

## Подготовка изображений отпечатков пальцев к хранению в базе данных дактилоскопических изображений

Е.И. Козлова, В.Н. Сивенкова, А.И. Головатый, В.А. Чуйко

В работе представлены результаты решения задачи подготовки изображений для организации их хранения в базах данных. В качестве объекта исследования рассматривались дактилоскопические изображения. Предложен полный цикл операций для подготовки к хранению отпечатков пальцев в базе данных и их последующей идентификации.

**Ключевые слова:** изображение, признак, особая точка, преобразование, база данных.

The paper presents the results of solving the problem of preparing images for organizing their storage in databases. Fingerprint images were considered as an object of study. A full cycle of operations is proposed to prepare fingerprints' images for the storage in the database and their further identification.

**Keywords:** image, feature, singular point, transformation, database.

Защита любого объекта включает в себя много этапов. Одним из важнейших является система контроля и управления доступом (СКУД) на объект. Для верификации и идентификации используются биометрические системы. В любой биометрической системе должна быть база данных, в которой хранится необходимый набор биометрических характеристик. При решении задачи идентификации роль системы состоит в том, чтобы сравнить входные данные с записями в базе данных и проверить, есть ли совпадение. Таким образом, определяется присутствие характеристик конкретного человека в базе данных. В задаче аутентификации алгоритм проверяет, является ли человек тем, за кого себя выдает. Для сравнения любых биометрических характеристик необходимо представить их в определенном виде. Например, невозможно напрямую сравнивать изображения двух отпечатков пальца, так как приложить палец к сканеру в двух одинаковых положениях в разных случаях практически невозможно. Таким образом, возникает задача сравнения немного отличающихся друг от друга изображений одного и того же объекта. Решение этой задачи можно разделить на две части: во-первых, представить характерные черты отпечатка в воспроизводимой и стабильной форме; во-вторых, решить задачу сравнения отпечатков, чтобы объект можно было распознать с достаточной точностью. Решение двух частей этой задачи лежат в основе любой биометрической системы и сейчас очень активно исследуются. В данной работе рассматривается первая задача – представление характерных черт отпечатка пальца в воспроизводимой и стабильной форме [1].

Характерные черты всех отпечатков пальцев имеют два уровня признаков – глобальные и локальные.

Глобальные признаки – это зрительно видимые признаки, которые присущи всем отпечаткам пальцев, и включают в себя основные характеристики отпечатков. К таким характеристикам можно отнести: область, представляющую интерес при идентификации отпечатков пальцев; центр отпечатка пальца, так называемое ядро, вокруг которого формируются папиллярные линии; точки разветвления или соединения папиллярных линий и количество папиллярных линий [2].

Локальные признаки, которые называют минуциями, являются более мелкими, но в то же время неповторимыми для поверхностей различных пальцев. Папиллярные линии не являются прямыми, они образуют на поверхности пальцев рук изломы и изгибы, соединения и разрывы. В этих местах образуются различные узоры папиллярных линий. В современной дактилоскопии узоры отпечатков пальцев подразделяют на типы по виду рисунков папиллярных линий: дуговые, петлевые, завитковые. Можно классифицировать и большее количество типов с учетом направлений загибов или расположения петель относительно направления поверхно-

сти пальца. Количество и расположение узоров каждого типа являются неповторимыми и уникальными для поверхности каждого пальца. Точки нахождения узоров папиллярных линий могут быть определены в отпечатке пальца как особые, по которым можно с достаточно высокой точностью идентифицировать принадлежность отпечатка тому или иному человеку.

