

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ДАКТИЛОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## MODERN METHODS AND ALGORITHMS OF FINGERPRINT IMAGE ANALYSIS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY

**A. Rusakov**  
**S. Koryagin**  
**E. Selivanova**  
**A. Yakunina**  
**E. Prusova**  
**S. Tepsikoev**

*Summary:* The article provides an overview of modern methods of fingerprint image analysis from the perspective of information security. A number of heuristic methods and algorithms are proposed, allowing for better processing of fingerprint images, while taking into account the human factor in the form of damage to the image and the sample under study. As a result, algorithmic software was created that can more effectively solve the problem of analyzing and recognizing fingerprint images with visible damage.

*Keywords:* fingerprint image analysis, image processing, fingerprint scanner, information security.

**Русаков Алексей Михайлович**

старший преподаватель,  
Российский Технологический Университет МИРЭА  
rusal@bk.ru

**Корягин Сергей Викторович**

кандидат технических наук, доцент,  
Российский Технологический Университет МИРЭА  
dongenealog2003@mail.ru

**Селиванова Екатерина Алексеевна**

РТУ МИРЭА  
Kate11042001@yandex.ru

**Якунина Александра Андреевна**

РТУ МИРЭА  
yakunina.19@yandex.ru

**Прусова Елизавета Алексеевна**

РТУ МИРЭА  
prussia01@yandex.ru

**Тепсикоев Солтан Артурович**

РТУ МИРЭА  
soltantepsikoev@mail.ru

*Аннотация:* В статье приводится обзор современных методов анализа изображений отпечатков пальцев с позиции информационной безопасности. Предложен ряд эвристических методов и алгоритмов позволяющих более качественно обрабатывать изображения отпечатков пальцев, учитывая при этом человеческий фактор в виде повреждения изображения и исследуемого образца. В результате было создано алгоритмическое программное обеспечение, способное более эффективно решать проблему анализа и распознавания изображений отпечатков пальцев с видимыми повреждениями.

*Ключевые слова:* Анализ дактилоскопических изображений, обработка изображений, сканер отпечатков пальцев, информационная безопасность.

### Введение

Сегодня персонально идентифицируемые данные, то есть пароли и специальные удостоверения личности, являются повседневной необходимостью. Например, пароль требуется для снятия денег в банкомате, также необходимо разрешение на доступ к электронной почте или компьютерным данным. В последнее время во всем мире наблюдается огромный рост международной террористической активности. В результате безопасность приобретает все большее значение.

Однако для личного пользования необходимо хранить большое количество комбинаций букв и цифр. Чтобы преодолеть это неудобство для пользователя, компьютерные компании были вынуждены разработать и внедрить биометрические методы управления. Био-

метрия — это наука об изучении различных параметров человеческого тела (отпечатки пальцев, особенности голоса, зрачки и т.д.), которая облегчила жизнь людей. С помощью этих методов уникальные данные человека (палец, голос, зрачок глаза) всегда находятся под рукой, не позволяя ему забыть очень важную информацию (пароли, коды) [1,2].

Верообразные линии кожной проекции отпечатка пальца разделены множеством бороздок, образующих декоративные узоры с индивидуально неповторимыми характеристиками (завитки, петли, дуги). Это обеспечивает высочайшую надежность при идентификации личности. Для сравнения, коэффициент ошибок и, как следствие, отказ в доступе пользователю составляет около 3, а коэффициент ошибок — менее одного на миллион. Преимущества технологии распознавания отпечатков

пальцев для пользователя заключаются в простоте, легкости использования и надежности.

Исследование также показывает, что идентификация по отпечаткам пальцев имеет неоспоримые преимущества перед другими биометрическими методами. Вероятность ошибки при идентификации пользователя гораздо ниже по сравнению с другими биометрическими методами.

Еще одним важным моментом является то, что устройства распознавания отпечатков пальцев компактны и занимают очень мало места в клавиатуре или механизме.

### Обзор существующих решений

Для распознавания и всех других приложений используется только нормальная форма руки, т.е. размер, форма и особенности части запястья (показана на средней складке косточки пальцев), включая расположение капилляров.

Несмотря на внешний вид, все сканеры делятся на несколько типов [3,4]:

#### 1. Оптический

Этот тип датчика работает за счет наличия светочувствительной ПЗС-матрицы и нескольких небольших светоизлучателей, которые освещают поверхность пальца. Затем свет отражается обратно в колебательном режиме, и интенсивность луча меняется в зависимости от того, попадает ли луч в гребень или долину.

Внешнее стекло этого сканера очень тонкое, поэтому возникает эффект полного внутреннего отражения. Благодаря этому эффекту свет на гребне, который является точкой контакта между пальцем и стеклом, полностью отражается фотоэлектрическим датчиком.

