности множества слов W , по которым строится система уравнений, генерирующего автомата. В этом случае необходимо наложить ограничение на систему уравнений, например, можно рассматривать автомат, реализуемый на сдвиговом регистре с линейной обратной связью. Учитывая мощность алфавита V , его элементы можно рассматривать как элементы поля Галуа $GF(8)$. Пусть W состоит из одного слова. Тогда для построения автомата с наименьшей линейной сложностью, т.е с наименьшей длиной регистра можно использовать алгоритм Берлекэмп-Мессис[4]. В более общем случае, когда линейная сложность велика, можно перейти к построению нелинейных уравнений, или к сдвиговым регистрам с нелинейной обратной связью. Если мощность W больше 1, то предварительно можно выделить общие суффиксы у слов, входящих в W , что позволит уменьшить сложность синтезируемого автомата.

Второй подход опирается на изучение структурных особенностей образа, которые отражены в синтаксисе W в этом случае уравнение получается меньшей сложности и эти

структурные особенности могут быть затем использованы и в задаче распознавания. Такой подход и описывается ниже на примере изображения эллипса.

Синтез автомата, генерирующего эллипс

Вначале рассмотрим построение эллипса, с осями параллельными осям координат.

В силу симметричности эллипса достаточно получить описание только первой его четверти, описания остальных четвертей могут быть получены при помощи несложных преобразований.

Поскольку рассматривается только первая четверть, то возможны следующие варианты движения по контуру окружности или эллипса: вправо, вправо вниз по диагонали и вниз. Для удобства эти направления 0, 1, 2 будем кодировать как 1,0,-1 соответственно.

Конечным автоматом называется шестерка $A=(S, X, Y, \delta, \lambda, s_0)$, где S - конечное множество состояний, X - конечное множество входных символов (входной алфавит), Y - конечное множество выходных символов (выходной алфавит), δ — функция, определяющая следующее состояние, $\lambda: S \times X \rightarrow Y$ - функция выходов, $s_0 \in S$ - начальное состояние. Будем считать автомат автономным, т.е не зависящим от значений на входе[2] и построим уравнение, описывающие функции переходов и выходов для эллипса с осями a и b .

Состояние автомата определяется парой $(s \in (0, a), g \in (0, b))$.

s - определяет положение автомата по оси абсцисс,

g - определяет положение автомата по оси ординат.

Причем $s(0)=0, g(0)=0$. На каждом такте хотя бы одно из состояний, должно увеличиться на 1.

Выходное значение y - определяет направление, по которому необходимо передвинутся автомату и может принимать одно из значений $\{-1,0,1\}$.

Тогда, уравнение автомата, описывающего первую четверть имеет следующий вид:

$$\begin{cases} s1(t) = s1(t-1) + \text{sign}(y(t-1)) \\ s2(t) = s2(t-1) + \text{sign}(-y(t-1)) \\ y(t) = \alpha^* + \beta^* \\ s1(0) = 0, s2(0) = 0 \\ y(0) = 1 \end{cases}$$

Для эллипса $y(t)$ определяем следующим образом.

Пусть

$$f(\alpha, \beta) = \left| a^2 b^2 - (s1(t) + \alpha)^2 - (s2(t) + \beta)^2 \right|$$

и

$$\text{arg min}(f(\alpha, \beta)) = (\alpha^*, \beta^*),$$

где минимум берется по всем α, β , таким, что $\alpha \in \{0, 1\}$, $\beta \in \{-1, 0\}$, $\alpha^2 + \beta^2 \neq 0$. Тогда $y(t) = \alpha^* + \beta^*$.

Поскольку изначально в качестве алфавита описания образов использовался алфавит «розы ветров» V , состоящий из символов $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$, в рассмотренном выше способе решения для кодировки образа используются символы $\{-1, 0, 1\}$ -алфавита V' , кодирующие направления соответствующие направлениям 2, 1, 0 из алфавита V .

Легко заметить, что $v + v' = 1$, где

v - символ из алфавита V ; v' - символ из алфавита V' .

Тогда $v = 1 - v'$.

После построения первой четверти получим слово $y1 = y1(1) y1(2) \dots y1(t) \dots y1(k)$, тогда для второй четверти соответствующее выходное слово получается следующей перекодировкой: $y2(t) = 8 - y1(t)$. Для третьей четверти выходное слово будет получено по следующей формуле: $y3(t) = (12 - y2(t)) \bmod 8$. А для четвертой- $y4(t) = (8 - y3(t)) \bmod 8$.

Выше предложен способ построения окружности или эллипса с толщиной контура 1 пиксел. Однако предложенный способ может быть применен для описания кривых с толщиной линии контура 2 и более пиксела. Окружность с толщиной линии контура m и радиусом r описывается как конкатенация слов $Y(r), Y(r-1), \dots, Y(r-m+1)$.

Эллипс с толщиной линии контура m и осями a и b описывается как конкатенация слов $Y(a, b), Y(a - 1, b - 1), \dots, Y(a - m + 1, b - m + 1)$.

Вышебыли рассмотрены ситуации, когда оскиривой совпадают с координатными осями, однако возможно построение эллипса и в случае если его оси не будут совпадать с координатными.

Алгоритм построения эллипса с осями, составляющими угол поворота γ с координатными осями состоит из следующих этапов:

Построение эллипса с указанными осями, параллельными осям координат. В результате будет получено слово, описывающее такой эллипс. Процесс получения такого слова описания подробно описан выше.

Дальнейшие рассуждения основаны на том, что эллипс представляется в виде множества последовательно соединенных линий, а для построения эллипса достаточно построить это множество линий.

Далее выполняется обработка полученного слова описания. Из него выделяются подслова типа $S_i = \{xxx\dots x\}$. X – символ из алфавита «Розы ветров», следовательно, может принимать одно из значений $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$. Исходя из значения X по формуле (*) определяется угол поворота линии.

Исходя из количества символов определяется длина линии. Затем пересчитывается ее длина после поворота по формуле (**)

Согласно уравнениям автомата, строящего линии, получаем описание текущего фрагмента.

При необходимости выполняется построение фрагмента.

Действия, описанные шагами 2-4 повторяются до тех пор, пока не будет достигнута стартовая точка.

Выводы

В работе предложен подход к векторному описанию растровых изображений на основе синтеза автоматов, генерирующих такие описания. Описаны 2 подхода к такому синтезу на основе автоматных описаний. Такое описание является основой для разработки анализа и синтеза изображений.

Литература

- [1] Абламейко С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение/ Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. – Минск: Амалфея, 2000. – 304 с.
- [2] Деглина Ю.Б. Автоматные алгоритмы синтеза образов / Деглина Ю.Б., Денисова В.С., Козловский В.А. // Искусственный интеллект, 2008 – №3 – С.290-295
- [3] Фурман Я.А. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов/ Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафизов Р.Г., Егошина И.Л., Леухин А.Н.; Под ред. Фурмана Я.А. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
- [4] Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки./ Р. Блейхут. - М.: Мир, 1986. – 576 с.