УДК 004.93:519.71

МОДЕЛИ ГРАФИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ И ИХ КОМПОЗИЦИЙ

Молчанова В.С.
Приазовский государственный технический университет, кафедра информатики
E-mail: vp24@yandex.ru

Аннотация

Молчанова В.С. Модели графических примитивов и их композиций. *Предложен подход к описанию графических примитивов и растровых изображений, формируемых из заданного набора таких примитивов. В его основе лежит синтаксическое описание примитивов и построение автоматов для их генерации или распознавания и графовая модель изображений, допускающая эквивалентные преобразования с целью упрощения модели.*

Общая постановка проблемы

Структурный анализ контуров изображений является одной из основных задач при обработке изображений с целью их интерпретации в системах искусственного интеллекта. В [4] рассмотрен способ представления контура объекта произвольной формы в виде последовательности отрезков прямых, которая в определенном смысле аппроксимируют исходный контур. Такой прием часто используется при решении задач математического анализа и в большом количестве практических приложений.

Однако существует целый класс задач, где представление контуров в виде последовательности отрезков прямых неприемлемо и в лучшем случае приводит к большому количеству дополнительных расчетов, например, при решении задачи распознавания объектов на технических чертежах, схемах печатных плат и т. д. Указанные изображения технического назначения обычно являются комбинациями графических примитивов из достаточно узкого набора, таких, например, как отрезки прямых, дуги окружности или эллипса, возможно, кривые Безье как приближение более сложных линий. При анализе и синтезе таких изображений возникают две взаимосвязанные задачи: описания и распознавания отдельных фрагментов изображения - примитивов, и описания всего изображения в целом как некоторой структуры из таких примитивов.

В работе описывается подход к решению задач описания примитивов и изображения в целом на основе графовых и автоматных моделей. Для упрощения далее рассматриваем такие графические примитивы, которые совпадают со своими контурами.

Автоматное описание графических примитивов

Основная идея автоматного подхода к описанию и распознаванию примитивов опирается на следующие соображения.

Исходное изображение понимается как бинарная прямоугольная матрица размером $m?n$, элементы которой называем ячейками или пикселами, окрашиваемыми на рисунке белым (значение элемента равно 0, фоновый элемент) или черным цветом (значение элемента равно 1, элемент принадлежит собственно изображению). В дальнейшем отождествляем эту матрицу с прямоугольным фрагментом плоскости, разбитым на квадраты (ячейки) со стороной, равной единице, и начало системы координат отнесено к верхней левой точке (соответствует традиционной системе координат, соотнесенной с экраном монитора), а осями абсцисс и ординат будем считать верхнюю и левую границы растра. По этой среде будет перемещаться мобильный агент – автомат, который в процессе перемещения формирует либо слово описания объекта фрагмента либо решает обратную задачу – формирует изображение по слову описания. Слово описания является заданием на синтез конечного автомата (в виде системы уравнений), который затем способен генерировать нужное слово для восстановления изображения или его фрагмента.

Рассмотрим один из возможных способов перемещения автомата и формирования слова описания. Начиная из начала координат, некоторый автомат-сканер A_1 движется в направлении слева направо сверху вниз, на каждом шаге перемещаясь на соседнюю ячейку. Движение автомата A_1 по РИ продолжается до тех пор, пока ему не встретится точка изображения, окрашенная черным цветом. Координаты (x, y) этой точки запоминаются и некоторый автомат A_2 начинает движение по внешнему контуру объекта. Под контурной линией объекта (контуром) будем понимать некоторую ломанную, образованную точками растра таким способом, что по крайней мере по одну из сторон каждого отрезка ломанной, расположены пиксели, окрашенные в белый цвет.

В результате движения автомата A_2 по контуру объекта формируется некоторое слово P в алфавите непроизводных символов F={0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}цепочечного кода Фримена [3].

При перемещении автомата A_2 из точки (x_i, y_i) в точку (x_{i+1}, y_{i+1}) контура к слову P добавляется один символ, значение которого определяется направлением, в котором было выполнено перемещение (рис. 1).

