

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

Н.Н. Минакова, И.В. Петров

В статье представлен подход к разработке биометрических систем с использованием средств компьютерного моделирования. Разработана модель биометрической системы распознавания радужной оболочки глаза. Разработанная модель испытана на тестовых базах данных снимков радужной оболочки глаза. Измерены показатели эффективности биометрической системы. Представлены результаты выбора наиболее оптимальных параметров алгоритма локализации.

Ключевые слова: биометрия, распознавание радужной оболочки глаза, моделирование, информационно-измерительная система, эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационных и вычислительных технологий способствовали широкому распространению биометрических систем. Биометрические системы предназначены для аутентификации личности по ее биометрическим характеристикам. К наиболее распространенным биометрическим характеристикам, используемым в аутентификации, относятся отпечатки пальцев, изображение лица, радужную оболочку глаза (РОГ). Благодаря высокой информационной емкости, уникальности и неизменности во времени текстуру радужной оболочки глаза можно отнести к одному из наиболее надежных биометрических признаков [1–3, 7].

Биометрическая система распознавания РОГ относится к программно-аппаратному комплексу. Захват изображения РОГ производится с помощью специального сканера. Программная часть преобразует снимок глаза (в некоторых случаях может использоваться снимок лица) в специальный код, который хранится в базе данных и сравнивается с другими кодами с целью установления личности. Процесс выделения кода включает ряд этапов [3, 7]:

- Локализация РОГ на изображении глаза;
- Нормализация локализованной РОГ;
- Параметризация нормализованного изображения, получение кода.

На изображении, получаемом со сканера, положение, масштаб и поворот радужной оболочки глаза, как правило, может варьироваться в широких пределах. Кроме того, верхняя часть РОГ обычно закрыта веком. На текстуру РОГ накладываются ресницы и блики от осветительных элементов в сканере.

Все это делает задачу локализации РОГ нетривиальной. В тоже время точность локализации РОГ напрямую влияет на точность идентификации личности. На данный момент существует большое количество методов локализации, которые различными способами решают данную задачу. К наиболее распространенным можно отнести метод, изложенный в [4]. Большинство методов требуют предварительного задания граничных условий (параметров) для корректной работы. На данный момент не существует теоретически обоснованных способов задания параметров для таких методов. Выбор параметров метода локализации во многом производится эмпирически, зависит от используемой аппаратуры и условий ее применения. Удачный выбор параметров позволяет улучшить точность локализации, следовательно, точность работы системы в целом, а также скорость выполнения процедуры аутентификации.

В статье описывается информационно-измерительная система, позволяющая реализовать выбор наиболее оптимальных параметров алгоритма локализации с использованием программных средств моделирования и измерение показателей эффективности биометрических систем.

СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для проведения численных экспериментов использовался программный комплекс «среда моделирования биометрических систем». В программном комплексе реализован подход к моделированию биометрических систем (БС), при котором отдельные подсистемы БС рассматриваются как совокупности взаимосвязанных процессов. К подсистемам

БС можно отнести следующие [2, 3]:

- Подсистема выделения признаков (экстрактор);
- Подсистема сравнения (матчер);
- Подсистема принятия решений.

Каждый процесс в подсистеме имеет набор входов и выходов. Процесс преобразует данные, поступающие на вход, в выходные данные. Процессы связываются друг с другом посредством входов и выходов. Выходные данные одного процесса передаются на вход другого, связанного с ним процесса. Входные данные начальных процессов являются входными данными подсистемы. Выходные данные конечных процессов являются выходными данными процесса. Данные, которые передаются между процессами внутри подсистемы, являются промежуточными. Входные данные можно разделить на два основных типа:

- Биометрические данные;
- Параметры (настройки и т.д.).

Преобразование биометрических данных из одной формы в другую в биометрической модели является непосредственной целью процессов.

В экстракторе входными данными являются параметры необработанного биометрического образца. При идентификации по РОГ в роли необработанного биометрического образца выступает снимок глаза, полученный со сканера. Выходными данными является массив значений, формирующий код РОГ.

Комплекс позволяет измерять основные характеристики биометрических систем. Данный комплекс является продолжением работы [10].

АНАЛИЗИРУЕМЫЙ АЛГОРИТМ

Для локализации РОГ рассчитывают параметры окружностей, аппроксимирующих внутреннюю и внешнюю границу. Для этого определяется максимум производной сглаженной средней интенсивности по круговому контуру [4].