Этот тип датчиков очень громоздкий и требует большой камеры и маленького светоизлучателя. По этой причине они редко используются. Другая проблема заключается в том, что свет также отражается от кожи, что позволяет легко подделать отпечатки пальцев.

1.1. Инфракрасный сканер с преобразованием Фурье. Принцип работы показан на рисунке 2.

1.2. Волоконная оптика. Механизм волоконно-оптического сканера показан на рисунке 3.

1.3. Оптическая тяга. В отличие от FTIR-сканеров, оптические сканеры не требуют, чтобы пользователь прикладывал палец к сканеру, а проводят пальцем по узкой сканирующей полосе. При сканировании отпечатка пальца за доли секунды делается серия снимков, при-

чем соседние снимки накладываются друг на друга, что значительно снижает пропускную способность сканера.

1.4 Прокатное сканирование осуществляется путем прокатывания пальца по прозрачному вращающемуся барабану. В этот момент фиксируется серия изображений фрагментов узора отпечатка пальца. Смежные изображения накладываются друг на друга, чтобы получить полный снимок отпечатка пальца без искажений.

1.5 Бесконтактный. Этот тип сканера не требует контакта между пальцем и поверхностью сканера. Палец или ладонь прикладывается к отверстию сканера, несколько источников света освещают его с обеих сторон, а в центре сканера устанавливается линза для сбора информации, которая проецируется на CMOS-камеру, преобразующую данные в изображение отпечатка пальца.

#### 2. Твердотельные

В этих сканерах используются полупроводники, которые меняют свои свойства при прикосновении к ним. Эти полупроводники реагируют на давление, проводимость, тепло и другие переменные.

2.1. Тепловые датчики. Датчики реагируют на изменение проводимости полупроводника в зависимости от температуры. Кожа и воздух проводят тепло с разной скоростью, и датчик может обнаружить это, чтобы получить изображение отпечатка.

2.2. Датчик давления — это датчик, который реагирует на величину давления, оказываемого на область проводника каждым маленьким кусочком кожи. Разница в давлении между корешком и вмятиной регистрируется во время сканирования.

2.3. Емкостной датчик. Используется датчик CMOS, который действует как небольшой конденсатор, позволяющий небольшому электрическому заряду проходить через поверхность пальца. Кожа и воздух отличаются по своей способности изолировать ток, и чем больше конденсатор, тем больше воздуха задерживается между кожей и датчиком.

Последний метод является наиболее распространенным. Датчики компактны и могут вмещать до 4 000 датчиков на квадратный сантиметр. В настоящее время датчики этого типа имеются в устройствах практически всех ведущих производителей на рынке мобильных устройств (например, Samsung, Xiaomi и Apple).

#### 3. Ультразвук

Ультразвуковые датчики используют тот же принцип, что и точные часы, и эхолокационные детекторы. излу-

чател ь испускает высокочастотный импульс, который отражается от поверхности пальца и регистрируется на датчике. Излучатель испускает высокочастотный импульс, который отскакивает от поверхности пальца и регистрируется датчиком. Сигнал, попавший в долину, проходит большее расстояние и поэтому возвращается дальше, чем сигнал, отраженный от гребня.

Такое расположение датчиков позволяет получить четкое изображение колеблющегося узора, учитывая не только то, к чему прикасаются, но и глубину отдельных участков кожи. Это позволяет получить более точное изображение, но требует более длительного времени сканирования и является более дорогостоящим.

Однако, помимо высокой точности, ультразвуковые сканеры имеют еще одно явное конкурентное преимущество, и производители вкладывают все больше средств в то, чтобы сделать их более простыми и дешевыми. Эти датчики не требуют отдельной поверхности и могут проходить через любой плотный материал. По этой причине сканеры отпечатков пальцев не только возможно, но и относительно легко интегрировать непосредственно в экран. В Samsung S10 Plus, Huawei P30 Pro, OnePlus 8 и Xiaomi 11 сканеры встроены в экран.

Распознавание изображений отпечатков пальцев осуществляется в основном с помощью математической модели для оценки виртуальных и информативных изображений. Благодаря полученной дискретной модели удалось разработать модель для оценки программных и аппаратных систем для виртуальных изображений отпечатков пальцев.

Эксперименты выявили новые области для новых методов идентификации человека путем распознавания различных изображений отпечатков пальцев. Однако существующие до сих пор методы не позволяли качественно оценить изображения. Оптимизируя информационный анализ распознавателя, программное обеспечение может быть использовано для оценки и распознавания изображений отпечатков пальцев.