При получении изображения отпечатка пальца на качество изображения влияет множество различных факторов, таких как шрамы на пальце, возраст человека, паразитические вещества (вода, жир, грязь и т. д.), температура (расширение, сжатие), влажность. Эти факторы снижают качество получаемого изображения и увеличивают количество ошибок. Следовательно, для надежного и правильного распознавания отпечатка пальца входное изображение должно быть максимально четким, что достигается на этапе предварительной обработки. Данный этап включает в себя ряд математических операций: преобразование в оттенки серого, нормализация, бинаризация, получение карты направлений, выделение зоны интереса, скелетизация, выделение особых точек. Для каждой из этих операций в ходе работы были разработаны алгоритмы на языке Matlab. Далее рассмотрим подробнее каждый из этапов.

*Преобразование в оттенки серого.* Данное преобразование из цветного в серое позволяет уменьшить объем памяти, занимаемый изображением. В данной работе для сбора отпечатков пальцев с целью их последующей обработки и хранения в базе данных использовался оптический сканер BioMini Plus 2. Его основные характеристики: интерфейс USB, работает при прямом солнечном свете до 100000 лк, разрешение 500 dpi, область считывания 16 × 18 мм, диапазон рабочих температур -10...+50 °С [3]. Настольные сканеры BioMini Plus 2 относятся к биометрическим устройствам Suprema нового поколения и оснащены усовершенствованным оптическим сенсором. Изображения отпечатков пальцев имеют высокое качество и представлены сразу в оттенках серого, поэтому необходимости в применении описанного выше преобразования не возникло (рисунок 1а).

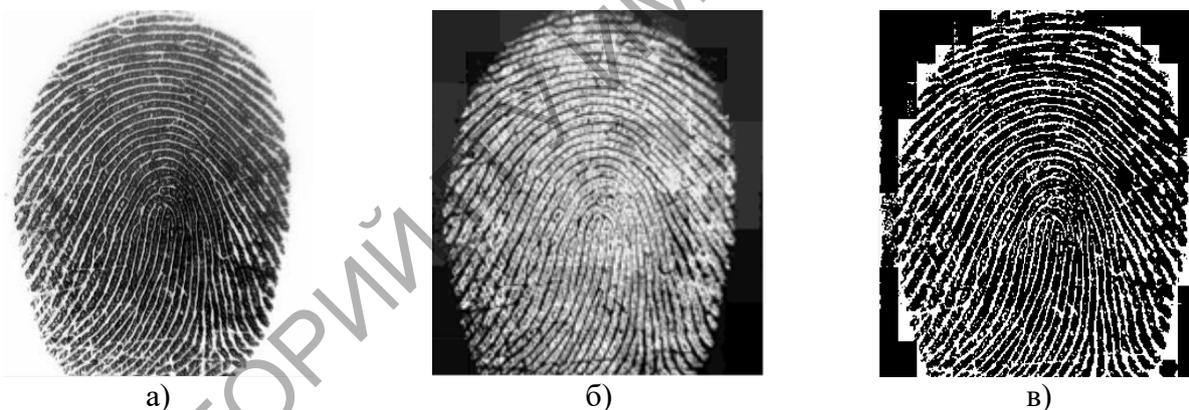


Рисунок 1 – Изображения отпечатка пальца на разных этапах получения и обработки  
а – изображение, полученное со сканера, б – изображение после нормализации,  
в – бинаризованное изображение

*Нормализация.* Операция нормализации позволяет увеличить контрастность полученного со сканера изображения с помощью определенного изменения уровней серого [4]. При проведении этой операции не искажается полезная информация, которая содержится в изображении отпечатка пальца (рисунок 1б).

*Бинаризация.* Зашумленные области и края изображения отпечатка пальца не являются информативными, их использование может привести к ложным результатам. Для удаления этих областей применяются операции бинаризации и выделения зоны интереса. Операция выделения зоны интереса направлена также на центрирование полезной информации, которая будет использоваться на этапе сравнения. Информация, которую необходимо извлечь из отпечатка, является двоичной: выступы папиллярных линий и впадины. Поэтому, на данном этапе происходит преобразование изображения из 256-уровневого в двухуровневое, которое несет в себе ту же информацию. Обычно пикселю папиллярной линии присваивается значе-

ние «1», а пикселю впадины значение «0» [4]. Таким образом, двоичное изображение создается путем «закрашивания» каждого пикселя в белый или черный цвет в зависимости от метки пикселя (черный для впадин, белый для выступов папиллярных линий) (рисунок 1в).