При локализации РОГ интегро-дифференциальный оператор Даугмана используется последовательно для определения внутренней и внешней границы. Для нахождения границ на изображении с максимальным значением оператора необходимо применять методы оптимизации.

В качестве метода поиска максимума используется так называемое «интегро-дифференциальное кольцо» (ItgDiff-ring) [5]. Суть метода заключается в том, что в окрестности начально-заданной точки (приблизительного центра зрачка) определяется значе-

ние интегро-дифференциального оператора. Значения сравниваются со значением оператора в начальной точке. Если значения оказываются меньше, то поиск продолжается по траектории раскручивающейся спирали. Как только на пути появляется большее значение – координаты потенциального центра изменяются на координаты точки, в которой значение оператора больше. Процедура повторяется для нового центра. Процедура заканчивается, когда во всех точках на пути поиска значение оператора оказывается меньше.

Для корректной работы метода поиска максимума необходимо предварительное определение приблизительных координат центра РОГ. Наиболее простым для поиска объектом на снимке глаза оказывается зрачок. Он, как правило, имеет хорошо выраженные границы и монотонную текстуру с низкой яркостью. На предварительном этапе координаты центра РОГ берут равными приблизительным координатам зрачка.

Для поиска приблизительного центра зрачка в данной работе используются градиентный метод Хафа и метод предварительной обработки для выделения потенциальных координат центра зрачка [6, 11]. Классическая реализация метода Хафа для поиска окружности имеет высокую вычислительную сложность, так как пространство параметров для окружности имеет три измерения. Для уменьшения размерности пространства параметров, используется градиент яркости изображения. Зная проекции градиента на ось X и Y, можно найти направление градиента в каждой точке изображения. Для окружности градиент будет направлен по нормали к касательной в каждой точке. Используя это свойство, можно исключить из пространства параметров радиус окружности, оставляя только ее центр.

МОДЕЛЬ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Для проведения численного эксперимента была создана экспериментальная модель экстрактора (рисунок 1) и матчера (рисунок 2).

Экстрактор включает в себя девять процессов. На вход экстрактор принимает биометрические данные в виде снимка глаза. Кроме того, экстрактор имеет 12 параметров:

- Зона поиска центра зрачка (x_1, y_1, x_2, y_2) ;
- Зона поиска центра РОГ (x_1, y_1, x_2, y_2) ;
- Диапазон значений радиуса зрачка (R_{min}, R_{max}) ;

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

- Диапазон значений радиуса внешней границы РОГ (R_{min}, R_{max});
- Значение сигмы в интегро-дифференциальном операторе Даугмана для поиска внутренней границы РОГ;
- Значение сигмы в интегро-дифференциальном операторе Даугмана для поиска внешней границы РОГ;
- Секторы поиска границ ($\theta_{1L}, \theta_{2L}, \theta_{1R}, \theta_{2R}$) для внутренней границы РОГ;

- Секторы поиска границ ($\theta_{1L}, \theta_{2L}, \theta_{1R}, \theta_{2R}$) для внешней границы РОГ;
- Значение сигмы для размытия по Гауссу;
- Пороговый критерий для значения градиента границы;
- Значения матрицы ядра фильтра для вычисления градиента изображения;
- Пороговое значение для яркости блика.

