

# Выделение элементов изображения глазного дна с использованием вейвлет-преобразования

выпускник: **Ионкин Михаил Анатольевич**  
научный руководитель: профессор кафедры ТК,  
д.т.н., доцент **Ильясова Наталья Юрьевна**



**САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
SAMARA UNIVERSITY



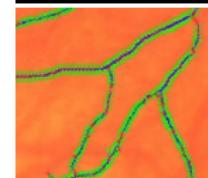
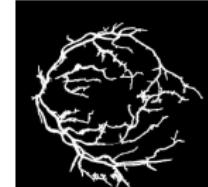
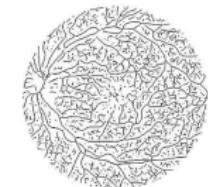
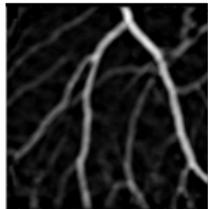
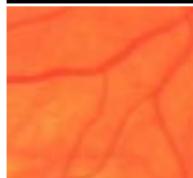
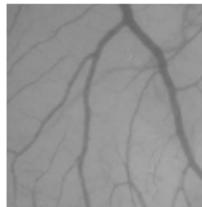
# Цель работы. Задачи

- Цель работы — выделение областей интереса: сосудов, макулы и экссудатов — на изображении глазного дна
- Основные задачи:
  - 1 обзор и анализ существующих методов выделения сосудов;
  - 2 исследование применения вейвлет-преобразования для выделения объектов интереса;
  - 3 разработка алгоритма выделения центральных линий сосудов;
  - 4 исследование качества выделения сосудов.

# Обзор и анализ методов

Выделение сосудов:

- 1 свёртка изображений с двумерным направленным фильтром с последующим выделением пиков
- 2 детектирование хребтов (осей сосудов);
- 3 трекинг сосудов (например, итерационный процесс выделения сосудов по сосудам, полученным на предыдущих итерациях)
- 4 попиксельная классификация на основе вектора признаков с использованием машинного обучения



# Выделение сосудов

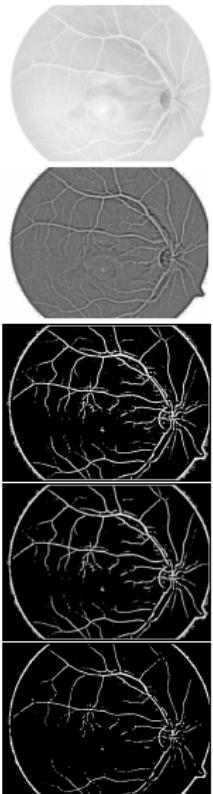
- 1 инверсный зеленый канал
- 2 выравнивание освещенности (фильтр Гаусса + retinex + линейное контрастирование):

$$C(x, y) = 46 \left[ \lg(125f(x, y)) - \lg \sum_{p \in \{r, g, b\}} f_p(x, y) \right]$$

$$f'(x, y) = 192 \left[ C(x, y) \lg \frac{f(x, y)}{f(x, y) * G(r, \sigma)} - 30 \right]$$

( $f$  – функция яркости,  $G$  – фильтр Гаусса)

- 3 вейвлет-преобразование
- 4 медианная фильтрация
- 5 бинаризация с использованием гистограммы



# 2D вейвлет-преобразование

- Без использования направления:

$$W_\psi(b, a) = \frac{1}{\sqrt{c_\psi}} \int_{\mathbb{R}^2} f(t) \frac{1}{a} \psi(a^{-1}(t - b)) d^2t, \quad t \in \mathbb{R}^2;$$

где  $\psi$  — вейвлет;

$c_\psi$  — коэффициент нормировки;

$b \in \mathbb{R}^2$  — вектор смещения;

$a \in \mathbb{R}_+$  — параметр масштаба.

- С использованием направления:

$$W_\psi(b, a, \theta) = \frac{1}{\sqrt{c_\psi}} \int_{\mathbb{R}^2} f(t) \frac{1}{a} \psi(a^{-1}r_\theta(t - b)) d^2t, \quad t \in \mathbb{R}^2;$$

где  $r_\theta$  — матрица поворота;

$\theta \in [0, 2\pi)$  — угол поворота.



# Дискретизация ВП

- Локализация:

$$W_\psi(b_x, b_y, a, \theta) = \frac{1}{a} \times \frac{1}{\sqrt{c_\psi}} \sum_{(x,y) \in D} f(x, y) \Psi(x, y, b_x, b_y, a, \theta),$$

$$\Psi(x, y, b_x, b_y, a, \theta) = \int_{x'=x}^{x+1} \int_{y'=y}^{y+1} \psi(a^{-1}r_{-\theta}(x - b_x, y - b_y)) \, dx' \, dy',$$

где  $D$  — область в  $\mathbb{Z}^2$ , в которой локализован вейвлет;  
 $b_x, b_y \in \mathbb{Z}$  — смещение по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

- Шаг угла — 10 градусов. Выполнялась максимизация результатов преобразования по углам в каждом пикселе.
- В сложных случаях интегралы вычислялись с использованием обобщения формулы Симпсона на двумерный случай.

