

УДК 004.932.2

Мохаммед Заки Хассан М.Н.

## МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА СКЕЛЕТИЗАЦИИ ЗОНГА-СУНЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ

*Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия*

*Задача распознавания формы объектов, которые могут быть представлены в виде изображений, рассматривается во многих приложениях. Для векторизации изображений требуется применять алгоритмы утончения, результатом их работы является сокращение числа пикселей, которые нужно обработать, при том, что сохраняется информация о форме и топологии анализируемого изображения. В данной статье анализируются алгоритмы скелетизации - преобразования изображений символов в тонкие линии, которые оперируют или векторами границы, или пикселями. Отмечается, что все они строят линии толщиной не в один пиксель, хотя при этом даже может быть достигнут выигрыш в скорости вычислений. Это приводит к тому, что при построении графа скелета будут появляться лишние узлы. В большинстве методов утончения сохраняется связность. Автором предложен алгоритм, улучшающий алгоритм Зонга-Суня, который при построении графа изображения не приводит к тому, что появляются лишние точки ветвления. В отличие от предложенного алгоритма, шаблонный метод и алгоритм Зонга-Суня не дают линию толщиной в один пиксель.*

**Ключевые слова:** скелетизация, распознавание рукописных символов, алгоритм Зонга-Суня, шаблонный метод.

**Введение.** Задача, связанная с распознаванием формы объектов, которые представляются как изображения, может возникать во многих приложениях, например, когда идентифицируется личность, распознаются позы и жесты человека, применяются системы распознавания символов и др. Достаточно удачной моделью формы можно считать описание на базе скелетного графа [1]. Новиков Ю.Л. в работе [2] анализирует 7 групп алгоритмов скелетизации. Все они обладают теми или иными недостатками.

Практически каждое изображение символа или линии имеет линии с толщиной более, чем один пиксель. Для того, чтобы работали алгоритмы векторизации и выделялись особые точки на изображении символов, требуется, чтобы линии были толщиной в один пиксель.

Поэтому перед тем, как будет работать основная часть алгоритма распознавания символов требуется осуществить предварительную обработку изображений – скелетизацию – при этом линии преобразуются к линиям, которые будут иметь толщину в один пиксель [3]. Как результат работы алгоритмов утончения будет происходить сокращение количества пикселей, необходимых для обработки, при том, что сохраняется информация о форме и топологии.

**Анализ особенностей алгоритмов скелетизации.** Известно достаточно много алгоритмов скелетизации [4]. Среди них:

- шаблонная скелетизация, использующая два набора шаблонов;
- волновой метод;
- алгоритм Зонга-Суня;
- алгоритм Щепина.

Можно дать несколько определений скелета:

- скелет области – это связное множество пикселей, обладающее минимальной мощностью, однако при этом сохраняется топологическая структура в исходном растровом изображении;
- определение скелета через дистантное преобразование;
- скелет – пересечение волновых фронтов, распространяющихся от противоположных границ области;
- скелет – центры максимально больших окружностей, помещённых внутрь области.

Алгоритмы скелетизации оперируют или векторами границы, или пикселями (итеративное утончение).

Алгоритмы, оперирующие векторами, как правило, содержат следующие шаги:

1. Процесс обнаружения границ между областями, имеющие разные цвета. Как результат такого шага будет формирование массива ломаных, которые проходят по границам пикселей. Пересечение звеньев ломаных осуществляется под углом 90 градусов.

2. Для полученных ломаных используют операцию генерализации, которая удаляет лишние точки и сглаживает излишне острые углы.

3. Процесс распространения волнового фронта и формирование скелета.

Самый трудоёмкий шаг – это определение границ, сложность при этом будет пропорциональной числу пикселей в растре.

Алгоритмы итеративного утончения состоят в постепенном удалении внешнего слоя пикселей до тех пор, пока не будут оставаться лишь пиксели, которые принадлежат скелету.

Алгоритмы этого типа сканируют изображение окном 3 на 3 пикселя (рис. 1) и применяют набор правил, которые, возможно, будут помечать центральный пиксель [5]. После того, как окончился один проход, идет удаление всех помеченных пикселей.

Итерации завершаются, если после того, как проведен очередной проход не удален ни один пиксель. Утончение может производиться при помощи описанного ниже набора правил [3].

Точка  $P_0$  помечается на удаление, если будут выполняться каждые из следующих условий:

- $P_0$  должен лежать на границе цветов.

- $P_0$  должен содержать не меньше, чем два чёрных 8-соседа, другими словами, он не должен быть концевой точкой.
- $P_0$  не должен быть точкой разрыва (при удалении произойдет разъединение двух частей линии).