В программно-аппаратный интерфейс включены следующие окна

- 1) Регистрация изображения отпечатка пальца — отображаются два отпечатка пальцев в формате bmp.
- 2) Оценка, в результате которой формируется информативное изображение.
- 3) Оценка, формирование виртуального изображения.
- 4) Конфигурация и управление — выбор идентификатора, установка типа оценки (информативная или виртуальная) и получение результатов.

Формирование виртуальных и информативных изображений отпечатков пальцев увеличивает количество

признаков отпечатков пальцев для распознавания образов. Такое формирование повышает точность оценки данных изображений и открывает новые возможности для решения проблем идентификации и аутентификации.

### Предлагаемое решение

Следует отметить, что сегодня для того, чтобы иметь возможность анализировать и распознавать изображения, необходимо решить ряд практических проблем. Одним из примеров является процесс распознавания отпечатков пальцев. Сложность этого процесса заключается в наличии ожогов, шрамов и других дефектов на пальце. Не существует «универсальных» методик или математических методов для создания методов, алгоритмов, автоматических устройств и качественного распознавания без учета отсутствия сложности в распознавании окружающих объектов [5].

Набор задач, которые необходимо решить для распознавания изображения отпечатка пальца, включает в себя:

- 1) бинаризация и фильтрация изображения;
- 2) идентификация и извлечение нюансов (сингулярностей) на полученных изображениях и их дальнейший сравнительный анализ.

Данное разделение напрямую связано с наличием или отсутствием особенностей при реализации такого процесса, как распознавание. Реализация бинаризации и фильтрации относится к первой группе задач. Эта задача представлена на диаграмме (рисунок 1).

Для второй группы задач процесс распознавания осуществляется с помощью более общих методов обработки изображений и приводит к нахождению конкретной точки на изображении. Следует отметить, что сложность решения этой задачи заключается в дефектах, присутствующих в отпечатках пальцев.

На сегодняшний день для идентификации особых точек использовалось несколько различных задач, включая поиск простых форм окон и стилизованного контента на окнах. Оказалось, что распознавание должно осуществляться следующим образом: распознавание всех окон изображения. Классификация пикселей необходима, поскольку skins имеют определенный диапазон цветов [6].

С помощью X-векторов пиксели отображаются на цветовые значения. Затем полученное цветовое пространство делится на квадраты и вычисляется процент телесного цвета пикселей в ячейке: метод оценки значения  $P(x | \text{пиксели кожи})$  заключается в вычислении квадрата, соответствующего  $x$ . Кроме того, отобразим



Рис. 1. Задачи фильтрации и бинаризации

объем (%) пикселей в ячейке. Далее вычисляется значение  $P(x | \text{другие пиксели})$ . Для того чтобы оценить предварительную вероятность, необходимо смоделировать  $P(\text{skin})$  как процент пикселей телесного цвета в корректирующем наборе.

$$\frac{P(x|\text{кожа})P(\text{кожа})}{P(x)}L(\text{кожа} \rightarrow \text{иное})$$

$$A \frac{P(x|\text{иное})P(\text{иное})}{P(x)}L(\text{иное} \rightarrow \text{кожа})$$

$P(\text{пиксели кожи} | x) = 1 - P(\text{иные пиксели} | x)$ . Вид классификатора:

- пиксели кожи —  $P(\text{кожа} | x) > 0$ ;
- иные пиксели —  $P(\text{кожа} | x) < 0$ ;
- равномерный и случайный выбор пикселей из классов —  $P(\text{кожа} | x) = 0$ .

В данном случае  $\theta$  является выражением, не зависящим от  $x$ . Это учитывает потерю несущественности. Таким образом, для каждого выбора  $\theta$  можно определить семейство классификаторов. Если выбран подходящий  $\theta$ , классификатор может быть успешным.

Как известно, наиболее распространенные сегодня алгоритмы распознавания отпечатков пальцев используют определенную точку — нюанс. Эти точки бывают двух типов: конец палочной линии и ее бифуркация; в случае двух наборов сингулярных точек алгоритм тестирования сравнивает их и формирует оценку «сходства», имеющуюся в интервале  $[0, 1]$ . Алгоритм сравнения сингулярностей показан на рисунке 9.

Давайте кратко рассмотрим сингулярности и их применение. Начнем с медианной фильтрации, поскольку все сводится к получению изображения отпечатка пальца. Медианная фильтрация изображена на рисунке 2.



Рис. 2. Медианная фильтрация

На рисунке 3 изображено направление медианной фильтрации.

Бинаризация изображения применяется для того, чтобы преобразовать 256 в черно-белый формат монохромного цветного изображения (рисунок 4).

