

УДК 681.3

*А.М. Недзведь¹, С.В. Абламейко¹, А.М. Белоцерковский¹, Т. Лемман²*¹Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

nedzveda@newman.bas-net.by

²Технологический университет Ахена,

г. Ахен, Германия

TLehmann@mi.rwth-aachen.de

Быстрый метод выделения сети сосудов на полутоновых ангиографических изображениях

Предлагается алгоритм полутонового утоньшения ангиографических изображений. Этот алгоритм базируется на карте псевдорасстояния, которая соответствует поверхности топологии с горным хребтом и пиком. Алгоритм работает быстро для большого полутонового объекта и позволяет строить высококачественный скелет из полутонового изображения.

Введение

Ангиографией является отображение тока крови по артериям и венам тела. До появления МРТ ангиография проводилась единственным способом. Для увеличения контраста сосудов в кровь человека вводилось рентгено-контрастное вещество. Сосуды на ангиографических изображениях представляют собой сложные протяженные объекты с меняющимся контрастом (рис. 1). Поэтому основным механизмом в обработке и анализе таких изображений, позволяющим сохранить топологические свойства сосудов, является полутоновое утоньшение.

Алгоритмы утоньшения часто классифицируют как методы анализа окрестности пикселя, такие, как: методы математической морфологии [1], на основе дистанционных карт [2], [3], преобразования Hit or Miss, алгоритм водораздела (Watershed) [4] и др. [1].



Рисунок 1 – Ангиографическое изображение сосудов

В данной работе предлагается новый алгоритм утоньшения полутоновых ангиографических изображений. Предложенный алгоритм базируется на карте псевдорасстояния (Pseudo Distance Map, PDM), иначе говоря, упрощенной дистанционной карте полутонового изображения, использующей лишь некоторые особенности изображения, необходимые для построения скелета.

Построение карты псевдорасстояния

Принципы получения PDM. Дистанционная карта определяется как области изображения, в которых пиксели помечены их расстояниями до края объекта [5]. Для бинарного изображения она представлена с помощью полутонового изображения, для полутонового изображения ее размерность существенно увеличивается. Построение дистанционной карты для полутоновых изображений достаточно сложная задача, что связано с увеличением размерности: полутоновое изображение трехмерное, а дистанционная карта для него – четырехмерна. Однако для построения скелета все дистанционные свойства не требуются. Скелет отражает топологические свойства объекта, т.е. скелет должен проходить через точки хребта, и в дистанционной карте должно быть отражено то, что: 1) скелет должен проходить через точки локальных максимумов или пиковые точки; 2) скелет должен проходить через точки седла; 3) скелет должен проходить через узловые точки седла; 4) скелет не должен проходить через точки локальных минимумов (точки, не имеющие соседей с меньшей величиной).

Если представить полутоновое изображение, имеющее 256 уровней яркости в виде набора слоев, каждый из которых включает пиксели предыдущего более низкого слоя [6], то, подняв бинарный слой на 256 значений, мы имеем достаточно пространства для построения дистанционной карты каждого слоя (рис. 2).

| | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 256 | 256 | 256 | 256 | 256 | 256 | 0 |
| 0 | 256 | 256 | 256 | 512 | 512 | 256 | 0 |
| 0 | 256 | 256 | 256 | 512 | 512 | 256 | 0 |
| 0 | 256 | 256 | 256 | 512 | 512 | 256 | 0 |
| 0 | 256 | 256 | 256 | 512 | 512 | 256 | 0 |
| 0 | 256 | 256 | 256 | 256 | 256 | 256 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

а)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|-----|-----|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 257 | 257 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 257 | 257 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 257 | 257 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 257 | 257 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

б)

Рисунок 2 – Полутоновое изображение (а) и его карта псевдорасстояния (б)

Алгоритм построения PDM. Для оптимизации процесса построения PDM используется Chamfer метрика, которая позволяет получить оптимальное соотношение скорости и качества. Построение PDM осуществляется за два прохода по изображению.

В основе построения карты лежит модернизированный двухпроходный алгоритм на базе локальных минимумов. Первый проход выполняется в

направлениях сверху-вниз и слева-направо, второй – снизу-вверх, справа-налево. Во время прохода каждый пиксель меняется по следующим условиям:

$$p = \begin{cases} (p_i + f_i), & \text{если } (p_i + f_i < p) \text{ и } (p_i + f_i \geq L(p)), i = 0, \dots, n \\ L(p), & \text{если } (p_i + f_i < L(p)), i = 0, \dots, n \\ p, & \text{в другом случае} \end{cases},$$

где p – значение пикселя, $L(p)$ – значение бинарного слоя в картинке, p_i – значение пикселей окружения, f_i – значения векторов в таблице-маске для метрики, i – индекс элемента в таблице-маске для метрики, n – число элементов в таблице-маске.

