

Поиск границ радужной оболочки на изображении глаза методом парных градиентов

Ефимов Юрий Сергеевич
Матвеев Иван Алексеевич

МФТИ
ФИЦ ИУ РАН

23 сентября 2015 г.

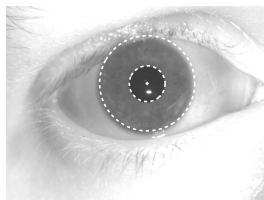
Постановка задачи

Дано:

I — чёрно-белое растровое изображение глаза размера $W \times H$.
Каждый пиксель описывается одним байтом.

Требуется:

Аппроксимировать границы радужной оболочки на изображении I двумя приближённо концентрическими окружностями, т.е. определить соответствующие им центры и радиусы.



- 1 **Подход Даугмана** Параметры окружности определяются при помощи интегро-дифференциального оператора:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) \frac{\partial}{\partial r} \oint_{(x_0, y_0, r_0)} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

Оператор ищет область на изображении, где достигается максимум частной производной от нормализованного интеграла по r по направлению увеличения величины радиуса.

- 2 **Подход Хафа и его модификации**
Поиск локальных максимумов в трёхмерном пространстве параметров. Существуют модификации, позволяющие уменьшить вычислительную сложность: использование информации о градиентах яркости, стохастическое преобразование Хафа, разделение аккумуляторов.

1 Проекционные методы

Метод проекции яркостей, метод проекций градиентов яркости.

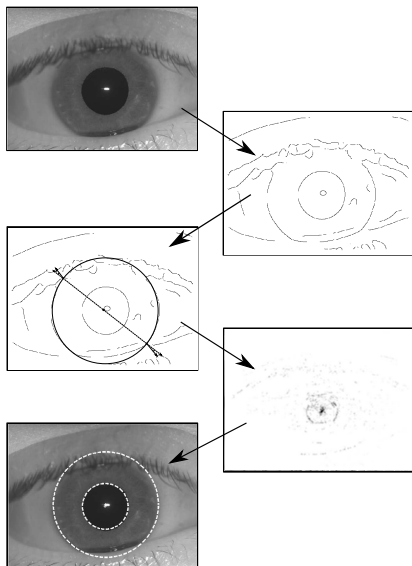
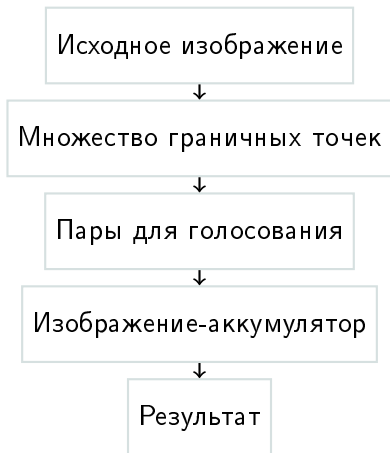
2 Морфологические методы

Метод рекурсивной эрозии.

3 Методология Хафа

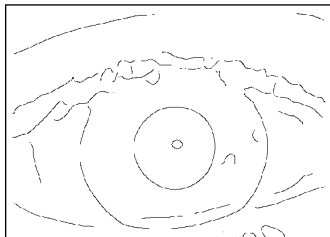
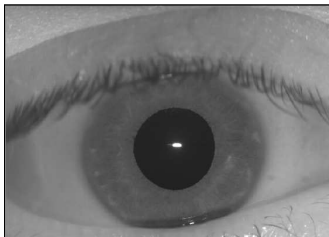
4 Методы оптимизации контуров

Граница зрачка рассматривается не как фигура какого-либо определённого узкого класса (окружность), а как кривая, задаваемая непосредственно последовательностью пикселей, что соответствует действительности.

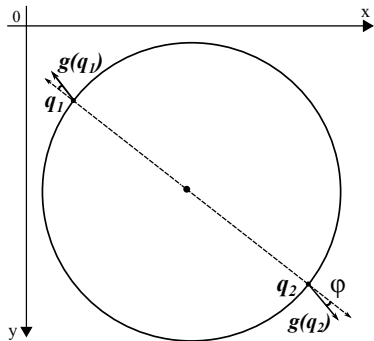


Отбор граничных точек:

Для выделения границ на изображении используется фильтр Сопну. В окрестности выделенных точек с помощью маски Собеля вычисляется величина градиента яркости $\mathbf{g}(x, y)$ и угол ϕ его наклона относительно оси абсцисс. Формируется множество граничных точек $G = \{x, y, |\mathbf{g}(x, y)|, \phi\} = \{\mathbf{L}, \mathbf{W}\}$, где \mathbf{L} - координаты граничных пикселей, \mathbf{W} - их признаки.