3	2	1
4	0	8
5	6	7

Рисунок 1 – Пиксель  $P_0$  и его 8-ми связная область

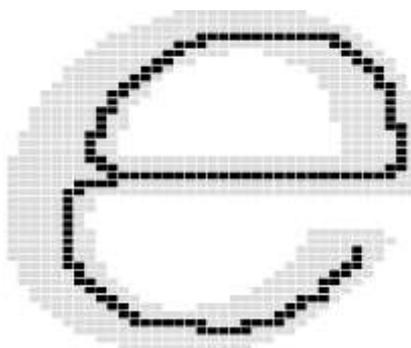


Рисунок 2 – Результаты работы алгоритма итеративного утончения

Мощность алгоритмов итеративного утончения – это порядка  $O(w \times N)$ , где  $w$  – является шириной линии и  $N$  – общее количество пикселей на растре. Для алгоритмов утончения свойственны искажения вблизи разветвлений.

Определение скелета через дистантное преобразование [3]. Дистантное преобразование бинарного растра определяют в виде замены каждого из пикселей числом, которое равно расстоянию до ближайшего пикселя, имеющего белый цвет. Между двумя пикселями расчет расстояний может осуществляться на основе разных подходов [2]:

- число звеньев в кратчайшей 4-связной цепи, которая соединяет пиксели;
- число звеньев в кратчайшей 8-связной цепи, которая соединяет пиксели.

Длина 8-связной цепи, для которой идет приписывание переходам по диагонали большего веса, чем для переходов по вертикали и горизонтали.

Точка  $P_0$  помечается на удаление, если будут выполняться каждые из следующих условий:

- $P_0$  должен лежать на границе цветов.

- $P_0$  должен содержать не меньше, чем два чёрных 8-соседа, другими словами, он не должен быть концевой точкой.
- $P_0$  не должен быть точкой разрыва (при удалении произойдет разъединение двух частей линии).

3	2	3	4	3	4
2		2	3		3
3	2	3	4	3	4

Рисунок 3 – Champer-расстояние

Для вычисления расстояния между точками может использоваться одна из двух метрик:

- L1 метрика  $r = |x_a - x_b| + |y_a - y_b|$ .
- L2 метрика Евклида  $r = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$ .

Дистантное преобразование для всех пикселей вычисляется за время, пропорциональное количеству пикселей. Множество пикселей, в которых достигается локальный максимум, является скелетом.

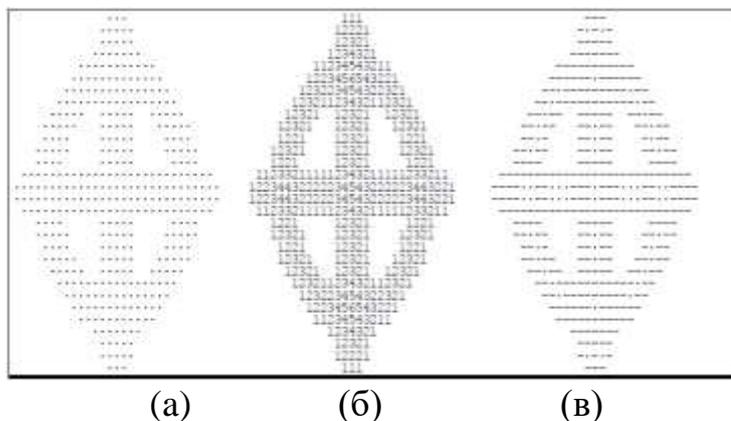


Рисунок 4 – (а) - исходный растр, (б) – иллюстрация дистантного преобразования растра, (в) – скелет, который получен на основе дистантного преобразования.

Как можно увидеть из рисунка, основной проблемой такого алгоритма является то, что скелет может не быть связным множеством пикселей. Но при этом такой метод будет работать быстрее, чем итеративное уточнение.

Можно применять дистантное преобразование для того, чтобы оценивать толщину линии. Локальные максимумы находятся рядом с серединой линии. Однако, скелет, который построен на основе такого определения, не будет содержать достаточной информации, чтобы проводить построение векторной модели.

Полученные результаты обычно требуют последующей обработки. Например, на основе пикселей скелета можно проводить построение ломаных и осуществлять их генерализацию. В большинстве методов утончения идет сохранение связности.

**Шаблонная скелетизация.** Шаблонный метод использует первый набор шаблонов, поскольку в отличие от использования второй совокупности шаблонов, в нем требуется реализация лишь одного обхода изображения.

Но, для того, чтобы снизить уровень неточностей, применяется часть шаблонов из второй совокупности.

Есть соответствие шаблонов матрице  $3 \times 3$ , в которой центральный элемент - это текущий пиксель в обходе изображения.