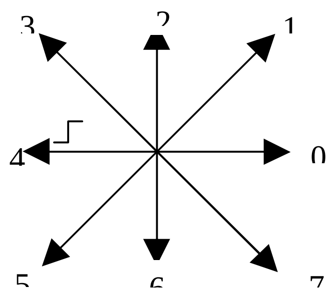


Рис. 1. Непроизводные элементы

Во избежание повторного движения автомата A_2 по уже зафиксированным точкам контура объекта каждая пройденная точка помечается. Автомат A_2 прекращает либо приостанавливает свое движение если:

1) Оказался в точке, не имеющей соседей, принадлежащих контуру;
2) Оказался в точке из которой начал движение по контуру;
3) Оказался в точке, движение из которой, может быть выполнено в нескольких альтернативных направлениях. Такая ситуация представляет особый интерес и будет более подробно рассмотрена ниже.

Под автоматом понимаем автономный инициальный автомат, задаваемый как четверка A=(S, Y, δ, s_0), где S, Y – множества состояний и выходов соответственно, δ – функция переходов, s_0 – начальное состояние[1]. Далее в качестве основного способа задания его функционирования рассматриваем автоматные уравнения с алфавитом Y= V . Показано [4], что автомат, выполняющий построение отрезка прямой с тангенсом угла наклона k описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} s(t) = [s(t-1) + m] \bmod n, \quad s(0) = 0 \\ y(t) = sign(m - s(t-1)), \quad t > 1 \\ y(1) = 1 \end{cases} \text{, где } k = m/n \qquad (1)$$

Автоматные системы уравнений были предложены для описания дуги эллипса [5]. Основная идея автоматного описания кривых второго порядка опирается на представление состояния автомата как пары (S_1, S_2) определяющей координаты соответствующей точки контура кривой на растровом изображении; а выходное значение автомата y – определяет соответствующий элемент из алфавита V.

$$\begin{cases} s_1(t) = s_1(t-1) + sign(y(t-1)) \\ s_2(t) = s_2(t-1) + sign(-y(t-1)) \\ y(t) = case(t,Y) \\ s_1(0) = 0 \\ s_2(0) = 0 \\ y(0) = 1 \end{cases} , \quad (2)$$

где $Y = \{-1, 0, 1\}$, $case(t,Y) = \alpha \Leftrightarrow \min\{ f(x,t-1) \mid x \in Y\} = f(\alpha, t-1)$, $f(x,t) = \mathrm{A}^2 - (s_1(t) + a)^2 + (B - s_2(t) - b)^2$, где $a = 0, b = 1$, если $x = -1$; $a = 1, b = 1$, если $x = 0$; $a = 1, b = 0$, если $x = 1$.

Описание второй, третьей и четвертой четвертей эллипса базируется на его симметричности относительно оси абсцисс и оси ординат и может быть получено путем проведения некоторых преобразований над каждым элементом слова, описывающего первую четверть.

Автоматные уравнения являются удобным средством генерации слов описания примитивов, по которым затем автомат-плоттер формирует растровое изображение примитивов. Помимо этого, сами слова описания, получаемые либо при движении автомата-сканера по растру, либо порождаемые автоматом-генератором, являются входными словами для автоматов-распознавателей, распознающих тип графического примитива.

Графовая модель композиции примитивов

Далее исходим из того, что РИ представляет собой композицию базовых примитивов. Точки, в которых происходит соединение двух или более базовых объектов, будем называть характеристическими. Примеры соединения объектов в характеристических точках показаны на рисунке 2.

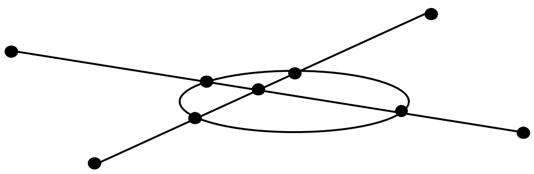


Рис. 2. Примеры соединения базовых объектов в характеристических точках

Выделение характеристических точек осуществляется по правилу: если точка $C(x, y)$ имеет не менее двух соседних точек с координатами $C_1(x_1, y_1)$ и $C_2(x_2, y_2)$, причем точки C_1 и C_2 не являются соседями (т.е $|x_2 - x_1| \geq 2$ или $|y_2 - y_1| \geq 2$), то точка C характеристическая.

