

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ АМЁБ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СОСУДОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ГЛАЗНОГО ДНА

Насонов А.В.¹, Черноморец А.А.¹, Крылов А.С.¹, Родин А.С.²

МГУ имени М.В. Ломоносова,

¹факультет вычислительной математики и кибернетики,
лаборатория математических методов обработки изображений

<http://imaging.cs.msu.ru/>

²факультет фундаментальной медицины, кафедра офтальмологии

Аннотация

В работе разработан алгоритм выделения сосудов на изображениях глазного дна, основанный на использовании метода морфологических амёб. Рассмотрено применение алгоритма к задаче продолжения сосудов от множества точек, заведомо являющихся точками сосудов.

1. Введение

Фотографии глазного дна используются для диагностики заболеваний сетчатки. Сегментация и оценивание характерных величин сосудов кровеносной системы сетчатки представляют важнейший интерес при диагностировании и лечении многих заболеваний глаз.

Выделение сосудов на изображениях сетчатки является достаточно сложной задачей обработки изображений из-за высокого уровня шума, неравномерной освещённости, присутствия объектов, похожих на сосуды. Среди методов обнаружения сосудов на изображениях глазного дна можно выделить следующие классы [1]:

- класс методов, использующих свёртку изображений с двумерным направленным фильтром и последующее нахождение пиков откликов. В [2] для сегментации сосудистой сети предложен двумерный линейный фильтр, профилем которого является гауссиан. Преимуществом данного подхода является устойчивое нахождение прямолинейных участков сосудов и вычисление их ширины. Однако метод плохо детектирует тонкие и извилистые сосуды, возможны ложные срабатывания на объекты, не являющимися сосудами, например на экссудаты.

- методы, использующие детектирование хребтов. В [3] производится нахождение примитивов — коротких отрезков, лежащих посередине линий, затем с помощью методов машинного обучения отбираются примитивы, соответствующие сосудам, по которым восстанавливается сосудистое дерево.

- методы, использующие трекинг сосудов, включающий в себя как соединение сосудов по паре точек, так и продолжение сосудов [4]. К преимуществам данного подхода можно отнести высокую точность работы на тонких сосудах и восстановление разрывных сосудов. Недостатком является сложность обработки ветвлений и пересечений сосудов.

- попиксельная классификация, основанная на применении методов машинного обучения [5]. Здесь для каждого пикселя строится вектор признаков, на основе которого определяется, является ли пиксель частью сосуда или нет. Для обучения метода используются изображения глазного дна с размеченными на нём экспертом сосудами. К недостаткам метода можно отнести большое расхождение в мнениях экспертов.

В данной работе для выделения сосудов используется метод морфологических амёб — морфологический метод, при котором структурный элемент выбирается адаптивно для каждого пикселя.

2. Морфологические амёбы

Мы используем метод морфологических амёб, описанный в [6], с модифицированной функцией расстояния.

Рассмотрим изображение в градациях серого $I(x, y)$. Представим его в виде графа, в котором каждый пиксель соединён с восемью соседними пикселям рёбрами с некоторым заданными весами («стоимостью»). Тогда для каждого пикселя (x_0, y_0) можно найти множество всех точек $(x, y) \in A((x_0, y_0), t)$, для которых стоимость пути из (x_0, y_0) в (x, y) не превышает t . Полученное множество и будет являться структурным элементом для пикселя (x_0, y_0) .

Мы используем следующую функцию расстояния между пикселями (x_0, y_0) и (x_1, y_1) :

$$d((x_0, y_0), (x_1, y_1)) = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \sqrt{(I(x_0, y_0))^2 + (I(x_1, y_1))^2} + \lambda |I(x_1, y_1) - I(x_0, y_0)|, \quad \lambda \geq 0.$$

Сомножитель $\sqrt{(I(x_0, y_0))^2 + (I(x_1, y_1))^2}$ задаёт низкую стоимость перемещения по тёмным участкам и высокую — по светлым, тем самым не давая амёбе распространяться по точкам вне сосуда, а слагаемое $\lambda |I(x_1, y_1) - I(x_0, y_0)|$ штрафует перемещение между пикселями с сильно различающейся интенсивностью. Параметр λ задаёт значимость штрафа при данном переходе.

Пример нахождения амёб при $t = 125, \lambda = 0.2$ приведён на рис. 1.

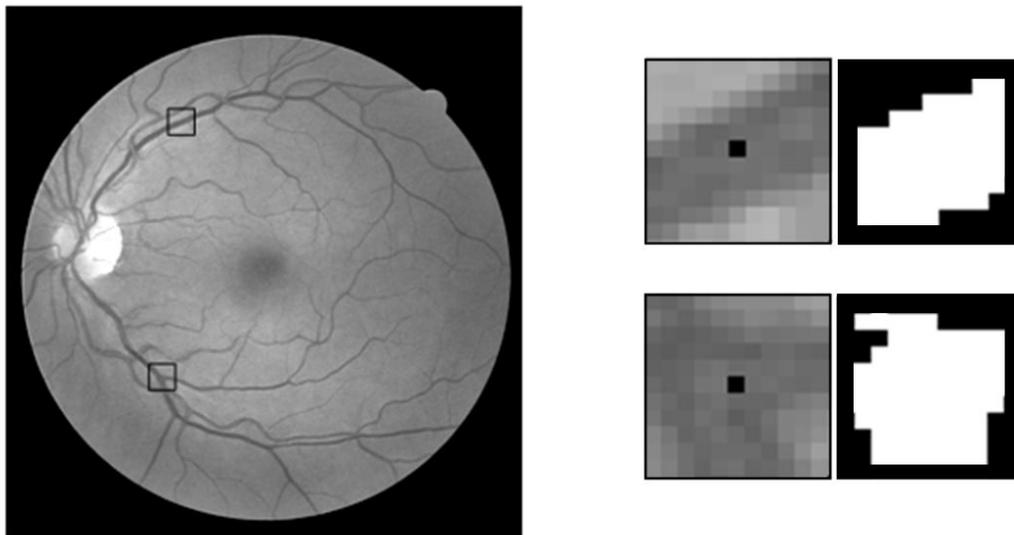


Рис. 1. Примеры форм морфологических амёб. Слева — исходное изображение с помеченными точками, в которых вычисляются амёбы, справа — белым помечены найденные структурные элементы.

