

# КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГЛАЗНОГО ДНА

А.С. Крылов<sup>1</sup>, А.В. Насонов<sup>1</sup>, А.С. Семашко<sup>1</sup>, А.А. Черноморец<sup>1</sup>, В.В. Сергеев<sup>1</sup>,  
В.С. Акопян<sup>2</sup>, А.С. Родин<sup>2</sup>, Н.С. Семенова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Факультет вычислительной математики и кибернетики

<sup>2</sup>Факультет фундаментальной медицины

Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

[kryl@cs.msu.ru](mailto:kryl@cs.msu.ru)

## Аннотация

Работа посвящена задаче программной обработки изображений глазного дна для использования в полуавтоматических системах диагностики заболеваний. Рассмотрены основные аспекты обработки и анализа изображений сетчатки, предлагаются методы оценки качества, выравнивания неравномерности освещённости, сегментации сосудов, макулы и диска зрительного нерва на изображениях сетчатки, нахождения светлых и тёмных пятен в области макулы.

## 1. Введение

Автоматизированный анализ изображений сетчатки с использованием программных средств позволяет повысить эффективность массовых (скрининговых) обследований врачами-офтальмологами. Это является крайне важным как с точки зрения экономии времени, так и бюджета здравоохранения и даёт уникальную возможность сделать критерии отбора опасных форм заболеваний более объективными и выявлять заболевания сетчатки на ранних стадиях.

Среди задач автоматической обработки изображений сетчатки можно выделить следующие основные группы задач:

1. Оценка качества и предварительная обработка изображений сетчатки.
2. Сегментация объектов на изображениях сетчатки: сосудов, макулы — центральной части сетчатки, диска зрительного нерва (оптического диска).
3. Выявление и оценка патологии.

## 2. Оценка качества и предварительная обработка изображений сетчатки

Оценка качества изображений сетчатки ориентирована на определение пригодности изображений для анализа сразу после их получения с фундус-камеры. Наиболее частой проблемой является размытие изображений, вызванное движением или неправильной фокусировкой камеры. Для определения уровня размытия мы используем анализ ширины контуров сосудов.

Сначала на изображении с помощью методов выделения контуров ищутся контуры (границы сосудов) с наибольшим значением градиента и берутся их профили (см. рис. 1).

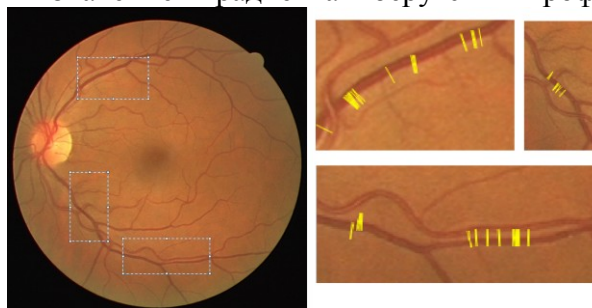


Рис. 1. Пример анализируемых профилей контуров.

Мы используем модель контура  $E_\sigma(x)$  как результата свертки идеального ступенчатого контура  $H(x)$  и Гауссова ядра  $G_\sigma(x)$  с дисперсией  $\sigma$  (см. рис. 2):

$$E_{\sigma}(x) = [H * G_{\sigma}](x), \quad H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

Это предоставляет возможность установить взаимно-однозначное соответствие между контуром и числовым значением  $\sigma$ , которое мы используем в качестве ширины контура.

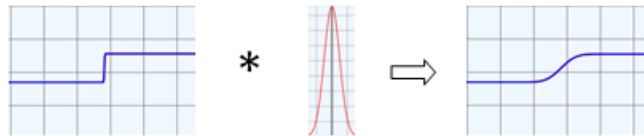


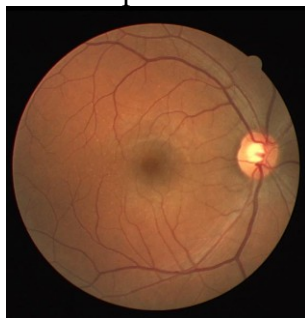
Рис. 2. Модель контура.

Для оценки ширины контура мы анализируем значение максимума контура после нерезкого маскирования:  $U_{\sigma, \alpha}[E_{\sigma_0}](x) = E_{\sigma_0} * G_{\sigma} + (1 + \alpha)(E_{\sigma_0} - E_{\sigma_0} * G_{\sigma})$

Изображения со средней шириной контура, выше задаваемого врачом порога, помечаются как размытые и не обрабатываются (выдается запрос на повторную съемку изображения).

Предварительная обработка изображений сетчатки включает выравнивание освещённости, цветовую нормализацию и повышение контраста.