# Примеры вейвлетов

1 Добеши 1-го порядка

2 Морле

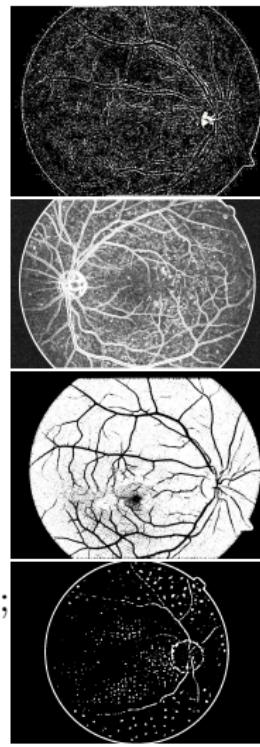
$$\exp(i(k_x x + k_y y)) \exp(-0,5(\varepsilon^{-1}x^2 + y^2))$$

3 Согласованный с моделью сосудов

$$\begin{cases} (1 - y^4) \exp(-0,25y^4), & x \in [-d, d]; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

4 Для выделения дискообразных объектов

$$\begin{cases} L \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right), & x^2 + y^2 \leqslant r^2; \\ -\frac{2\pi(R^2-r^2)L}{R^2} \int_{r'=0}^r \exp(-r'^2) dr, & \text{иначе.} \end{cases}$$



# Сравнение

- С идеальным выделением:

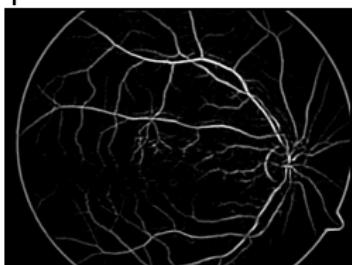


Идеальное выделение сосудов (*HRF Image Database*)



Выделение с помощью вейвлета, согласованного с моделью сосудов

- Сравнение вейвлетов:



Выделение с помощью сконструированного вейвлета



Выделение с помощью вейвлета, согласованного с моделью сосудов



# Построение поля направлений

Для выделения центральных линий сосудов было использовано поле направлений.

## Геометрический смысл

В каждом пикселе изображения поле направления перпендикулярно градиенту функции яркости в окрестности пикселя.

Были использованы два способа построения:

- 1 Проекционно-дисперсионный:

$$\phi(x, y) = \operatorname{argmin}_{\theta \in [0, \pi)} \frac{1}{2L+1} \sum_{r=-L}^L f^2(x + r \cos(\theta), y + r \sin(\theta)),$$

где  $f$  – функция яркости.

- 2 С использованием вейвлет-преобразования:

$$\phi_a(x, y) = \operatorname{argmin}_{\theta \in [0, \pi)} W_\psi^f(x, y, a, \theta).$$

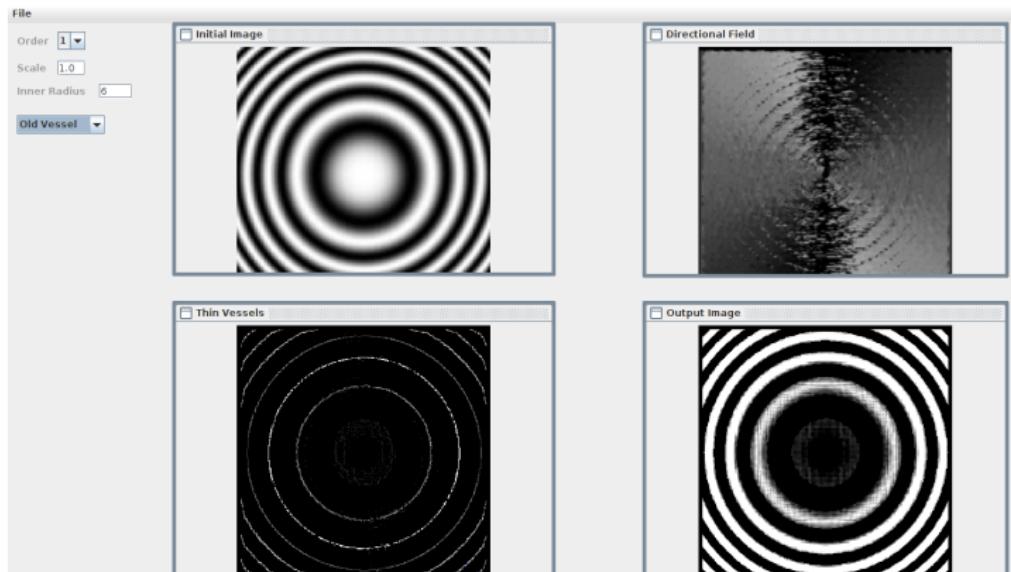


# Выделение центральных линий

Для выделения центральных линий использовался следующий алгоритм:

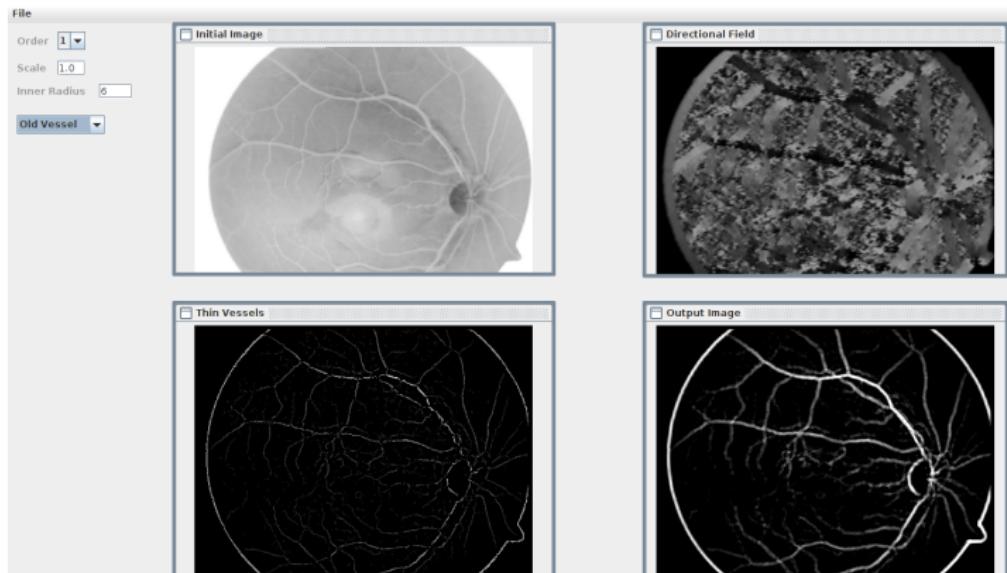
- ➊ Для каждой достаточно яркой точки находились два угла, перпендикулярный направлению в ней.
- ➋ В полярных координатах откладывались отрезки в оба направления, до тех пор, пока все точки отрезка достаточно яркие.
- ➌ Если ширина мала, точка отбрасывалась. Иначе находилась середина отрезка.
- ➍ Если середина отрезка находилась на расстоянии меньше двух клеток, то текущая клетка отмечалась как центральная.

# Тестовый пример



В левом верхнем углу – исходное изображение, в правом верхнем – поле направлений, в левом нижнем – центральные линии, в правом нижнем – результат преобразования

# Натурный пример



В левом верхнем углу – исходное изображение, в правом верхнем – поле направлений, в левом нижнем – центральные линии, в правом нижнем – результат преобразования



# Результаты выделений

Использовалась открытая база данных изображений глазного дна  
***High-Resolution Fundus (HRF) Image Database.***

Наименование исходного изображения	$\frac{ErrorWhite}{AllWhite} \times 100\%$	$\frac{ErrorBlack}{AllBlack} \times 100\%$
01_dr.jpg	9,11	28,2
01_g.jpg	13,9	15,5
01_h.jpg	10,6	30,3
02_dr.jpg	12,1	29,9
02_g.jpg	13,8	17,5

где  $ErrorWhite$  — количество черных пикселей вместо белых;  
 $AllWhite$  — должное количество белых пикселей;  
 $ErrorBlack$  — количество белых пикселей вместо черных;  
 $AllBlack$  — должное количество черных пикселей.

# Программное обеспечение

- Основа программного комплекса разработана на языке *Scala* 2.11 (запускается на Java Virtual Machine) в среде *Scala IDE* 4.3.
- Интерфейс разработан с использованием *Java 8* в *NetBeans 8.0*.
- Осуществленно распараллеливание вейвлет-преобразования (на 8 ядрах время работы приблизительно в 5 меньше, чем без использования распараллеливания).
- Были использованы пакеты:
  - 1 *JWave* (DFT, FWT, WPT: 1D, 2D и 3D);
  - 2 *scalactic* для Scala 2.11, версия 2.2.6;
  - 3 *scalatest* для Scala 2.11, версия 2.2.6;
  - 4 *JUnit 4* (для тестирования).



# Основные результаты

- ① выполнена реализация и тестирование вейвлетов, выделяющих сосуды;
- ② сконструирована пара вейвлетов: для выделения сосудов и для выделения экссудатов и коагулятов;
- ③ реализованы методы выделения центральных линий;
- ④ по результатам сравнения на 5-и изображениях, с помощью сконструированного вейвлет-преобразования выделяется около 90% сосудов, при ложном выделении порядка 20%.