В результате имеем псевдодистанционную карту, на которой отображены основные топологические особенности изображения (рис. 3б).

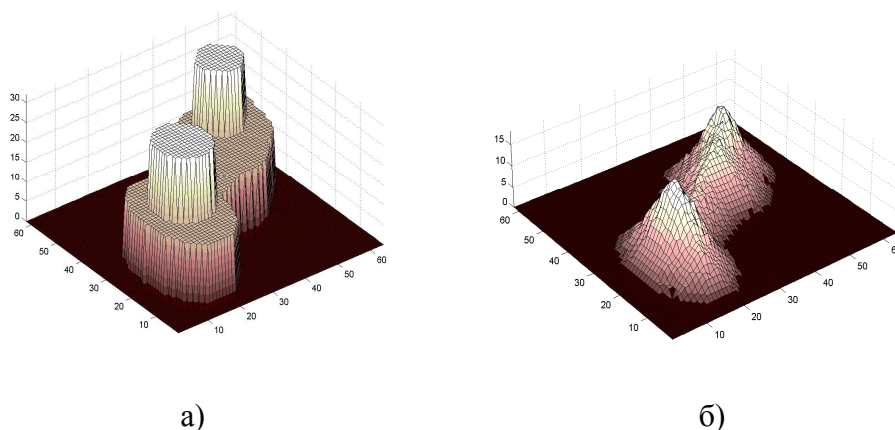


Рисунок 3 – Полутоновой объект (а) и его карта псевдорасстояния (б)

Обнаружение скелета. Используя предложенную карту псевдорасстояния, мы можем использовать любой алгоритм бинарного утоньшения, который использует метрику, аналогичную в создании PDM. Для построения скелета используются топологические особенности (табл. 1).

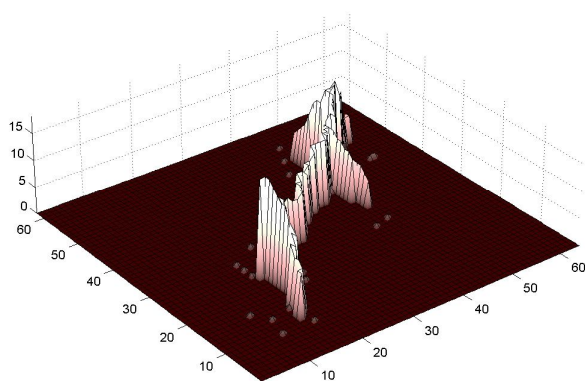
Таблица 1

| | |
|--|---|
| Точки конца (p): | Если $\Sigma(p_i \geq p)$ |
| Точка седла (з) | Если $(c_4 \& c_0 \& !c_2 \& !c_6) \vee (!c_4 \& !c_0 \& c_2 \& c_6) \vee (c_1 \& c_5 \& !(c_2 \& c_3 \& c_4) \& !(c_0 \& c_7 \& c_6)) \vee (c_3 \& c_7 \& !(c_2 \& c_1 \& c_0) \& !(c_4 \& c_5 \& c_6))$ |
| Точки двойного седла (две точки p и p_i , где i – сосед, проверяемый функцией FindMax) | Если $(c_5 \& n_1 == p \& !c_0 \& !c_2) \& (FindMax(1) > 0) \vee (c_1 \& n_5 == p \& !c_6 \& !c_4) \& (FindMax(5) > 0) \vee (c_3 \& n_7 == p \& !c_0 \& !c_6) \& (FindMax(7) > 0) \vee (c_7 \& n_3 == p \& !c_2 \& !c_4) \& (FindMax(3) > 0) \vee (c_4 \& n_0 == p \& !c_2 \& !c_6) \& (FindMax(0) > 0) \vee (c_0 \& n_4 == p \& !c_2 \& !c_6) \& (FindMax(4) > 0) \vee (c_6 \& n_2 == p \& !c_4 \& !c_0) \& (FindMax(2) > 0) \vee (c_2 \& n_6 == p \& !c_4 \& !c_0) \& (FindMax(6) > 0)$ |
| Локальный максимум | Если $\Sigma(p_i > p) = 0$ |