Для выравнивания освещённости и повышения контраста используется метод, основанный на сегментации фоновых пикселей и последующим вычислением фонового изображения только по фоновым пикселям [1]. На рис. 3 показаны результаты работы алгоритма коррекции освещённости и контраста.



а) исходное изображение



б) результат

Рис. 3. Пример коррекции неравномерной освещённости и контраста.

### 3. Сегментация объектов на изображениях сетчатки

#### 3.1. Сегментация сосудов

Существует ряд подходов к автоматической сегментации сосудов [2]: фильтрация по образцу, детектирование хребтов, трекинг сосудов, попиксельная классификация, математическая морфология.

В нашей работе для выделения сосудов используется метод, основанный на методе морфологических амёб, состоящий из следующих этапов:

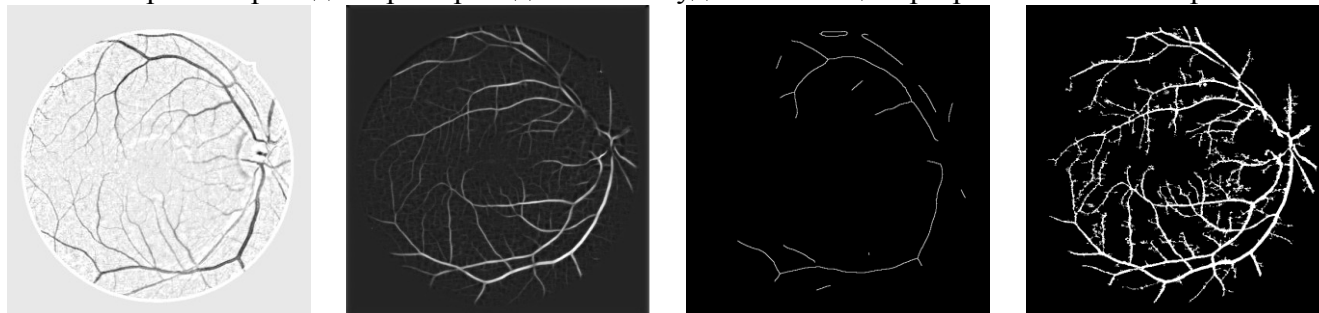
1. Последовательное применение морфологического открытия и закрытия с круговыми структурными элементами с увеличивающимися радиусами в интервале от 1 до удвоенной максимальной ширины сосудов, позволяющее получить изображение фона. Затем из полученного изображения вычитается исходное изображение. Значение максимальной ширины сосудов задаётся вручную в зависимости от масштаба изображений.

2. Применение фильтров Габора. Рассматривается 4 масштаба (1/4, 1/2, 3/4 и 1 от максимальной ширины сосудов) и 6 направлений. Результатом фильтрации является максимум отклика на фильтры Габора в каждом пикселе.

3. Нахождение множества начальных точек для метода морфологических амёб: нахождение центров сосудов с помощью методов выделения контуров.

4. Сегментация сосудов с помощью метода морфологических амёб, представляющего итерационное расширение множества начальных точек со структурным элементом, форма которого подстраивается под изображение [3, 4].

На рис. 4 приведён пример выделения сосудов с помощью разработанного алгоритма.



а) результат морфологической обработки

б) применение фильтров Габора

в) множество начальных точек

г) результат морфологических амёб

Рис. 4. Результат сегментации сосудов на изображениях глазного дна для изображения с рис. 1.

### 3.2. Локализация макулы и оптического диска

После сегментации сосудов производится локализация макулы и оптического диска. Мы используем предположение, что главные сосудистые аркады располагаются вдоль окружности с центром в центре макулы и проходящей через оптический диск.

Для нахождения центра этой окружности мы ищем точку на изображении, для которой дисперсия расстояния до точек сосудистой маски минимальна. При этом за радиус окружности мы берется среднее значение расстояния. В качестве области макулы рассматривается круг с втрое меньшим радиусом.

В качестве начальной аппроксимации оптического диска берётся светлое пятно на данной окружности.

Пример локализации макулы и оптического диска приведён на рис. 5.

