

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА

Н.Н. Минакова, И.В.Петров

В статье представлена информационная система (ИС) используемая для сравнения различных методов и алгоритмов распознавания радужной оболочки глаза. В рамках данной ИС проанализированы различные подходы к локализации радужной оболочки глаза. Предложены новый метод параметризации с использованием непрерывного вейвлет преобразования, а также новый метод локализации век, используемый для улучшения качества идентификации.

Ключевые слова: идентификация личности, биометрия, радужная оболочка глаза.

Введение

Задача анализа структуры радужной оболочки глаза возникает, прежде всего, при необходимости идентификации личности в системах защиты информации. Актуальность такого анализа связана с тем, что для реализации отказа в несанкционированном доступе к информации все шире используются биометрические системы идентификации личности. Они обеспечивают надежную работу легитимным пользователям и исключают несанкционированный вход в защищаемый объект. В отличие от широко применяемых для решения подобных задач паролей, карт и т.д. биометрическая система идентификации построена на неотъемлемой, уникальной характеристике человека, данной ему от рождения: черты лица, структура глаза, параметры пальцев, ладонь, форма руки, рисунок вен на запястье или тепловая картина и т.д.

В качестве биометрического признака в системах идентификации личности по радужной оболочке глаза (РОГ) выступает ее текстура. Для каждого человека текстура радужной оболочки глаза является уникальной (левый и правый глаз также имеют различную текстуру), поэтому она является надежным биометрическим признаком (коэффициент ошибочной идентификации 1:1 200 000) [1].

Известны различные методы анализа структуры РОГ, эффективность применения которых зависит от условий реализации, в том числе и качества исходного изображения. Их использование позволяет решать задачи идентификации личности, несмотря на потерю некоторой информации о структуре радужной оболочки глаза. Однако актуальность остается задача поиска новых методов идентификации личности по структуре радужной оболочки глаза, способных наиболее полно

выделить и проанализировать ее особенности. Разработка эффективного метода применительно к заданным условиям требует возможности выполнения корректной сопоставительной оценки с применяющимися методами и последующего анализа по объективным критериям.

Была поставлена задача разработки информационной системы, позволяющей сравнивать эффективность известных и специально разработанных методов идентификации личности по изображениям РОГ, полученным при различных условиях.

Основной алгоритм распознавания личности по РОГ включает следующие этапы [1,2]:

- Локализация РОГ (поиск центра зрачка и границ РОГ);
- Нормализация локализованной РОГ;
- Параметризация нормализованного изображения и выделение бинарного кода;
- Сравнение кодов РОГ.

Разработанная информационная система анализа РОГ реализует указанные этапы. Для каждого из них были апробированы различные известные подходы. Предусмотрена возможность визуализации каждого этапа распознавания личности по РОГ путем анализа ее структуры (рисунок 1). В результате численных экспериментов были выбраны способы реализации указанных выше этапов, используемые в дальнейшем для сравнения при разработке новых методов анализа структуры РОГ.

Поиск центра зрачка реализован за счет преобразования Хафа с использованием градиента яркости изображения [1]. Идея преобразования Хафа состоит в поиске кривых, которые проходят через достаточное количество точек интереса. Параметры семейства кривых образуют фазовое пространство,

каждая точка которого соответствует некоторой кривой. Использование градиента яркости изображения позволяет уменьшить размерность пространства параметров. Для перевода непрерывного фазового пространства в дискретное в нем введена сетка, разбивающая пространство на ячейки, каждая из которых соответствует набору кривых с близкими значениями параметров. Каждой ячейке фазового пространства можно поставить в соответствие число (счетчик), указывающее количество точек интереса на изображении, принадлежащих хотя бы одной из кривых, соответствующих данной ячейке. Анализ счетчиков ячеек позволяет найти на изображении кривые, на которых лежит наибольшее количество точек интереса.

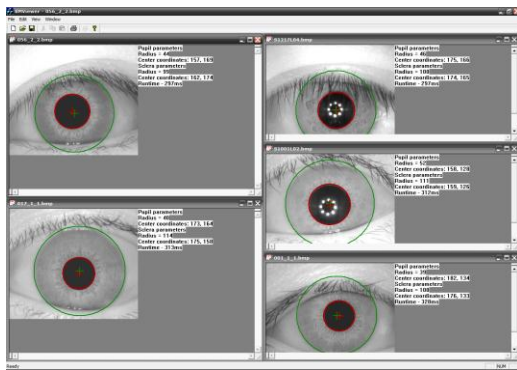


Рисунок 1 - Информационная система анализа структуры РОГ: выделение границ

В разработанной информационной системе использован также интегро-дифференциальный оператор Даугмана, в котором по параметрам кругового контура ищется максимальный скачок производной сглаженной средней интенсивности [3]. Применение интегро-дифференциального оператора Даугмана требует априорной информации о приблизительном центре зрачка, иначе вычислительная сложность метода может значительно возрасти. В предложенной программной реализации для поиска внешней границы РОГ интегрирование ведется не по всему круговому контуру, а только по части, в которой склера не затенена веками.