*Получение карты направлений.* Карта направлений показывает направления гребней папиллярных линий в различных точках отпечатка пальца. Процесс получения такой карты состоит из двух этапов: оценка ориентации и сглаживание карты направлений. На этапе оценки ориентации определяется ориентация каждого пикселя папиллярной линии, содержащегося в отпечатке пальца. На этом этапе в работе использовался метод, основанный на наименьшем квадратичном приближении. В том случае, когда входное изображение слишком зашумленное, полученные результаты окажутся ложными. Для устранения влияния шумов применяется фильтр нижних частот к карте направлений.

*Выделение зоны интереса.* После получения карты направлений можно получить изображение зоны интереса, в которой черным цветом выделены границы изображения, белым – края зоны интереса отпечатка пальца, а внутри – сама зона интереса (рисунок 1в).

*Скелетизация.* Процедура выделения скелета представляет собой утончение папиллярных линий для устранения лишних пикселей до того момента, пока линии не будут иметь ширину равную одному пикселю (рисунок 2а).

Для выполнения этой процедуры использовался интерактивный параллельный алгоритм прореживания. При каждом сканировании полного изображения отпечатка пальца алгоритм утончения областей отмечает избыточные пиксели в каждом маленьком окне изображения ( $3 \times 3$ ) и удаляет все отмеченные пиксели после нескольких сканирований.

*Выделение особых точек.* Существует ряд методов выделения особых точек. Особые точки можно выделять как с бинаризованных скелетизированных изображений, так и с бинаризованных изображений, в которых не выделялся скелет изображения. Существуют методы выделения особых точек из изображений отпечатков пальцев в оттенках серого. В данной работе использовался метод выделения особых точек из бинаризованного скелетизированного изображения, основанный на количестве пересечений (Crossing Number Based) [5]. Особые точки извлекаются путем сканирования локальной окрестности каждого пикселя гребня папиллярной линии окном  $3 \times 3$ . Определяется количество перепадов уровней между соседними наружными пикселями окна. Значения количества перепадов уровней соответствуют определённому типу особых точек. Поэтому после определения количества пересечений каждый пиксель может быть классифицирован на соответствие нахождения в этом месте особой точки и типу этой точки. Каждая особая точка представляется вектором, описываемым двумя координатами и направлением гребня папиллярной линии для этой точки. Предварительные оценки показали, что объем памяти, необходимый для хранения характеристик отпечатка пальца в таком виде, значительно уменьшается по сравнению с хранением исходного изображения.

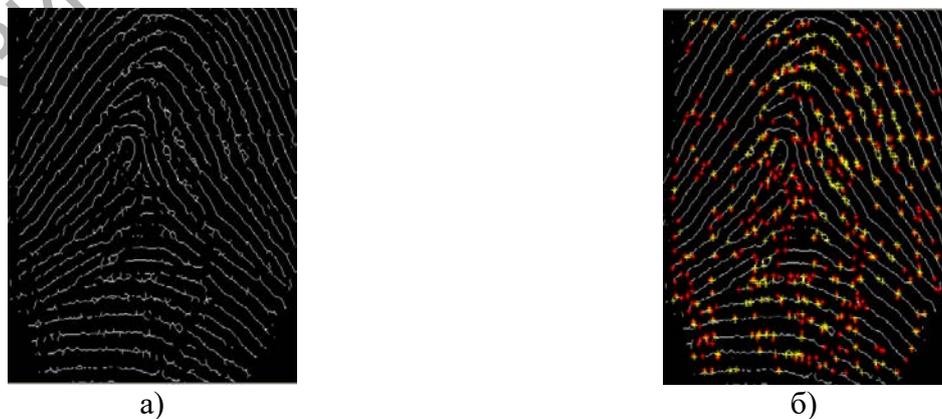


Рисунок 2 –Изображения отпечатка пальца после процедуры скелетизации и с выделенными особыми точками: а) – вид отпечатка пальца после процедуры скелетизации, б) – с выделенными особыми точками