Идея метода:



Пусть $\mathbf{q} = (x, y)^T$ - граничная точка. Тогда условия отбора для пары точек $\{\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2\}$:

$$\|\mathbf{g}(\mathbf{q}_1)\| > T_g,$$

$$\|\mathbf{g}(\mathbf{q}_2)\| > T_g,$$

$$(\mathbf{g}(\mathbf{q}_1), \mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_2) > T_\phi,$$

$$(\mathbf{g}(\mathbf{q}_2), \mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_2) > T_\phi,$$

$$(\mathbf{g}(\mathbf{q}_1), \mathbf{g}(\mathbf{q}_2)) < 0.$$

Если $\{\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2\}$ - отобранная пара, то параметры $\mathbf{p}(\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2) = \{x_c, y_c, r\}$ гипотетических окружностей определяются как:

$$x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}, y_c = \frac{y_1 + y_2}{2},$$

$$r = \sqrt{(x_1 - x_c)^2 + (y_1 - y_c)^2}.$$

Формируется множество параметров гипотетических окружностей $P = \{x_c^i, y_c^i, r^i\}_{i=1}^M$, где M - число отобранных пар.

Поиск центра:

Множество параметров $P = \{x_c^i, y_c^i, r^i\}_{i=1}^M$ используется при голосовании в массиве-аккумуляторе Q . Голосование осуществляется центрами $\{x_c^i, y_c^i\}$ гипотетических окружностей:

$$Q_{\text{acc}}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x, y) = (x_c^i, y_c^i), \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Точка аккумулятора, получившая наибольшее количество голосов, т.е. максимум $(x_c^*, y_c^*) = \underset{(x,y)}{\operatorname{argmax}} Q_{\text{acc}}(x, y)$, отвечает наилучшему найденному положению центра окружности, соответствующей наиболее выраженной границе радужки.

Поиск центра:

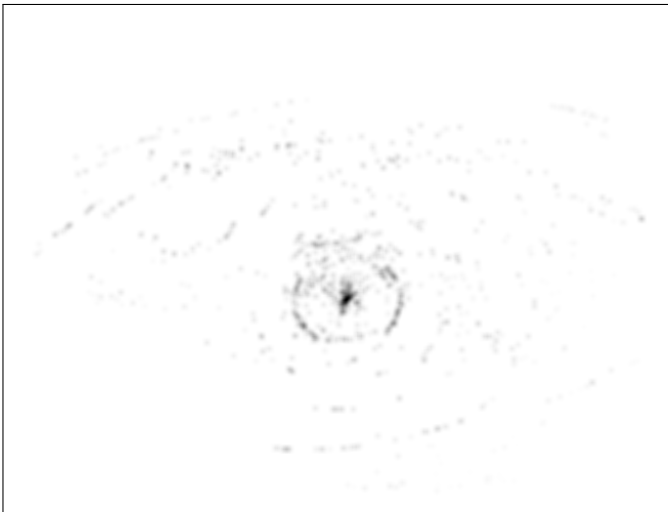
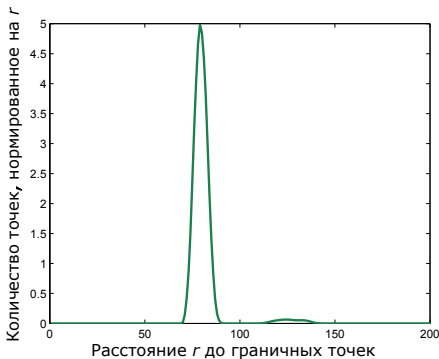


Рис.: Изображение-аккумулятор

Поиск радиуса:

Для определения радиуса окружности наиболее выраженной границы радужки, строится гистограмма расстояний от найденного положения центра (x_c^*, y_c^*) до граничных пикселей из множества $G = \{x, y, |g(x, y)|, \phi\}$. Максимум гистограммы соответствует искомому радиусу r_1^* .



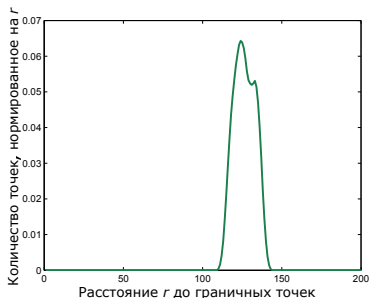
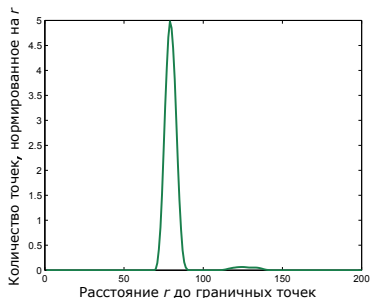
Определение второй окружности: Для поиска второй окружности используются предельные соотношения между радиусами радужной оболочки и зрачка:

$$r_p > \frac{1}{7}r_1,$$

$$r_p < \frac{3}{4}r_1.$$

$$r_p > \sqrt{(x_1 - x_p)^2 + (y_1 - y_p)^2}.$$

Определение второй окружности: Из исходной гистограммы расстояний исключаются все столбцы в интервале значений $[0; \frac{1}{7}r_1^*] \cup [\frac{3}{4}r_1^*; \frac{4}{3}r_1^*]$ и осуществляется поиск нового её максимума, соответствующего второму искомому радиусу r_2^* .



Цели:

- Проверка работы алгоритма на большом наборе реальных данных.
- Построение гистограммы величины ошибки определения для дальнейшего анализа и совершенствования алгоритма.

Формат входных данных:

Чёрно-белые изображения глаз разрешением 640×480 точек (CASIA).

Оценка качества:

- Результат работы алгоритма: $\omega = \{x_p, y_p, r_p, x_1, y_1, r_1\}$.
- Параметры экспертной разметки: $\tilde{\omega} = \{\tilde{x}_p, \tilde{y}_p, \tilde{r}_p, \tilde{x}_1, \tilde{y}_1, \tilde{r}_1\}$.
- Функционал качества определения центров:
$$S_c(\omega) = \sqrt{(x_p - \tilde{x}_p)^2 + (y_p - \tilde{y}_p)^2} + \sqrt{(x_1 - \tilde{x}_1)^2 + (y_1 - \tilde{y}_1)^2}$$
- Функционал качества определения радиусов:
$$S_r(\omega) = |r_p - \tilde{r}_p| + |r_1 - \tilde{r}_1|$$
- Итоговый функционал — сумма двух вышеописанных:

$$S(\omega) = S_c(\omega) + S_r(\omega)$$

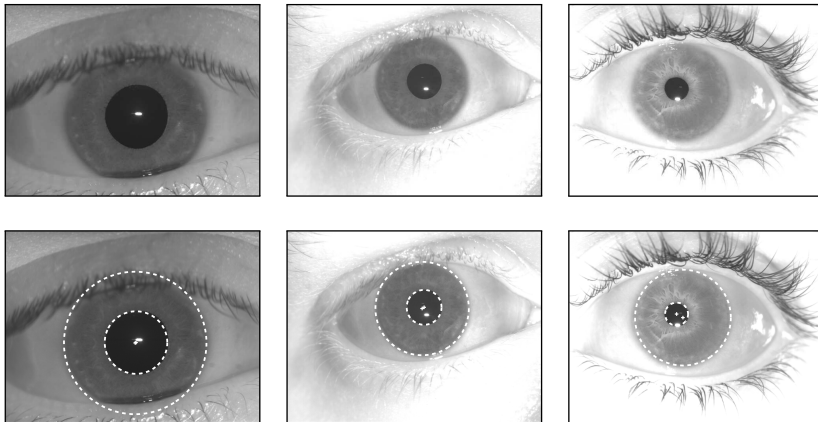
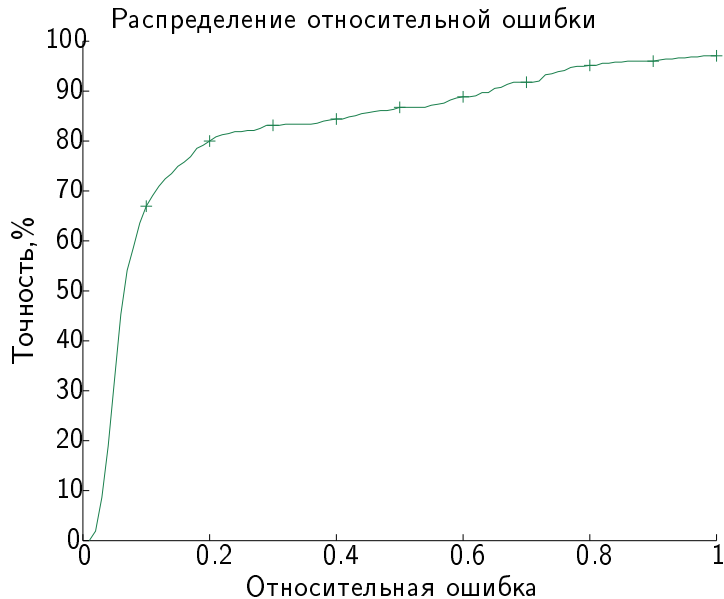
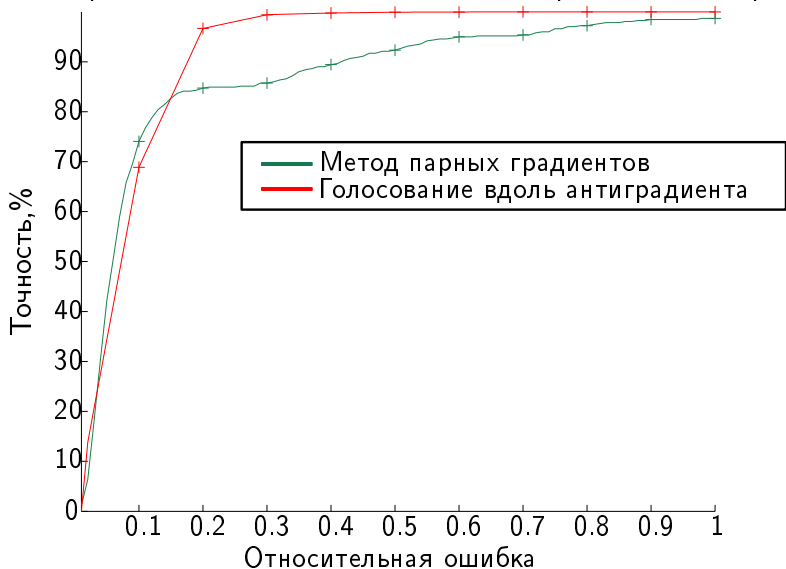