Основная часть строится на базе восьми первых шаблонов. Четыре шаблона внизу необходимы для того, чтобы устранять «шум», при этом такие четыре шаблона мы можем повернуть на 90, 180 и 270 градусов, и их ищем при помощи второго обхода изображения.

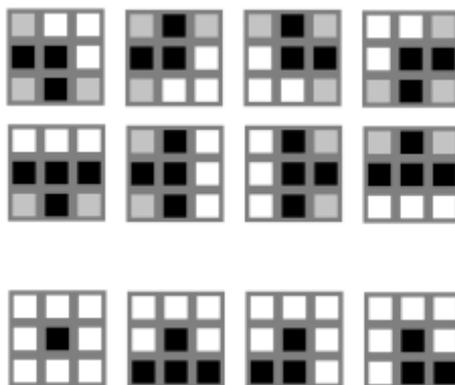


Рисунок 5 – Шаблоны алгоритма. Серым цветом показаны пиксели, цвет которых не имеет значения

Если 8-связная область соответствует одному из шаблонов, то идет окрашивание центрального пикселя в белый цвет. Обход продолжается до тех пор, пока перекрашиваются пиксели.

**Алгоритм Зонга-Суня.** Скелетизация Зонга-Суня относится к классу параллельных алгоритмов. В связи с тем, что для того, чтобы работа алгоритма была корректной, обработанные данные (информация об удаленных пикселях) должны быть занесены в отдельный массив, он будет предохранять от того, чтобы была возможность рекурсивного удаления пикселей.

Использование этого алгоритма для задач, связанных с обработкой конструкторской документации, продемонстрировало, что большая доля времени относится к обработке белых пикселей, а скелет, который

получается в результате обработки, не всегда характеризуется единичной толщиной.

Изображение при проведении анализа сканируется и для каждого черного пикселя изображения проводится анализ его 8-ми связной области. Будем представлять такую область в виде набора бинарных переменных  $P_i$ , здесь  $P_i = 0$  тогда, когда соответствующий пиксель имеет белый цвет и  $P_i = 1$  в случае, когда соответствующий пиксель имеет черный цвет (рис. 1).

Алгоритм Зонга-Суня состоит в том, что реализуются два прохода по всем пикселям в изображении.

Проход 1. Пиксель будет удален из изображения, если будут выполняться такие условия:

$$1) \quad 2 \leq V(P_0) \leq 6, \text{ где } V(P_0) = \sum_{i=1}^8 P_i$$

2)  $A(P_0) = 1$ , где  $A(P_0)$  – количество конфигураций 01 для последовательности  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$ , при замыкании такой цепочки на  $P_1$ , т.е. вокруг этого пикселя есть лишь один переход от 0 к 1.

$$3) \quad P_2 \times P_4 \times P_6 = 0.$$

$$4) \quad P_4 \times P_6 \times P_8 = 0.$$

Проход 2. Выполняется аналогично проходу 1, только на шагах 3 и 4 производится проверка следующих условий:

$$1) \quad P_2 \times P_4 \times P_8 = 0.$$

$$2) \quad P_2 \times P_6 \times P_8 = 0.$$

В результате, на этапе 1 происходит процесс удаления точек для юго-восточной границы и северо-западных угловых точек. Проход 2 будет удалять точки для северо-западной границы, и еще юго-восточные угловые точки.

Когда анализировалась работа алгоритма, было установлено, что для некоторых случаев точка не будет удовлетворять условиям этапов 1 и 2, но ее необходимо удалить.

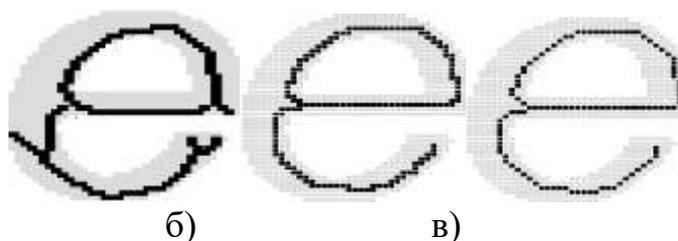


Рисунок 6 – Результаты скелетизации: а) шаблонным методом; б) алгоритмом Зонга-Суня; в) модифицированным алгоритмом Зонга-Суня.

Для того, чтобы ликвидировать такие недочеты для основного алгоритма Зонга-Суня с целью его модификации были внесены изменения, такие как дополнительные проверки при удалении пикселя:

- 1)  $!P_8 \times P_3 \times P_6 = 1,$
- 2)  $!P_4 \times P_7 \times P_1 = 1,$
- 3)  $!P_2 \times P_5 \times P_7 = 1,$
- 4)  $!P_6 \times P_1 \times P_3 = 1,$

где  $!P_8$ - отрицание  $P_8$  [1].