Для поиска границ РОГ апробировано преобразование Хафа, которое считается классическим методом выделения параметрических кривых. Однако его применение связано с определенными трудностями:

1. Для корректной работы преобразования Хафа необходимо правильно подобрать пороговое значение: например, слишком маленькое пороговое значение может резко увеличить вычислительную нагрузку,

пропустить лишние точки, не лежащие на интересующей окружности.

2. Алгоритм имеет большую вычислительную сложность, причем с возрастанием неизвестных параметров кривой, сложность алгоритма увеличивается по степенному закону.
3. Границы внешнего края радужной оболочки обычно затенены нижним и верхним веком; ресницы, попадающие на радужную оболочку или белок, имеют большой перепад яркости на краях, следовательно, большое значение градиента, что может затруднить корректное распознавание.

Этап нормализации позволяет перевести две выделенные неконцентрические окружности (внешняя и внутренняя границы РОГ) в прямоугольник, используя псевдополярную систему координат [2].

Параметризация РОГ заключается в выделении локальных характеристик изображения и уменьшении размерности вектора. С этой целью нормализованное изображение структуры подвергается специальной фильтрации, в результате которой выделяются локальные особенности структуры РОГ [2].

В предложенной информационной системе для выполнения сравнительной оценки применено несколько известных методов параметризации:

1. Параметризация с использованием преобразования Эрмита [2]. При использовании метода анализировалась только часть нормализованного изображения, которая не перекрывается веками и ресницами.
2. Разложение по вейвлетам Хаара [1]. Из нормализованного изображения структуры РОГ извлекались вертикальные, горизонтальные и диагональные компоненты и раскладывались по вейвлетам Хаара в различных масштабах.

Все реализованные методы распознавания радужной оболочки глаза были объединены в отдельный класс «CIRec» и вынесены в отдельный модуль «IRec», который можно в дальнейшем дополнять новыми методами и переносить в другие проекты. Панель выполнена таким образом, что при выполнении работ не требуется специальной подготовки (рисунок 2).

Разработанная информационная система позволяет выполнять сравнительную оценку известных и новых методов применительно к конкретному изображению, находить их сильные и слабые стороны, задавать и

РАЗДЕЛ VI. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

менять параметры идентификации (рисунок 3).

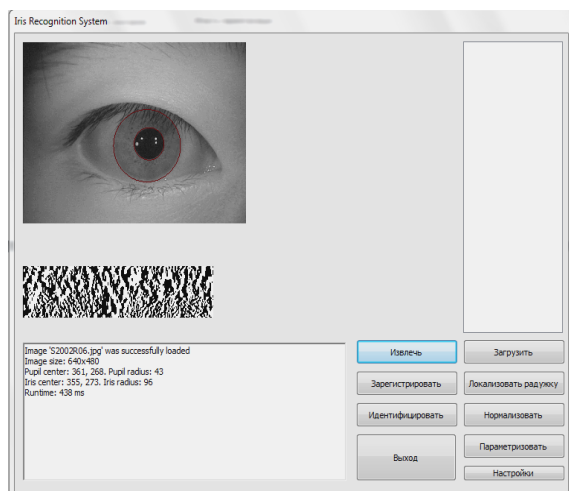


Рисунок 2 - Панель информационной системы анализа структуры РОГ

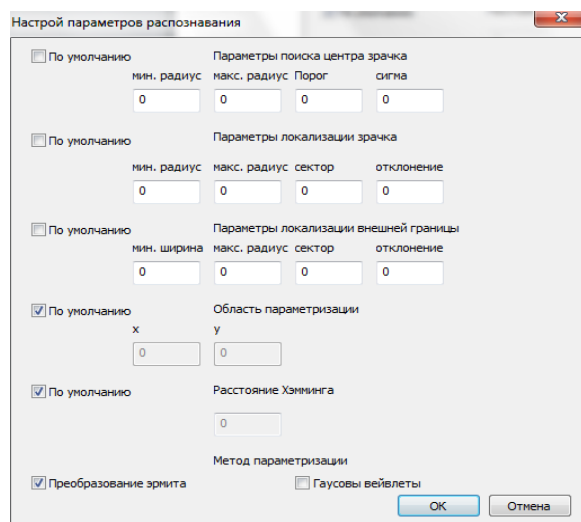


Рисунок 3 - Настройка параметров распознавания в информационной системе

В рамках разработанной информационной системы анализа структуры РОГ был апробирован метод параметризации с использованием непрерывного вейвлет преобразования, предложенный нами с целью наиболее полного извлечения структурных признаков без снижения скорости обработки данных.