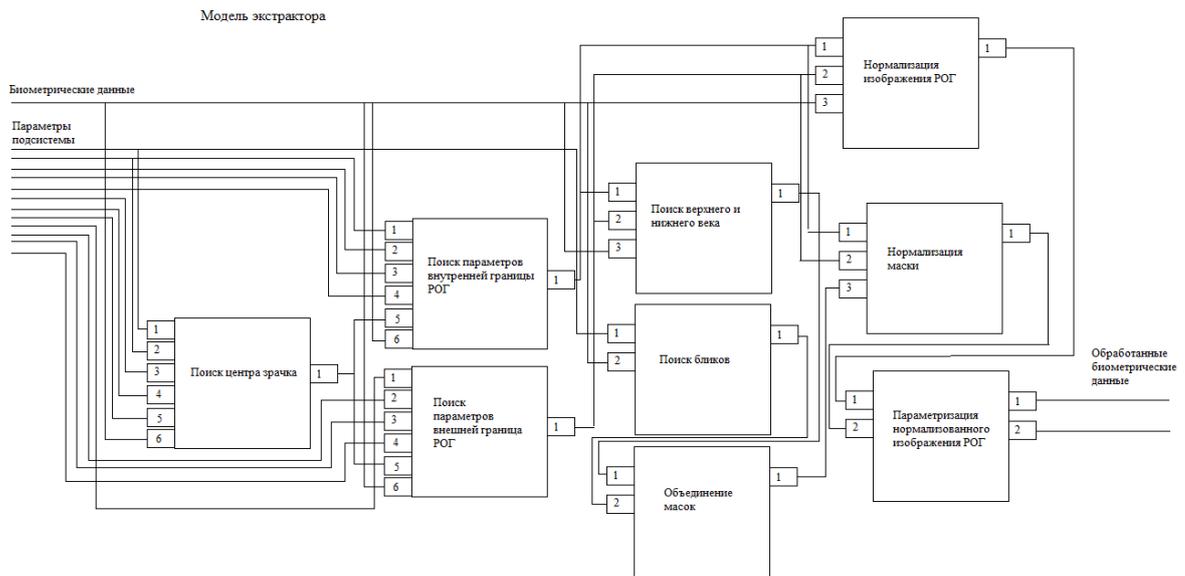


Рисунок 1 – Экспериментальная модель экстрактора

Зона поиска представляет из себя прямоугольную область на изображении с координатами левого нижнего угла (x_1, y_1) и координатами правого верхнего угла (x_2, y_2) . Зона поиска ограничивает места, где будет применяться интегро-дифференциальный оператор Даугмана. Значение сигмы влияет на силу размытия фильтра Гаусса. Секторы поиска границ включают левый и правый сектор. Левый сектор задается углами θ_{1L}, θ_{2L} , правый - сектор углами θ_{1R}, θ_{2R} . При задании секторов поиска оператор Даугмана определяется не по всему круговому контуру, а только в указанных секторах. Необходимость в задании секторов поиска возникает при поиске внешней границы РОГ. Как правило, часть РОГ оказывается закрытой веками, поэтому искать границы в закрытой области не имеет смысла. Это может привести к неправильному результату локализации.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2016

Процесс поиска центра зрачка реализует градиентный метод Хафа [6]. Поиск параметров внутренней и внешней границы РОГ выполнен с помощью метода [5].



Рисунок 2 – Модель матчера

Матчер содержит процесс, который вычисляет меру схожести, используя нормализованное расстояние Хэмминга между двумя бинарными кодами РОГ с учетом замаскированных битов. Маскировка битов использует-

ся для того, чтобы поврежденные области РОГ (перекрытие веками или бликом) не участвовали в сравнении и не вносили дополнительные ошибки.

ОПИСАНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе численного эксперимента параметры модели экстрактора варьировались с целью анализа влияния каждого параметра на характеристики системы в целом, а также для поиска оптимальных значений.

Методика испытания включала оценку точности и скорости работы системы на основе экспериментальной модели.

В качестве критериев точности были взяты показатель разделимости d' [7] и показатель равного уровня ошибок EER [1]. Показатели FAR и FRR не использовались, так как их значение зависит от выбранного порога допуска.

Для оценки характеристики точности биометрического модели производились следующие действия:

1. Вычислялся бинарный код для каждого образца из тестовой базы данных с помощью модели экспериментального экстрактора;
2. Проводилось перекрестное сравнение между всеми бинарными кодами с помощью модели экспериментального матчера [1, 8];
3. Строилась гистограмма распределения расстояния Хэмминга;
4. Вычислялся показатель разделимости d' ;
5. Вычислялся показатель EER.

Оценка скорости производилась программными средствами с использованием специальных функций из системных библиотек. Необходимо заметить, что скорость работы системы также зависит от аппаратных характеристик платформы, на которой производится эксперимент.

В качестве тестовых баз данных использовались публично доступные базы данных CASIA [9]:

- CASIA Iris Image Database (version 1.0);
- CASIA-IrisV3-Interval;
- CASIA-IrisV3-Lamp.

База данных «CASIA Iris Image Database (version 1.0)» содержит 648 образцов изображений в сером тоне, 320x280 пикселей, 91 различных субъектов. Все снимки в базе предварительно обработаны с целью удаления бликов и позиционирования РОГ к центру снимка.

База данных «CASIA-IrisV3-Interval» содержит 2913 образцов, 249 различных субъек-

тов со снимками левого и правого глаза. Снимки аналогичны снимкам из CASIA Iris Image Database (version 1.0), однако присутствуют блики.

База данных «CASIA-IrisV3-Lamp» содержит образцы различных субъектов со снимками левого и правого глаза, изображения в сером тоне с разрешением 640x480 пикселей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент 1. Варьирование зоны поиска центра зрачка и РОГ.