Рис.: Примеры работы алгоритма.



Распределение относительной ошибки определения центров



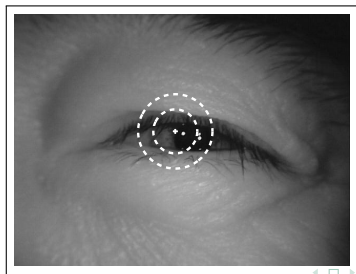
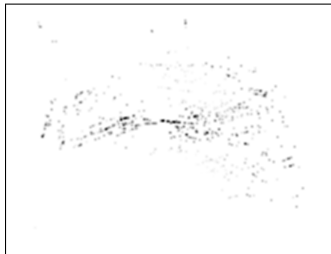
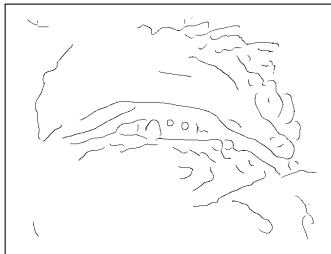
Распределение суммарной относительной ошибки, %

$e < 5\%$	$e < 10\%$	$e < 15\%$	$e < 20\%$	$e < 25\%$	$e < 30\%$
32.2	67.94	75.94	80	82.89	83.15

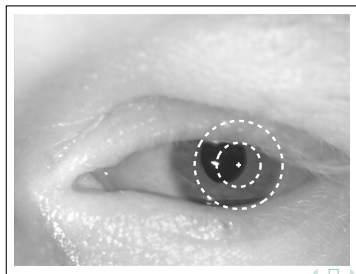
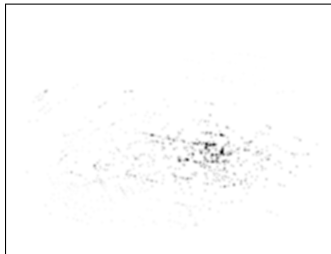
Распределение относительной ошибки определения центров, %

$e_c < 5\%$	$e_c < 10\%$	$e_c < 15\%$	$e_c < 20\%$	$e_c < 25\%$	$e_c < 30\%$
42.25	74.05	82.66	84.71	84.92	85.74

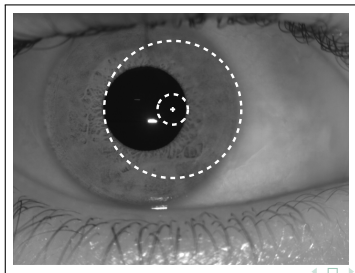
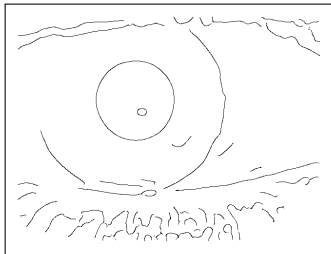
Недостаточно открытые веки



Недостаточно открытые веки



Нечёткая внешняя граница радужки



- Предложен алгоритм решения задачи сегментации радужки.
- Проведён вычислительный эксперимент, проверяющий работоспособность алгоритма.
- Определены недостатки алгоритма, вызывающие его некорректную работу на некоторых типах входных данных.

Спасибо за внимание!