

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ АМЁБ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СОСУДОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ГЛАЗНОГО ДНА

Насонов А.В.<sup>1</sup>, Черноморец А.А.<sup>1</sup>, Крылов А.С.<sup>1</sup>, Родин А.С.<sup>2</sup>

МГУ имени М.В. Ломоносова,

<sup>1</sup>факультет вычислительной математики и кибернетики,  
лаборатория математических методов обработки изображений

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

<sup>2</sup>факультет 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  $\lambda$  задаёт значимость штрафа при данном переходе.

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

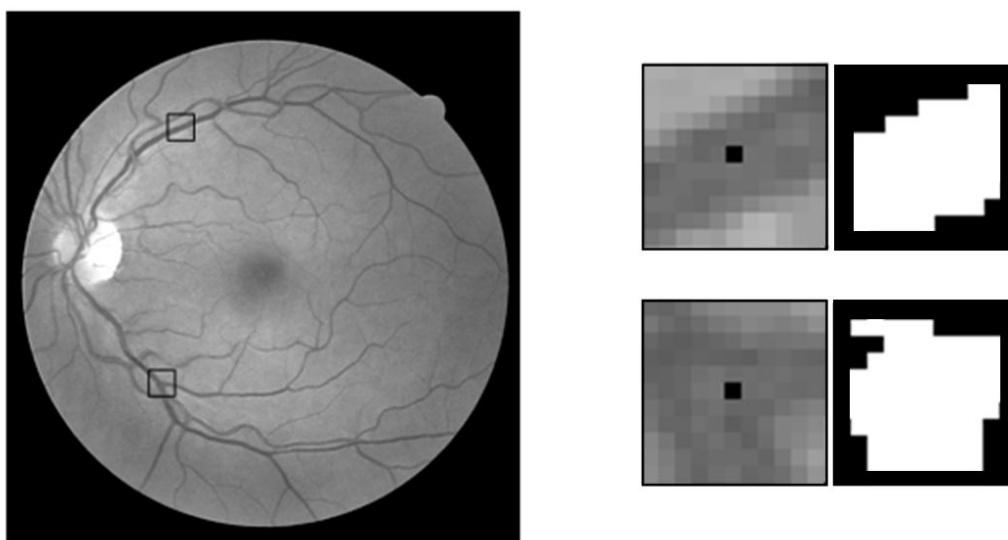


Рис. 1. Примеры форм морфологических амёб. Слева — исходное изображение с помеченными точками, в которых вычисляются амёбы, справа — белым помечены найденные структурные элементы.

## 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  $\lambda$  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; связные 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  $3 \times 3$  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.

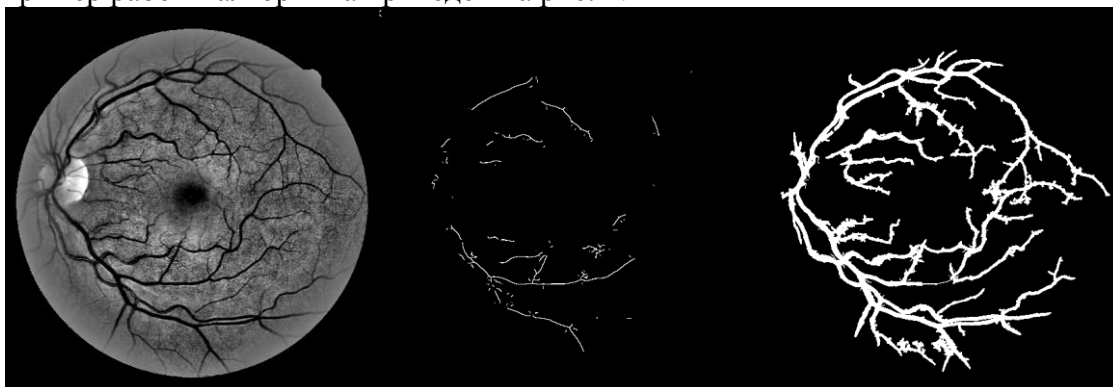


Рис. 2. Результат выделения сосудов при помощи морфологических амёб. Слева — изображение глазного дна (зелёный канал), по центру — точки, заведомо являющиеся точками сосудов, от которых будут строиться амёбы, справа — результат выделения сосудов с помощью предложенного метода.

#### 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.