Проверялись характеристики системы при трех значениях параметров.

Таблица 1 – Зависимость характеристик модели от значения параметра зоны поиска центра зрачка для базы данных «CASIA Iris Image Database (version 1.0)»

Значения (x_1, y_1, x_2, y_2) параметра, %	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
45, 45, 55, 55	7	4	50
40, 40, 60, 60	8,3	0,5	60
0, 0, 100, 100	8,3	0,5	250

Анализ результатов показал, что поиск нужно проводить по ограниченной области, так как это позволяет ускорить работу системы в несколько раз. Поиск по слишком ограниченной области приводит к значительному падению точности работы системы. Это особенно заметно при эксперименте на базе данных «CASIA-IrisV3-Lamp». Полученные низкие показатели точности объясняются тем, что в большинстве снимков из данной базы данных глаз значительно смещен от центра изображения.

Таблица 2 – Зависимость характеристик модели от значения параметра зоны поиска центра зрачка для базы данных «CASIA-IrisV3-Interval»

Значения (x_1, y_1, x_2, y_2) параметра, %	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
45, 45, 55, 55	5	10	52
40, 40, 60, 60	7,8	0,7	65
0, 0, 100, 100	8,4	0,5	256

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЛИЧНОСТИ ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА**

Таблица 3 – Зависимость характеристик модели от значения параметра зоны поиска центра зрачка для базы данных «CASIA-IrisV3-Lamp»

Значения (x_1, y_1, x_2, y_2) параметра, %	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
45, 45, 55, 55	0,5	46	84
40, 40, 60, 60	7,5	0,8	101
0, 0, 100, 100	8,2	0,5	565

В ходе эксперимента было принято решение отделить определение параметра зоны поиска для процессов предварительного поиска центра и поиска внутренней границы РОГ. Зона поиска в процессе локализации внутренней границы РОГ была привязана к значению координат приблизительного центра зрачка так, что:

$$\begin{aligned} X_1' &= x_0 - x_1 \\ Y_1' &= y_0 - y_1 \\ X_2' &= x_0 + x_2 \\ Y_2' &= y_0 + y_2 \end{aligned}$$

где, X_1', Y_1', X_2', Y_2' – вычисляемое значение параметров, (x_0, y_0) – координат приблизительного центра зрачка полученные в предыдущем процессе, (x_1, y_1, x_2, y_2) – задаваемые параметры.

Таким образом, данный параметр приобрел смысл окрестности поиска вокруг приблизительного центра зрачка. Такое изменение позволило улучшить характеристики модели.

Эксперимент 2. Варьирование значений радиуса внутренней и внешней границы РОГ.

В ходе эксперимента на диапазоны радиусов внешней и внутренней границы РОГ были наложены следующие ограничения:

$$R_{i,max} < H/2,$$

где $R_{i,max}$ – максимальный радиус внешней границы, H – высота изображения.

Данное ограничение связано с тем, что при невыполнении такого условия будет потеряна часть информации РОГ, кроме того, границы РОГ будут обрезаны.

$$R_{p,max} > R_{i,min}.$$

Это естественное ограничения, так как максимальный радиус внутренней границы РОГ по определению меньше, чем минимальный радиус внешней границы.

Значения радиуса внутренней границы
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2016

варьировались по трем различным значениям (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимость характеристик модели от значения параметра диапазона радиуса внутренней границы для базы данных «CASIA-IrisV3-Lamp»

Значение (R_{min}, R_{max}) параметра, %	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
0,50	0,5	46	84
10, 30	7,5	0,8	101
10, 40	8,2	0,5	565

Эксперимент 3. Варьирование сектора поиска границ для внутренней и внешней границы РОГ.

В ходе эксперимента было установлено (таблицы 5–7), что для поиска внутренней границы лучше не использовать сектор поиска, а искать по всему круговому контуру ($\theta_{1L} = 0, \theta_{2L} = 180, \theta_{1R} = 180, \theta_{2R} = 360$).

Таблица 5 – Зависимость характеристик модели от значения параметра сектора поиска внутренней границы для базы данных «CASIA Iris Image Database (version 1.0)»

Значение ($\theta_{1L}, \theta_{2L}, \theta_{1R}, \theta_{2R}$) параметра, градусы	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
0, 180, 180, 360	8,1	0,6	140
30, 150, 210, 330	7,4	0,8	107
30, 120, 240, 330	4,1	3	80

Таблица 6 – Зависимость характеристик модели от значения сектора поиска внутренней границы для базы данных «CASIA-IrisV3-Interval»

Значение ($\theta_{1L}, \theta_{2L}, \theta_{1R}, \theta_{2R}$) параметра, градусы	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы мс
0, 180, 180, 360	8, 1	0,6	140
30, 150, 210, 330	7,4	0,8	107
30, 120, 240, 330	4,1	3	80

Эксперимент 4. Варьирование сигмы для размытия по Гауссу.