В основе предложенного метода параметризации лежат следующие представления. Структуру радужной оболочки глаза можно представить в виде двумерного нестационарного сигнала. Для выделения характерных особенностей сигнала применено непрерывное вейвлет преобразование –

вейвлеты на основе производных функций Гаусса [4]. В качестве материнского вейвлета была взята вторая производная от функции Гаусса.

Для двумерного вейвлет преобразования можно записать [3]:

$$W_{\Psi}(a, b_1, b_2)f = \frac{1}{\sqrt{a}} \iint f(x, y) \Psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right) dx dy, \quad (1)$$

где $f(x, y)$ – преобразуемая функция, Ψ – базисная функция, получающаяся из материнского вейвлета в результате сдвига по параметрам $b_1, b_2 \in R$ и масштабирования по параметру $a \in R^+$.

При фиксированном масштабе a выражение (1) является сверткой функции $f(x, y)$ с вейвлет функцией Ψ масштаба a по параметрам сдвига b_1 и b_2 . Свертка в пространственной области в соответствии с теоремой о свертке эквивалента умножению в частотной области.

Тогда свертка (1) может быть представлена следующим образом:

$$W_{\Phi}(a, \omega_1, \omega_2)F = \sqrt{|a|} F(\omega_1, \omega_2) \Phi(a\omega_1, a\omega_2), \quad (2)$$

где

$$F(\omega_1, \omega_2) = \iint f(x, y) \exp[-i(\omega_1 x + \omega_2 y)] dx dy, \quad (3)$$

$$\Phi(a\omega_1, a\omega_2) = \iint \psi\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right) \exp[-i(\omega_1 x + \omega_2 y)] dx dy, \quad (4)$$

- соответственно, Фурье-образы функций сигнала и вейвлета.

Для ускорения процесса вычислений непрерывных вейвлет преобразований к вейвлет преобразованию применена теорема о свертке, что позволило заменить трудоемкую свертку простым умножением.

В таблице 1 показана зависимость числа необходимых операций от количества масштабов при традиционном и предложенном подходах к вычислению непрерывных вейвлет преобразований. Результаты апробации предложенного метода параметризации позволяют считать перспективным применение непрерывных вейвлет - преобразований в задачах идентификации структуры РОГ.

Сравнение кодов РОГ выполнено с использованием расстояния Хэмминга (меры различия объектов одинаковой размерности) [1].

Для выполнения численных экспериментов в качестве экспериментальной базы дан-

ных изображений структур РОГ была выбрана публично доступная база CASIA. Некоторые из полученных результатов апробации методов, анализируемых в рамках разработанной информационной системы, представлены в таблице 2.

Таблица 1 - Зависимость числа операций от числа масштабов (изображение размером 256х64 пикселя)

Число масштабов	Число операций (традиционная реализация непрерывного вейвлет-преобразования)	Число операций (предложенный подход)
1	268435456	138098
2	536870912	207147
3	805306368	276196
4	1073741824	345245

В процессе сравнительного анализа был отбракован проекционный метод поиска центра зрачка по минимуму интенсивности. Это можно связать с тем, что на реальных снимках РОГ кроме темного зрачка присутствуют другие темные объекты, такие как ресницы, которые сильно искажают результат. Кроме того, могут иметь место блики в области зрачка, мешающие корректному распознаванию.

Показал хорошие результаты метод градиентного преобразования Хафа: корректная локализация происходила практически для всех анализируемых изображений (точность 95-98%, табл. 2). Подбор параметров, предусмотренный в рамках разработанной информационной системы, позволил обеспечить качественную локализацию, несмотря на затрудняющие факторы: наличие век и ресниц, блики на зрачке и т.д.

Реализованные методы поиска границ РОГ (интегро-дифференциальный оператор Даугмана и преобразование Хафа) показали хорошие результаты. Предпочтение было отдано интегро-дифференциальному оператору Даугмана из-за большей скорости работы.

По результатам сравнения апробированных методов параметризации предпочтение отдано предложенному методу, основанному на использовании непрерывных вейвлет преобразований (таблица 1).

Разработанная информационная система анализа структуры РОГ содержит блоки, позволяющие реализовывать сегментацию: выделение бликов и отражений, внешней и внутренней границ РОГ, верхнего и нижнего век, ресниц. Для решения задач сегментации наряду с известными апробировались новые подходы. Предложен метод выделения век без ограничения на их различную форму.