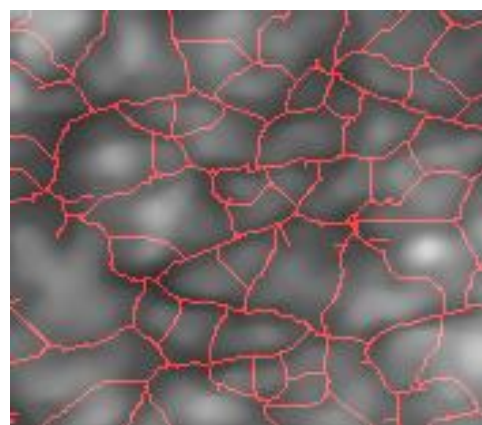
Здесь p – текущий пиксель, p_i – соседний пиксель, c_i – условие ($p_i > p$), FindMax(x) – функция подсчета больших по величине пикселей в окружении пикселя x .

Все эти точки отмечаются максимальным уровнем на псевдодистанционной карте и являются стартовыми точками для роста скелета.

Затем делается еще один проход по изображению для обнаружения стартовых точек. При их обнаружении рекурсивно вызывается функция поиска максимума в окружении точки (этой функцией игнорируются стартовые точки из окружения), в результате которой максимум помечается следующей стартовой точкой. В результате растет ветвь скелета до тех пор, пока не упрется в другую стартовую точку или не будет обнаружен максимум. Полученный скелет показан на рис. 4.



а)



б)

Рисунок 4 – Результат работы алгоритма полутонового утоньшения: фрагмент полутонового скелета объекта (а) на изображении (б)

Заключение

Предложенный алгоритм утоньшения позволяет быстро получить достаточно качественный скелет на полутоновом изображении. При тестировании проводилось сравнение с работой полутоновых растровых алгоритмов на основе модифицированного метода Zhang-Suen [7] и метода с предобработкой впадин [6], на изображении волокон головного мозга на компьютере с процессором Celeron 1300 MHz (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты сравнения алгоритмов полутонового утоньшения

| | Время работы, мс | Относительное время работы |
|-----------------------|------------------|----------------------------|
| Предлагаемый алгоритм | 51 | 0,08 |
| Zhang-Suen | 480 | 0,76 |
| Метод [5] | 630 | 1 |

Алгоритм учитывает топологические особенности сложных ангиографических изображений и позволяет получить качественный результат.

Литература

1. Abe F., Mizutani C., Wang. Thinning of Gray-Scale Images with Combined Sequential and parallel Condition for Pixel Removal // IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics. – 1994. – Vol. 24, № 2.
2. Arcelli C., Serino L. Parallel reduction operators for grey-Tone Pictures // Pattern Recognit. Artif. Intell. – 2000. – Vol. 14, № 3. – P. 281-296.
3. Weiss J.M. Grayscale Thinning and Ridge Detection // Comput. Inf. Syst. – 2003. – Vol. 44, № 1. – P. 107-110.
4. Marchadier J., Arques D., Michelin S., Thinning Grayscale Well-Composed Images // Pattern Recognit. Lett. – 2004. – Vol. 25, № 5. – P. 581-590.
5. Svensson S., Nystrom I., Arcelli C., Sanniti di Baja G. Using Grey-Level and Distance Information for Medial Surface Representation of Volume Images // Proc. of ICPR. – 2002.
6. Nedzved A.M., Ablameyko S.V. Thinning of the Gray-Scale and Color Images by a Sequential Analysis of Binary Layers // Patt. Rec. Image Anal. – 2000. – Vol. 10, № 2. – P. 226-235.
7. Zhang TY. and Suen CY., A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns // Comm. ACM. – 1984. – Vol. 27, № 3. – P. 236-239.

А.М. Недзведь, С.В. Абламейко, А.М. Белоцерковский, Т. Лемман

Швидкий метод виділення мережі судин на напівтонових ангиографічних зображеннях

Описано алгоритм напівтонового стоншення ангиографічних зображень. Цей алгоритм базується на карті псевдовідстані, що відповідає поверхні топології з гірським хребтом і піком. Алгоритм працює швидко для великого напівтонового об'єкта і дозволяє будувати високоякісний кістяк із напівтонового зображення.

A.M. Nedzved, S.V. Ablameyko, A.M. Belotserkovsky, T. Lehmann

Fast Method of Extraction of the Network of Vessels on Gray Angiography Images

The algorithm gray thinning of angiography images is proposed. This algorithm is based on a pseudo-distance map which corresponds to a surface of topology with a mountain ridge and peak. The algorithm works quickly for the big intensified object and allows to build a high-quality skeleton of gray image.

Статья поступила в редакцию 26.04.2006.