В ходе эксперимента было выявлено,

что наиболее оптимальным оказалось значение сигмы в диапазоне от 2 до 3 (независимо от тестовой базы данных).

Таблица 7 – Зависимость характеристик модели от значения параметра сектора поиска внутренней границы для базы данных «CASIA-IrisV3-Lamp»

Значение $(\theta_{1L}, \theta_{2L}, \theta_{1R}, \theta_{2R})$ параметра, градусы	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
0, 180, 180, 360	8, 1	0,6	140
30, 150, 210, 330	7,4	0,8	107
30, 120, 240, 330	4,1	3	80

Эксперимент 5. Значения матрицы ядра фильтра для вычисления градиента изображения.

В ходе эксперимента анализировалось влияние выбора матрицы ядра фильтра для нахождения границ изображения (таблица 8).

Таблица 8 – Зависимость характеристик модели от выбора ядра фильтра для поиска границ изображения

Ядро фильтра для поиска границ	Показатель разделимости d'	EER, %	Скорость работы, мс
CASIA Iris Image Database (version 1.0)			
Собеля	8	0,6	97
Первита	8,2	0,5	98
CASIA-IrisV3-Interval			
Собеля	7,9	0,7	102
Первита	8	0,6	101
CASIA-IrisV3-Lamp			
Собеля	7,6	0,8	160
Первита	7,7	0,7	162

Были определены характеристики системы при использовании ядра Собеля и Первита при нахождении границ (таблица 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана и испытана модель экстрактора (подсистемы выделения признаков). Информационная система использована для измерения показателей эффективности, таких как показатель равного уровня ошибок, показатель разделимости и скорость исполне-

ния. Показано, как влияет выбор параметров для процессов локализации на систему в целом. Установлено, что для различных баз данных оптимальные значения параметров различаются. Для таких параметров как зона поиска выбора оптимального параметра необходимо находить компромисс между скоростью работы и точностью системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hannani, A. El. Guide to Biometric Reference Systems and Performance Evaluation / A. El Hannani, D. Petrovska-Delacrétaz, B. Fauve, A. Mayoue, J. Mason // Springer Science & Business Media. – 2009. – P. 167–211.
 - Savvides, Marios. Handbook of Biometrics / Marios Savvides, Jingu Heo // S.W.P. – 2008. – P. 43–70.
 - Bowyer, K. W. Handbook of Iris Recognition / K. W. Bowyer, K. P. Hollingsworth, P. J. Flynn // Heidelberg: Springer. – 2013. – P. 2008–2010.
 - Daugman, J. G. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence / J. G. Daugman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1993. – № 11 (15). – P. 1148–1161.
 - Tan, T. Efficient and robust segmentation of noisy iris images for non-cooperative iris recognition / T. Tan, Z. He, Z. Sun. // Image and Vision Computing. – 2010. – № 2 (28). – P. 223–230.
 - Tisse, C. Person identification technique using human iris recognition Advanced System Technology / C. Tisse // 15th International Conference on Vision Interface. – 1992. – P. 1–6.
 - Daugman, J. G. How iris recognition works / J. G. Daugman // Circuits and Systems for Video Technology: IEEE Transactions. – 2004. – № 1 (14). – P. 21–30.
 - Jain, A. Biometric identification / A. Jain, L. Hong, S. Pankanti. // Communications of the ACM. – 2000. – № 2 (43). – P. 90–98.
 - CASIA. Iris images database [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=4>.
 - Минакова, Н. Н. Информационная система анализа структуры радужной оболочки глаза / Н. Н. Минакова, И. В. Петров // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 230–234.
 - Minacova, N. Method of preliminary localization of the iris in biometric access control systems / N. Minacova, I. Petrov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – № 1 (93). – P. 12056.
- Минакова Наталья Николаевна**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной физики, электроники и информационной безопасности Алтайского государственного университета (Барнаул, Россия), e-mail: minakova@asu.ru.
- Петров Иван Васильевич**, аспирант физико-технического факультета Алтайского государственного университета (Барнаул, Россия), e-mail: PetrovIV90@gmail.com.