*Преобразование абсолютных параметров особых точек в относительные.* Если в базе данных хранить координаты особых точек, полученных в пункте выше, то чтобы определить находится ли отпечаток в базе данных, необходимо на вход системы подавать изображение отпечатка пальца, абсолютно совпадающее с тем, что хранится в базе данных. Такая система не будет иметь практического применения, т. к. невозможно абсолютно одинаково приложить палец к сканеру, в любом случае будет какое-то смещение или поворот относительно изображения, хранящегося в базе данных.

Для того, чтобы не хранить в базе данных по несколько десятков образцов отпечатков одного и то же пальца, необходимо провести некоторые преобразования. Скорректировать направление изображения отпечатка можно рассмотрев структуру области ядра (центральной части отпечатка), учитывая структурные особенности направления папиллярных линий снизу и сверху этой области. Однако, результат поворота изображения в этом случае не будет полностью однозначным, так как не будет учтен наклон и сдвиг пальца при получении его отпечатка. Более точный результат дает преобразование абсолютных параметров, полученное в результате выделения особых точек отпечатка пальца, в относительные параметры и дальнейшее хранение относительных параметров. Данное преобразование осуществляется для каждой обнаруженной минуции относительно всех других. Для такого преобразования разрабатывается алгоритм, в результате выполнения которого получается матрица размерностью ( $\mathbf{n} \times \mathbf{n}$ ), где координатами матрицы (от  $\mathbf{0}$  до  $\mathbf{n}$ ) являются номера выделенных особых точек. Элементы матрицы содержат информацию о взаимном расположении особых точек. Каждый элемент является трехмерным вектором, координатами которого будут: расстояние между особыми точками  $\mathbf{i}$  и  $\mathbf{j}$  –  $r_{ij}$ ; угол между собственным направлением точки  $\mathbf{i}$  и направлением вектора  $\vec{\mathbf{i}\mathbf{j}}$  –  $\alpha_{ij}$ ; а также угол между собственными направлениями особых точек  $\mathbf{i}$  и  $\mathbf{j}$  –  $\beta_{ij}$  (рисунок 3). Эти характеристики отпечатка пальца являются сравнительно независимыми относительно поворота картины отпечатка и степени прижатия пальца при получении отпечатка.

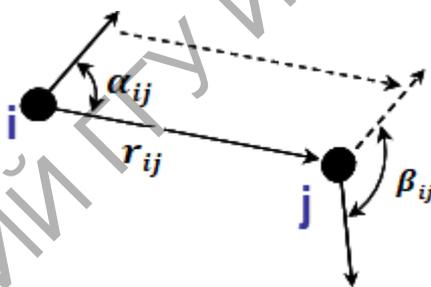


Рисунок 3 – Взаимное расположение точек  $\mathbf{i}$  и  $\mathbf{j}$

Надо отметить, что в результате обработки изображений отпечатков и подготовки данных для хранения значительно уменьшается необходимый объем памяти. Если исходные изображения отпечатков пальцев, полученные со сканера, занимают от 121 кбайт до 144 кбайт, то для хранения массива, содержащего характеристики 50 особых точек, необходимое количество памяти находится в районе 1200 байт.

*Сравнение отпечатка, полученного со сканера, с отпечатком из базы данных.* Для того, чтобы устранить малые отклонения в характеристиках двух отпечатков одного и того же пальца, необходимо использовать систему допусков относительных характеристик. Для этого задаются допустимые отклонения относительных характеристик особых точек отпечатка пальца:  $\Delta r_{ij}, \Delta \alpha_{ij}, \Delta \beta_{ij}$ . Тогда особая точка отпечатков, полученных со сканера и хранящихся в базе, считается совпавшей в том случае, если отклонения относительных характеристик этой особой точки относительно других точек не превышают заданные.

