

УДК004.93:519.71

В.С. Молчанова, И.С. ГрунскийПриазовский государственный технический университет, г. Мариуполь
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО УТОНЧЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ БИНАРНОГО РАСТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АГЕНТОВ****Аннотация**

В. С. Молчанова, И.С. Грунский. Решение задачи топологического утончения объектов бинарного растра с использованием специализированных агентов. Описан алгоритм топологического утончения объектов на бинарном растровом изображении. Отдельное внимание уделяется проблеме сохранения топологии исходного объекта. Проведен ряд экспериментальных проверок, которые показали эффективность алгоритма при решении задачи скелетизации на определенных классах изображений.

Ключевые слова: скелет, пиксел, связность, топология объекта, шаблон, окрестность, растр, бинарное изображение, граница.

Постановка проблемы. Большинство задач обработки и распознавания растровых изображений (например, изображения технических чертежей, аэрокосмических снимков, карт местности и т.д) требуют для своего решения толщину контуров исходных объектов, равную 1 пикселу. Однако зачастую растровые изображения содержат объекты с контурами произвольной толщины. Проблема несоответствия реальной толщины контуров объектов и требуемой решается путем скелетизации исходных объектов. Особенность скелетов состоит в том, что они полностью сохраняют информацию о топологической структуре объекта.

Анализ литературы. В литературе предлагается множество готовых методов скелетизации (метод Блюма, метод Зонга-Суня, метод Ву-Цай и др.). Все эти методы опираются на два принципиально отличающихся друг от друга подхода. Первый подход основывается на применении дистанционных карт [1]. Основными недостатками такого подхода являются нарушения топологии исходного объекта и высокая чувствительность к шуму на изображении.

Второй подход опирается на идею топологического утончения объекта [2]. Эти алгоритмы, для определения возможности удаления каждого пиксела, принадлежащего объекту на изображении, используют шаблоны локальных окрестностей. Недостатком алгоритмов, основанных на таком подходе, являются большие затраты машинного времени, необходимые на их

выполнение. Однако такой подход позволять лучше сохранить информацию о структуре исходного объекта, что особо важно при распознавании технических чертежей.

Цель статьи – разработка математического аппарата решения задачи скелетизации бинарных растровых изображений и на его основе построение эффективного метода скелетизации.

Постановка задачи исследования. Среди алгоритмов топологического уточнения объектов наибольший интерес вызывает алгоритм Ву-Цаи. В [3] предлагается множество шаблонов для определения возможности удаления каждой граничной точки объекта в зависимости от ее локальной окрестности. Однако полученный таким образом скелет в некоторых ситуациях не соответствует топологии исходного объекта, что связано с некорректной обработкой углов объекта и нарушениями его связности при скелетизации. Ставится задача устранения этих недостатков за счет введения дополнительных условий, наложенных на пиксела объекты.

Решение задач и результаты исследований. Пусть на некотором растровом бинарном полотне R размерностью $w \times h$ изображен объект I с контуром произвольной толщины. Будем полагать, что точки, принадлежащие объекту, окрашены в черный цвет и соответствующее значение функции яркости P имеет значение 1, для остальных точек функция яркости имеет значение 0.

Решение задачи скелетизации объекта I предлагается выполнить в 4 этапа:

- 1) Определение граничных точек объекта;
- 2) Определение возможности удаления граничной точки;
- 3) Проверка сохранности топологической структуры объекта в случае удаления точки;
- 4) Проверка сохранения связности объекта в случае удаления точки.

Описание реализации каждого этапа целесообразно выполнить по отдельности.

I этап. Точка $A(x, y)$ является граничной, если по крайней мере для одной из точек окрестности $(x + \delta_1, y + \delta_2)$, где $\delta_1, \delta_2 \in \{-1; 0; 1\}$, $\delta_1 = 0$ xor $\delta_2 = 0$ функция яркости P имеет значение 0, а для самой точки - 1.

Пусть по полю R , начиная с верхней левой точки, перемещается некоторый агент A_1 . Движение агента осуществляется в направлении слева-направо снизу-вверх, до тех пор, пока не будет достигнута граничная точка объекта либо нижний правый угол поля. Каждое перемещение агента на растре фиксируется путем увеличения значения счетчика i на единицу. Тогда координаты точки, в которой находится агент на i -й итерации, могут быть определены как $(i \bmod w, [i/w])$.

Построено математическое описание агента A_1 в виде следующей системы уравнений.

$$\begin{cases} i = i + 1, i_0 = 1, \\ S(i) = (P(i \bmod w, [i/w]) = 1) \text{ and } (d(i \bmod w, [i/w]) = 1) \end{cases}$$

где i -значение счетчика, определяющего номер итерации;

$S(i)$ - некоторая булева функция, определяющая является ли точка, в которой находится агент, граничной. Для граничных точек $S(i)=1$, во всех остальных случаях- $S(i)=0$.

Функция $S(i)$ определяет дальнейшее поведение алгоритма. В случае $S(i)=1$ точка растра, в которой находится агент, считается граничной и производится проверка на возможность ее удаления, в противном случае-агент перемещается в следующую точку растра.