3. Выделение сосудов с помощью морфологических амёб

Для прослеживания сосудов кровеносной системы на изображениях глазного дна был разработан алгоритм, состоящий из следующих этапов:

1. Выделение зелёного канала как наиболее информативного и выравнивание освещенности на этом канале с помощью метода [7]. Это позволяет использовать одни и те же параметры λ и t при построении морфологических амёб для разных изображений.
2. Нахождение на полученном изображении множества точек $\{p_n\}$, заведомо принадлежащих сосудам. Мы использовали следующий метод: производилось детектирование границ сосудов с помощью метода Канни, затем применялась скелетизация множества точек, не являющихся границами; связанные фрагменты скелета считались частью сосудов, если интенсивность изображения в этих точках была ниже некоторого порогового значения.
3. Для каждой начальной точки $p_i \in \{p_n\}$ строится амёба $A(p_i)$. К маске амёбы применяется ранговая фильтрация с окном 3×3 для устранения неровностей, вызванных шумом: если у точки маски менее 3 соседей, принадлежащих маске, то точка выкидывается. Оставшиеся точки маски помечаются как точки сосудов.
4. В случае, когда требуется не только заполнение сосудов, но и их продолжение, то шаг 3 повторяется для всех точек, помеченных как точки сосудов, для которых ещё не была вычислена амёба.

4. Результаты

Пример работы алгоритма приведён на рис. 2.

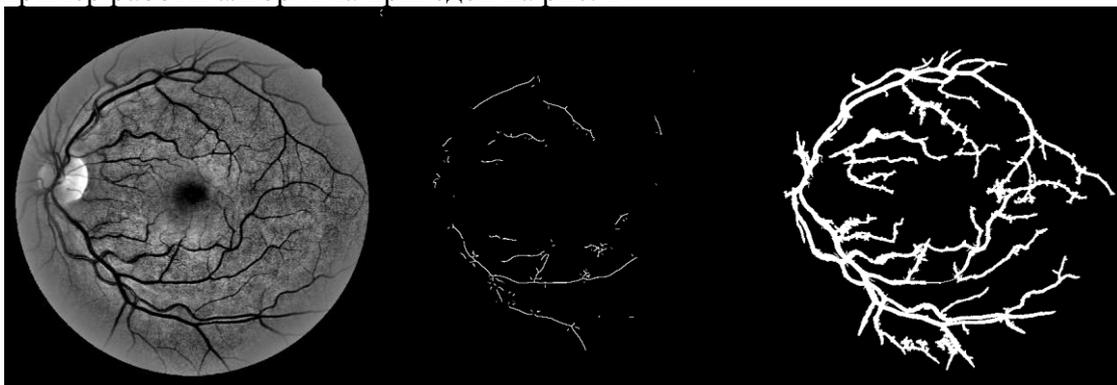


Рис. 2. Результат выделения сосудов при помощи морфологических амёб. Слева — изображение глазного дна (зелёный канал), по центру — точки, заведомо являющиеся точками сосудов, от которых будут строиться амёбы, справа — результат выделения сосудов с помощью предложенного метода.

Заключение

Рассмотрено применение метода морфологических амёб для выделения сосудов на изображениях глазного дна.

Разработанный алгоритм планируется использовать в автоматизированной системе обнаружения заболеваний сетчатки.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы и гранта РФФИ 10-01-00535-а.

Литература

1. R.J.Winder, P.J.Morrow, I.N.McRitchie, J.R.Bailie, P.M.Hart. Algorithms for digital image processing in diabetic retinopathy // Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 33, 2009, 608–622.

2. S.Chaudhuri, S.Chatterjee, N.Katz, M.Nelson, M.Goldbaum. Detection of Blood Vessels in Retinal Images Using Two-Dimensional Matched Filters // IEEE Transactions of Medical Imaging, Vol. 8, No. 3, 1989, pp. 263–269.
3. J.Staal, M.D.Abramoff, M. Niemeijer, M.A.Viergever, B.Ginneken. Ridge-Based Vessel Segmentation in Color Images of the Retina // IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 23, No. 4, 2004, pp. 504–509.
4. M.Patasius, V.Marozas, D.Jegelevicius, A.Lukosevicius. Recursive Algorithm for Blood Vessel Detection in Eye Fundus Images: Preliminary Results // IFMBE Proceedings, Vol. 25/11, 2009, pp. 212–215.
5. J.Soares, J.Leandro, R.Cesar Jr., H.Jelinek, M.Cree. Retinal Vessel Segmentation Using the 2-D Gabor Wavelet and Supervised Classification // IEEE Transactions of Medical Imaging, Vol. 25, No. 9, 2006, pp. 1214–1222.
6. M.Welk, M.Breub, O.Vogel. Differential Equations for Morphological Amoebas // Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5720/2009, 2009, pp. 104–114.
7. G.D.Joshi, J.Sivaswamy. Colour Retinal Image Enhancement based on Domain Knowledge // Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (ICVGIP'08), 2008, pp. 591–598.