Чтобы вычислить степень сходства двух отпечатков, необходимо сравнить наборы минуций на обоих отпечатках. Отпечатки считаются схожими, если количество совпавших точек превышает определенный порог сходства. В результате выполнения данного алгоритма создается список отпечатков из базы данных, структурное представление которых совпадает

с исследуемым отпечатком или схоже с ним на определенное количество процентов. Каждый элемент будет состоять из следующих полей: имя отпечатка, количество совпавших минуций, степень сходства отпечатков в процентах.

В соответствии с вышесказанным для хранения данных об изображениях отпечатков пальцев необходимо разработать базу данных. Для этого формируется таблица со следующими полями: «Идентификатор отпечатка» (тип int), «Вектор особых точек» (тип double [ ]). Каждая запись должна соответствовать одному отпечатку. Каждая запись в поле «Вектор особых точек» хранит вектор следующего вида:  $T_i = \{r_{i1}, \alpha_{i1}, \beta_{i1}, r_{i2}, \alpha_{i2}, \beta_{i2}, \dots, r_{iN}, \alpha_{iN}, \beta_{iN}\}$ , где  $r_{i1}, \alpha_{i1}, \beta_{i1}$  – относительные параметры особых точек, описанные выше, N – целое число в интервале от 30 до 50. Одно из полей является массивом, поэтому для реализации такой базы данных нельзя использовать SQL базы данных, так как будет нарушена нормализация данных. Для реализации хранилища таких данных необходимо использовать NoSQL базы данных, например такую документоориентированную систему управления базами данных, не требующую описания схемы таблиц, как MongoDB [6].

**Заключение.** В представленной работе предложен полный цикл операций для подготовки к хранению отпечатков пальцев в базе данных и их идентификации. Во-первых, в работе предложен алгоритм предварительной обработки изображений отпечатков пальцев, полученных со сканера. Во-вторых, представлен алгоритм выделения особых точек и преобразования их параметров к виду, пригодному для хранения в базе данных дактилоскопических изображений. И наконец, предложен алгоритм сравнения отпечатка, полученного со сканера с отпечатком, хранящимся в базе данных.

### Литература

1. Задорожный, В. В. Идентификация по отпечаткам пальцев. Часть 1 [Электронный ресурс] / В. В. Задорожный // PC Magazine/Russian Edition. – 2004. – № 1. – Режим доступа : <http://bre.ru/security/20994.html>. – Дата доступа : 20.01.2022.
2. Ларина, Е. А. Сканирующие методы получения отпечатков пальцев / Е. А. Ларина, А. А. Глушко // Молодой ученый. – 2016. – № 27 (131). – С. 97–107.
3. Характеристики сканера BioMini Plus 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://supremainc.ru/media/support/2018-07-23/files/BioMini%20Plus%202.pdf>. – Дата доступа : 20.01.2022.
4. Farah, Dhib Tatar. Preprocessing algorithm for digital fingerprint image / Farah Dhib Tatar, M. Machhout // International Journal of Computational Science and Information Technology (IJCSITY). – 2018. – Vol. 6, № 1/2/3. – DOI: 10.5121/ijccity.2018.6301.
5. Bansal, R. Minutiae extraction from fingerprint images / R. Bansal, P. Sehgal, Punam Bedi // International Journal of Computer Science Issues. – 2011. – Vol. 8, issue 5, № 3. – P. 74–85.
6. Phaltankar, A. MongoDB fundamentals : a hands-on guide to using MongoDB and atlas in the real world / A. Phaltankar, J. Ahsan, M. Harrison, L. Nedov. – Birmingham, United Kingdom : Packt Publishing, 2020. – 748 p.