Таблица 2 - Сравнение методов идентификации личности

База данных	CASIA Iris Image Database (version 1.0)	CASIA-IrisV3-Interval	CASIA-IrisV3-Lamp
Число испытанных снимков	100	100	100
Проекционный метод выделения центра зрачка			
Число корректных результатов	72	65	58
Точность	72%	65%	58%
Метод выделения центра зрачка основанного на градиентном преобразовании Хафа.			
Число корректных результатов	98	97	95
Точность	98%	97%	95%
Определение границ РОГ интегро-дифференциальным оператором Даугмана			
Число корректных результатов	100	99	97
Точность	100%	99%	97%
Определение границ РОГ с использованием преобразования Хафа			
Число корректных результатов	97	99	96
Точность	97%	99%	96%

Суть предложенного метода заключается в аппроксимации век параболами с использованием трех точек на границе век, которые ищутся в заранее определенных областях, определяемых по формулам:

$$P1: I(x, R\cos(x)), X_{cl} - R_1 < x < X_{cl},$$

$$P2: I(X_{cl}, y), Y_{cl} + R_2 < y < Y_{cl} + R_1,$$

$$P3: I(x, R\cos(x)), X_{cl} < x < X_{cl} + R_1,$$

РАЗДЕЛ VI. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

где (X_{c1}, Y_{c1}) - координаты центра внешней границы РОГ, R_1 - радиус внешней границы, R_2 - радиус внутренней границы.

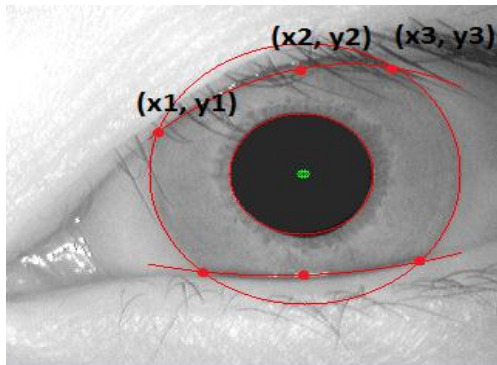


Рисунок 4 - Иллюстрация предложенного метода

По трем точкам параболы можно однозначно установить ее параметры:

$$a = \frac{y_3 - \frac{x_3(y_2 - y_1) + x_2y_1 - x_1y_2}{x_2 - x_1}}{x_3(x_3 - x_1 - x_2) + x_1x_2},$$

$$b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - a(x_1 + x_2),$$

$$c = \frac{x_2y_1 - x_1y_2}{x_2 - x_1} + ax_1x_2.$$

Для отбраковки век при сегментации РОГ применена следующая последовательность действий:

1. Определение областей поиска для трех точек;
2. Применение одномерного горизонтально-рангового фильтра;
3. Применение адаптивной пороговой фильтрации;
4. Поиск градиента в вертикальном направлении;
5. Поиск максимума градиента в определенных областях.

Для нахождения век требуется обработать $2\pi R_1 + 2(R_1 - R_2)$ пикселей, где R_1 и R_2 — радиусы внутренней и внешней границ РОГ. Полученные результаты позволяют отнести к достоинствам предлагаемого метода следующие:

- низкая вычислительная сложность алгоритма по сравнению с известными методами;

- надежное исключение век из области параметризации (алгоритм отбраковал век в 100 случаях из 100 для изображений из базы данных CASIA v1.0);
- форма век на изображении РОГ не ограничена какой-либо заданной моделью.

Вывод

Таким образом, апробация разработанной информационной системы показала, что с ее помощью можно решать следующие задачи:

- иллюстрировать каждый этап алгоритма идентификации личности по радужной оболочке глаза;
- сравнивать работу известных и специально разработанных методов идентификации личности по изображениям РОГ, полученным при различных условиях;
- настраивать параметры идентификации и параметры изображения;
- записывать бинарный код РОГ в отдельный файл;
- работать с базой данных кодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарев Г.А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека. [Текст] / Г.А. Кухарев/ – СПб.: политехника, 2001. – 240 с.
2. Дегтярева А. Методы идентификации личности по радужной оболочке глаза / А. Дегтярева, В. Вежневцев // Компьютерная графика и мультимедиа. – [Электронный ресурс] – электрон. дан. – Вып. № 2 (6). – 2004. – Режим доступа: <http://www.cgm.computergraphics.ru/content/view/61>.
3. J. Daugman, High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence, IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell., 15(11):1148–1161, 1993.
4. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам, - Ижевска: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. - 464 стр.

Минакова Н.Н., доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры прикладной физики, электроники и информационной безопасности, E-mail: minakova@asu.ru - Алтайский государственный университет); **Петров И.В.**, магистрант физико-технического факультета, E-mail: Aika20041@yandex.ru - Алтайский государственный университет