II этап. Определение возможности удаления граничной точки объекта сводится к проверке ее окрестности на соответствие некоторым шаблонам. Эти шаблоны подробно описаны в [3]. Определение граничных точек может быть осуществлено с использованием агента A_2 , описываемого следующего системой уравнений.

$$\begin{cases} i = i + 1, i_0 = 1, \\ Y(i) = i * (1 - Z(i)), Y_0 = 0 \\ Z(i) = \sum_{j=0}^{j=9, Z>0} (W(i, j) - C(j))^2 \\ S(i) = RoundUp(Y(i)/(M + 1)) \end{cases}$$

Где i - номер шаблона, с которым производится сравнение окрестности точки на растре, на текущей итерации.

$Y(i)$ - некоторая выходная функция, определяющая номер шаблона, которому соответствуют окрестность текущей точки на растре. Если окрестность текущей точки на растре не соответствует ни одному из шаблонов, то $Y(i)$ принимается равным 0.

$Z(i)$ - вспомогательная функция, определяющая наличие отклонения окрестности точки от текущего шаблона.

M - постоянная определяющая общее количество шаблонов в рассматриваемом множестве. Для множества шаблонов Ву-Цаи $M=15$.

$S(i)$ - некоторая булева функция, определяющая дальнейшие действия агента. При $S(i)=1$ производится дальнейшая проверка возможности удаления точки без нарушения топологии объекта, при $S(i)=0$ – т.к окрестность выбранной точки не соответствует ни одному из шаблонов, ее удалить нельзя, поэтому управление передается агенту A_1 с целью определения следующих граничных точек. Движение агента A_1 продолжается с той точки растра, в которой он остановился.

III этап. Нарушение топологической структуры объекта при его утончении обычно происходит в области вогнутых угловых пикселей.

Вогнутым угловым пикселом называется черный пиксел, такой, что только один из 8-смежных ему пикселов- белый. Примеры всевозможного расположения вогнутых угловых пикселов представлены на рисунке 1.

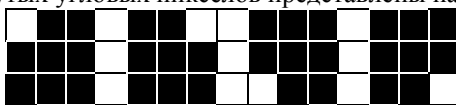


Рисунок 1 – Примеры вогнутых углов

Представим окрестность точки A (точка, отмеченная на рисунке 1 знаком «х») и саму точку A , в виде булевой матрицы C размерностью 3×3 . Закрашенным точкам растра соответствует $C_{ij}=1$, не закрашенным- $C_{ij}=0$.

Пиксел объекта является вогнутым угловым, если выполняется условие:

$$\sum_{j=0}^{j < 3} \sum_{i=0}^{i < 3} C_{ij} = 8, \text{ причем если } C_{ij}=0, \text{ то } |i-j|=2.$$

Результатом III этапа работы алгоритма является вывод, является ли выбранный пиксел вогнутым угловым. В случае положительного ответа пиксел удалить нельзя, поэтому управление передается агенту A_1 с целью определения следующих граничных точек. Движение агента A_1 продолжается с той точки растра, в которой он остановился.

IV этап. Проверка сохранения связности объекта в случае удаления точки выполняется путем проверки окрестности точки на соответствие 4 дополнительным шаблонам. Один из этих шаблонов показан на рисунке 2, три остальных могут быть получены путем вращения данного шаблона на 90, 180 и 270 градусов.

	0	1	2	3
0	x	1	x	1
1	1	x	1	1
2	x	1	x	1
3	1	1	1	0

Рисунок 2 – Шаблон для удаления вогнутых углов

Математическое представление задачи сравнения окрестности точки с некоторыми шаблонами представлено при описании II этапа решения задачи.

Результатом выполнения данного этапа является вывод о возможности удаления пиксела без нарушения связности объекта на растре. Это возможно при соответствии окрестности пиксела одному из приведенных выше шаблонов.

Каждая операция удаления пиксела фиксируется. Если при проходе агента A_1 от начала до конца растрового поля был удален хоть 1 пиксел, то по окончанию прохода поля, агент возвращается в его начало и вновь проходит его от начала до конца. Этапы I-IV

Полученный метод прост в реализации и дает хорошие результаты на определённых типах бинарных изображений, так на изображениях технических чертежей данный метод дал лучшие результаты, чем метод

Предложенная идея скелетизации бинарных растровых изображений может быть использована как одна из составляющих решения более сложных задач обработки растровых изображений. Эта идея основана на представлении агента автоматными уравнениями и является распространением идеологии из работ [4,5], где было получено описание геометрических примитивов автоматными уравнениями и описание автоматов, определяющих класс геометрического примитива по их представлению в коде Фримена, на задачу скелетизации

Дальнейшее развитие метода целесообразно проводить в направлении сохранения информации об исходной толщине скелетизированных изображений на растре.

Выводы.

В работе предложен новый метод скелетизации бинарных растровых изображений, ориентированный на скелетизацию технических чертежей. Для изображений типа «чертеж», данный алгоритм показывает лучшие результаты по сравнению с алгоритмом Ву-Цаи и Зонгп-Суня. Основной новизной метода является использование автоматных уравнений для описания агента, анализирующего растровое изображение.

Список литературы

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005.- 1072 с.
2. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений. Фигуры. Скелеты. Циркуляры / Л. М. Местецкий. — М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2009.-287с.
3. Wu R.-Y. A new one-pass parallel thinning algorithm for binary images/ Wu R.-Y., Tsai W.-H.// Pattern Recognition Letters, 1992 - №10, Vol. 13- p. 715-723.
4. Деглина Ю.Б. Автоматные алгоритмы синтеза образов/ Ю.Б.Деглина, В.С. Денисова, В.А.Козловский. // 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. 221-228