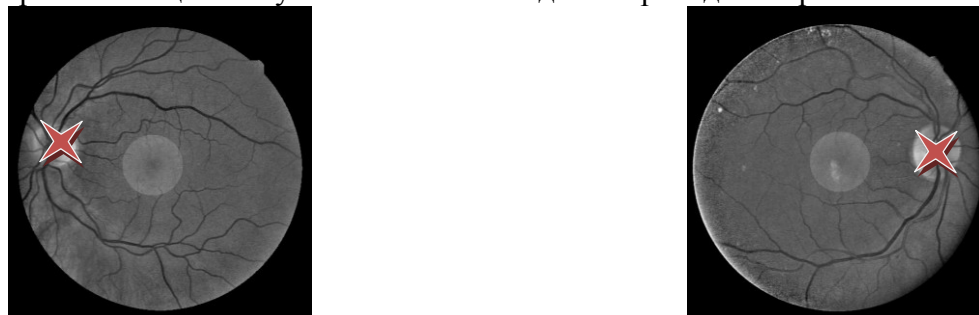


Рис. 5. Пример локализации макулы и оптического диска.

## 4. Выявление и оценка патологий

### 4.1. Нахождение пятен в области макулы.

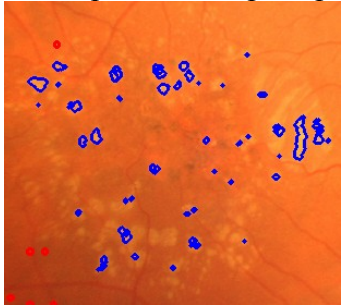
Появление светлых и тёмных пятен на сетчатке может являться признаком ретинопатии.

Для нахождения светлых пятен ищутся области с локальной дисперсией, превышающей заданный порог. Эти области заполняются значениями пикселей фона. Полученное изображение вычитается из исходного, далее применяется пороговая обработка.

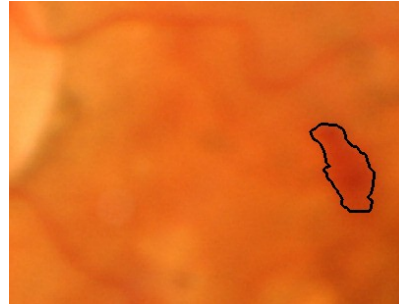
Аналогичный алгоритм применяется для выделения тёмных пятен. Для снижения числа ложных выбросов производится дополнительное отсеечение пятен по набору характеристик с

помощью алгоритма классификации методом опорных векторов: цвет, компактность, размеры, значения дисперсии и эксцентриситета.

На рис. 6 приведены примеры обнаружения светлых и тёмных пятен



а) пример выделения светлых пятен



а) пример выделения тёмных пятен

Рис. 6. Примеры обнаружения светлых и тёмных пятен.

#### 4.2. Нахождение контура оптического диска

Для нахождения и анализа диска разработан алгоритм, основанный на методе активных контуров [5]. Алгоритм состоит из следующих этапов: предварительная обработка, в которой строится маска сосудов внутри оптического диска и карта границ; построение аппроксимирующего эллипса; морфинг эллипса с помощью метода активных контуров.

При тестировании на базах изображений DRIVE и MESSIDOR были получены следующие показатели: среднее перекрытие – 0.89, чувствительность – 94.1%, специфичность – 98.4%, что позволяет говорить о высокой надежности описанного метода.

#### 5. Заключение

Представленные в работе алгоритмы оценки качества изображений, выравнивания неравномерности освещённости, сегментации сосудов, макулы и диска зрительного нерва на изображениях сетчатки, нахождения светлых и тёмных пятен в области макулы составляют базу создаваемой коллективом телемедицинской системы анализа изображений глазного дна.

Целью ближайшей работы является написание и тестирование единой программной системы, основанной на оптимизации и согласовании работы разработанных алгоритмов.

Работа была выполнена при поддержке государственного контракта №8/3-617н-10 с правительством г. Москвы.

#### Литература

- [1] G.D.Joshi, J.Sivaswamy. Colour Retinal Image Enhancement based on Domain Knowledge // *6th Indian Conf. on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 2008, p. 591–598.
- [2] Winder R.J., Morrow P.J., McRitchie I.N., et al. Algorithms for digital image processing in diabetic retinopathy. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, v. 33, 2009, p. 608–622.
- [3] Romain Lerallut, Etienne Decencière, Fernand Meyer. Image filtering using morphological amoebas // *Image and Vision Computing*, v. 25, 2007, p. 395–404.
- [4] A. A. Chernomorets, A. S. Krylov, A. V. Nasonov, A. S. Semashko, V. V. Sergeev, V. S. Akopyan, A. S. Rodin, N. S. Semenova. "Automated processing of retinal images" // *21-th International Conference on Computer Graphics GraphiCon2011*. Moscow, Russia, 2011, p. 78–81.
- [5] A. S. Semashko, A. S. Krylov, A. S. Rodin. "Using Blood Vessels Location Information in Optic Disk Segmentation" // *16th Int. Conf. ICIAP'2011, LNCS*, V. 6979, part 2, 2011, p. 384–393.