

УДК 004.932

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СКЕЛЕТИЗАЦИИ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

К. т. н. В. А. Болтенков, Д. В. Малявин, Нгуен Гуи Кионг

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
vaboltentkov@mail.ru

*Исследовано быстродействие и качество работы эффективных алгоритмов скелетизации бинарных изображений. Проанализирован ряд алгоритмов построения скелета. Оценено качество скелетизации и быстродействие алгоритмов. Показано, что алгоритм Стентифорда обеспечивает высокое быстродействие и достаточное качество скелета.*

*Ключевые слова:* бинарные изображения, скелетизация, быстродействие, OpenCV.

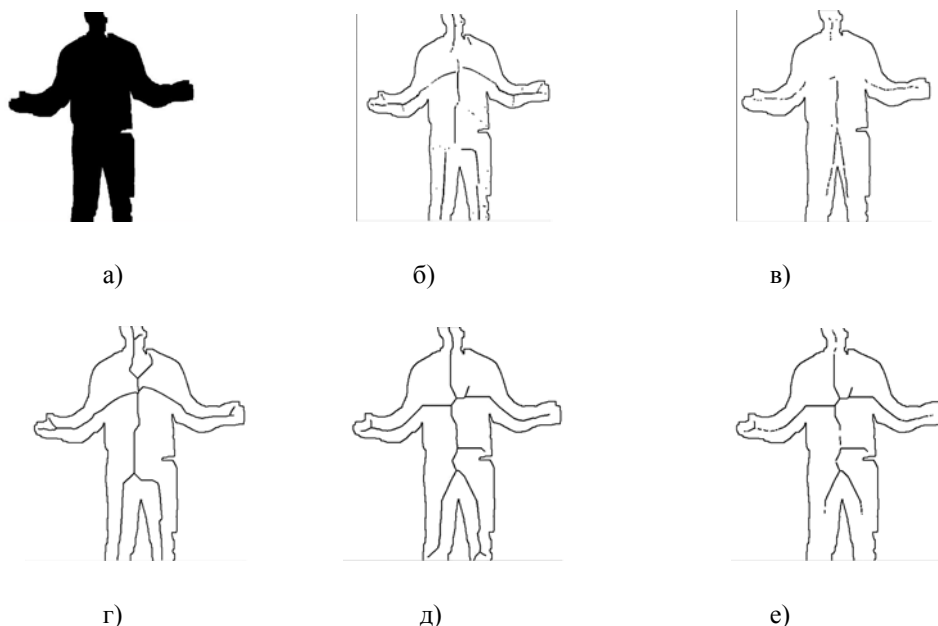
В последние годы интенсивно развивается интеллектуальная обработка изображений с помощью их скелетов. Под скелетом фигуры на изображении понимается множество пикселей, равноудаленных от границ (контуров) фигуры. Скелеты изображений применяются при распознавании символов, в цифровой дактилоскопии, для экономного хранения признаков описаний изображения. В этом плане достаточно актуальна задача выбора эффективной процедуры скелетизации (построения скелета). Под эффективностью в данном случае будем понимать как быстродействие процедуры скелетизации, так и качество полученного скелета.

Целью исследования стало экспериментальное сравнение различных алгоритмов скелетизации. Исследование проводилось для выбора эффективного алгоритма, пригодного для применения в системах медицинской реабилитации больных с поражением опорно-двигательного аппарата [1]. Для таких систем с точки зрения работоспособности в масштабе реального времени достаточно критичным параметром является быстродействие процедуры скелетизации. При этом полученный скелет должен обладать необходимым качеством для дальнейшей обработки.

В результате предварительного анализа были отобраны для дальнейшего исследования пять следующих алгоритмов скелетизации.

1. Алгоритм морфологической скелетизации Серра, основанный на последовательном применении морфологических операций эрозии и дилатации [2].
2. Алгоритм Розенфельда или волновой алгоритм, основанный на имитации «пожара травы в прерии» путем последовательного перекрашивания граничных точек объекта [3].
3. Алгоритм Жанга-Суена, который является параллельным алгоритмом с применением скользящей утончающей маски размером 3×3 пиксела и осуществляется в две последовательные итерации [4].
4. Параллельный алгоритм Гуо–Холла, также состоящий из двух итераций [5].
5. Алгоритм Стентифорда, относящийся к итерационным алгоритмам с последовательным применением четырех утончающих шаблонов размером 3×3 пиксела [6].

Для исследований была разработана программа на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV, в которой были реализованы указанные алгоритмы скелетизации. В качестве исходного изображения для обработки были использованы кадры из видеопотока изображения движений человека размером 640×480 пикселей, полученные с помощью веб-камеры. Скелетизация изображений с помощью программы проводилась на компьютере с такими характеристиками: операционная система — Ubuntu 12.04, процессор Intel(R) Core(TM)2 CPU 4400 @2.00GHz, ОЗУ — 2 Гб, видеокарта — ATI Radeon HD 2600 XT. Пример результатов работы программы приведен на рисунке.



Обрабатываемое изображение (а) и его скелетизация по различным алгоритмам: морфологическому (б), по алгоритму Розенфельда (в), Жанга-Суена (г), Гуо-Холла (д) и Стентифорда (е)

Временные затраты составили соответственно: б) 124 мс, в) 232 мс, г) 1080 мс, д) 1493 мс, е) 526 мс. В других экспериментах временные затраты были пропорциональны приведенным.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы. Быстродействующие алгоритмы (б, в) имеют определенные дефекты скелетизации, выражающиеся в разрывах связности скелета и появлении ложных его ветвей. Алгоритмы высокого качества (г, д) требуют существенно больших затрат счетного времени. Для применения в системах обработки реального времени в качестве компромиссного, т. е. сочетающего достаточное качество с быстродействием, может быть рекомендован алгоритм Стентифорда. В качестве направления дальнейших исследований укажем необходимость оценки качества работы алгоритма скелетизации по количественным критериям.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Нгуен Г. К. Применение систем компьютерного зрения в задачах реабилитации пациентов с болезнями опорно-двигательного аппарата // Труды МНПК «Современные информационные и электронные технологии» СИЭТ-2013.— Украина, г. Одесса.— 2013 — Т. 1.— С. 53—54.
2. Serra J. Image analysis and mathematical morphology.— London: Academic Press.— 1982.— 605 p.
3. Pfalz J. L., Rosenfeld A. Computer representation of planar regions by their skeletons // Comm.of ACM.— 1967.— Vol.10, N 2.— P. 119—125.
4. Zhang T. Y. , Suen C. Y. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. // Comm. of ACM.— 1984.— Vol. 27, N 3.— P. 236—239.
5. Guo, Z., Hall, R. W. Parallel thinning with two subiteration algorithms. // Comm. of the ACM.— 1989.— Vol. 32, N 3.— P. 359—373.
6. Stentiford F. W. M., Mortimer R. G. Some new heuristics for thinning binary handprinted characters for OCR.// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.— 1983.— Vol. 13, N 1.— P. 81—84.

V. A. Boltenev, D. V. Maliavin, Nguen Gui Kiong  
**Comparative analysis of algorithms for binary images skeletonization.**

The performance and quality of efficient algorithms for skeletonization of binary images has been studied. Some algorithms for computing the skeleton were analyzed. The quality rate and speed of skeletonization algorithms has been studied. It is shown that the Stentiford algorithm provides high performance and sufficient quality of the skeleton.

Keywords: *binary images, skeletonization, OpenCV.*