Из рис. 6 видно, что и шаблонный метод, и алгоритм Зонга-Суня не дают линию толщиной в один пиксель (рис. 7).

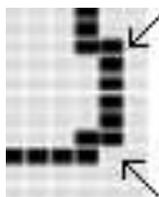


Рисунок 7 – Точки с тремя соседями

На линии есть точки, у которых не две соседние точки, а три и больше. А это в дальнейшем при построении графа изображения приведет к появлению лишних точек ветвления. Предложенный нами модифицированный алгоритм Зонга-Суня этим недостатком не обладает.

**Выводы.** В работе проведен анализ алгоритмов скелетизации, которые могут использоваться как один из этапов в ходе распознавания изображений. Такие алгоритмы могут быть векторными или итеративными. Проведен анализ возможностей скелетизации на основе шаблонного метода и алгоритма Зонга-Суня, показано, что они не дают утонение в один пиксель. Автором предложена модификация алгоритма Зонга-Суня, позволяющая получить утонение в один пиксель и не ведущая к появлению лишних точек ветвления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая морфология. Фильтрация [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://graphics.cs.msu.su/courses/cg02b/lectures/lecture4/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Lyu Wenyin From Raster to Vectors: Extracting Visual Information from Line Drawings / Lyu Wenyin, DovDori // [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://research.microsoft.com/research/pubs/view.aspx?pubid=924>, свободный.
3. Новиков Ю.Л. Исследование методов векторизации растровых изображений и их реализация в геоинформационной системе / Ю.Л.Новиков // Томск: Томск. гос. ун-т. Факультет информатики, 1999.- 177 с.

4. Бухштабер В. М. Автоматизированная система анализа плоских точечных изображений методом скелетизации как инструмент решения задач прикладной статистики / В. М.Бухштабер, В. М.Кляцкин, В. В.Моттль, Е.В.Щепин // Программные продукты и системы, 3 (1991), с. 52–62
5. Кушнир О.А. Сравнение формы бинарных растровых изображений на основе скелетизации / О.А.Кушнир // Машинное обучение и анализ данных, 2012. Т. 1, № 3. с. 252-263.

Mohammed Zaki Hassan M.N.

### **MODIFICATION OF THE ALGORITHM OF THE CARCASS OF ZONG-SUN FOR THE PROBLEM OF HANDWRITING RECOGNITION**

*Voronezh State University, Voronezh, Russia*

*The problem of recognizing the shape of objects that can be represented as images is considered in many applications. To implement vectorization algorithms, refinement algorithms must be applied, the result of their work is a reduction in the number of pixels that need to be processed, while information about the shape and topology of the analyzed image is stored. This paper analyzes the algorithms of skeletization-converting images of symbols into thin lines, which operate either by boundary vectors or pixels. It is noted that they all build lines with a thickness of more than one pixel, although it can even achieve a gain in the speed of calculations. This leads to the fact that the construction of the graph skeleton will appear unnecessary nodes. In most methods of thinning preserves the connectivity. The author proposes an algorithm that improves The Zong-Sun algorithm, which in the construction of the image graph does not lead to the fact that there are extra branching points. Unlike the proposed algorithm, the template method and the Zong-Sun algorithm do not give a line with a thickness of one pixel.*

**Keywords:** skeletization, character recognition, the Zong-Sun algorithm, the template method.

### **REFERENCES**

1. Matematicheskaya morfologiya. Fil'tratsiya [Elektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://graphics.cs.msu.su/courses/cg02b/lectures/lection4/>, svobodnyy. – Zagl. s ekrana.
2. Lyu Wenyin From Raster to Vectors: Extracting Visual Information from Line Drawings / Lyu Wenyin, DovDori // [Elektronnyy resurs]: – Rezhim dostupa: <http://research.microsoft.com/research/pubs/view.aspx?pubid=924>, svobodnyy.

3. Novikov Yu.L. Issledovanie metodov vektorizatsii rastroykh izobrazheniy i ikh realizatsiya v geoinformatsionnoy sisteme / Yu.L. Novikov // Tomsk: Tomsk. gos. un-t. Fakul'tet informatiki, 1999.-177 p.
4. Bukhshtaber V. M. Avtomatizirovannaya sistema analiza ploskikh tochechnykh izobrazheniy metodom skeletizatsii kak instrument resheniya zadach prikladnoy statistiki / V. M. Bukhshtaber, V. M.Klyatskin, V. V.Mottl', E.V.Shchepin // Programmnye produkty i sistemy, 3 (1991), pp. 52–62
5. Kushnir O.A. Sravnenie formy binarnykh rastroykh izobrazheniy na osnove skeletizatsii / O.A.Kushnir // Mashinnoe obuchenie i analiz dannykh, 2012. Vol. 1, No. 3. pp. 252-263.