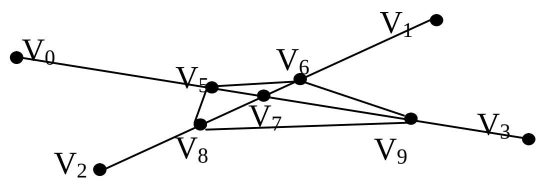
В результате обхода автоматом A_2 объекта на изображении будет получено некоторое конечное множество $V=\{v_1, v_2, \ldots, v_n\}$ характеристических точек и некоторое конечное множество $S=\{s_1, s_2, \ldots, s_m\}$ слов, описывающих фрагменты объекта в алфавите Фримена.

Моделью растрового изображения R называем пятерку $M_R = (V, E, \varphi, T, \mu)$, где тройка $G= (V, E, \varphi)$ – ориентированный граф [2], в котором множество вершин V есть множество характеристических точек изображения, функция φ: $E \rightarrow V$? V сопоставляет дуге e пару (v_i, v_j) характеристических точек, если автомат-сканер перемещался от точки v_i к точке v_j по некоторому примитиву t_k, T – множество примитивов (точнее, их имен), а функция μ: $E \rightarrow T$

сопоставляет дугам графа отметки - пройденные примитивы, т.е. в данном случае $\mu(e)=t_k$. Модель определена с точностью до ориентации дуг. Если ориентация дуги меняется на противоположную, в соответствующем ей примитиве-отметке могут быть изменены по определенному правилу параметры.

Полученной модели сопоставляется некоторое множество путей в нагруженном графе. Путь понимается обычным образом как последовательность вершин графа и отметок соответствующих дуг и может быть определенным образом сокращен с помощью вводимых эквивалентных преобразований. Несколько упрощая, в качестве примера такого преобразования можно привести следующее правило.

Пусть некоторый путь имеет подпуть вида $v_i\ T_k\ v_j\ T_m\ v_l$, где v_i, v_j, v_l – вершины, а T_k, T_m примитивы. Если $T_k = T_m = T$, то этот подпуть может быть заменен на подпуть $v_i\ T\ v_l$. Пример исходного и минимизированного графа для РИ , приведенного на рисунке 2, без учета нагруженности показан на рисунке 3 (а,б).



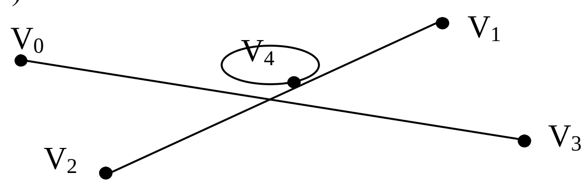


Рис. 3. А) Графовая модель растрового изображения, показанного на рис. 2 до минимизации. Б) Графовая модель растрового изображения, показанного на рис. 2 после минимизации.

Дополнительное упорядочение дуг графа по типам примитивов и их параметрам позволяет упростить такие преобразования и уменьшить совокупную длину указанных путей и, таким образом, упростить и первичную модель изображения. Эквивалентность преобразований гарантирует однозначность восстановления исходного изображения по преобразованной модели.

Выводы

Предложенная модель позволяет получить компактное векторное представление некоторых классов растровых изображений и, в совокупности с автоматным представлением примитивов, минимизировать вычислительные затраты при синтезе образов. Кроме того, заметим, что структура графовой модели не меняется при афинных преобразованиях, а ее параметры при этом легко модифицируются.

Литература

1. Кудрявцев В. Б., Алешин С. В., Подколзин А. С. Введение в теорию автоматов – М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит., 1985. – 320 с.

2. Н. Кристофидес. Теория графов. Алгоритмический подход – М.: Мир, 1978. – 427 с.

3. Фурман Я.А.. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов/ Я.А.Фурман, А.В Кревецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л Егошина, А.Н. Леухин; Под ред. Я.А. Фурмана. — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 592 с.

4. Ю.Б.Деглина, В.С. Денисова, В.А.Козловский. Автоматные алгоритмы синтеза образов// Искусственный интеллект, 2008 - №3 – с.290-295

5. Козловский В.А. Построение автоматных моделей простейших графических примитивов / В.А. Козловский, В.С. Молчанова// Искусственный интеллект, 2010- №4. – С. 375-380.