После этого процесса следует выделить однородные области изображения. Это можно сделать путем удаления небольших черных и белых областей для устранения шума («соль и перец»), что положительно сказывается на сложности дизайна.

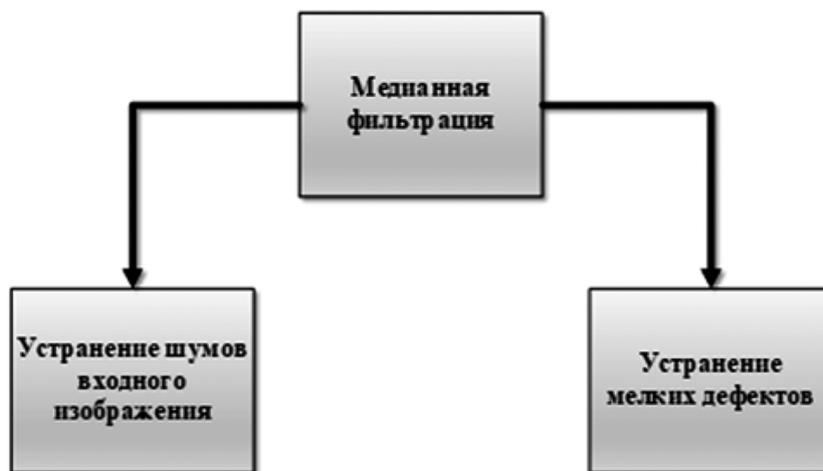


Рис. 3. Направление медианной фильтрации



Рис. 4. Бинаризация изображения

Для получения особых точек следует провести анализ ветвления и окончания. Следует искать пересекающиеся точки, где у каждой особой точки есть своя пара. При наложении точек следует учитывать их тип и направление.

Не все точки будут иметь пару. Это происходит из-за несоответствия областей, на которые нужно указать, или ошибок в алгоритме выделения. Задача коэффициента совпадения — сравнить точки с совпадающими парами с их общим количеством. Полученное значение является результатом совпадения. На рисунке 5 показан процесс извлечения особых точек.

Распознавание отпечатков вариантов обработки было проанализировано ранее. Вариант с наименьшим количеством точек (рис. 6):

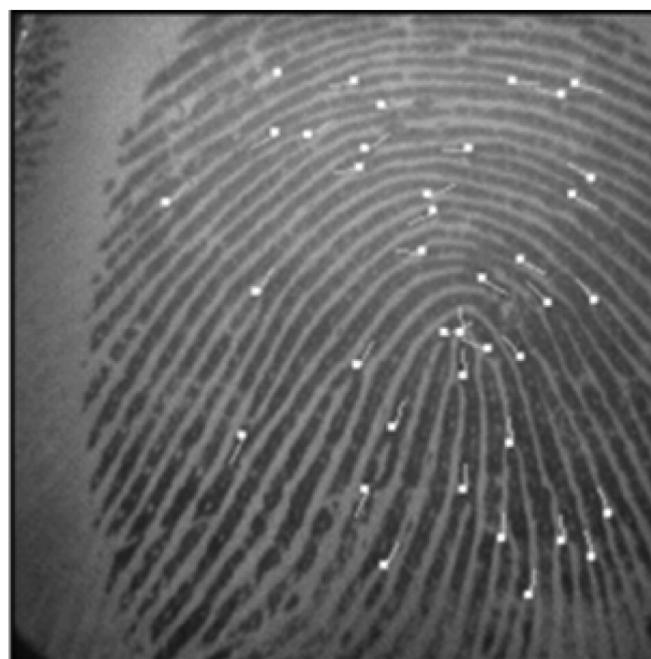


Рис. 5. Выделение особых точек

Однако этот вариант обеспечил бы низкое качество изображения и большие ошибки из-за некогерентного шума. По этой причине был выбран полный алгоритм, представленный на рисунке 15:

В качестве варианта расчета интенсивности пикселей можно привести определение интенсивности, которая берется как среднее арифметическое зеленой, синей и красной составляющих следующим образом:

$$\text{Интенсивность} = (\text{красный} + \text{зеленый} + \text{синий}) / 3.$$

Это дает значение серой шкалы, но не является правильным, так как предполагает, что все цветовые компоненты имеют одинаковый вес. Ошибочно полагать, что человеческий глаз одинаково реагирует на все цветовые



Рис. 6. Процесс деформации ОП

компоненты. На самом деле наши глаза воспринимают цветовые компоненты по-разному, более чувствительны к зеленому и менее чувствительны к синему.

Ряд исследователей определили примерный весовой коэффициент чувствительности человеческого глаза к цвету и установили, что интенсивность рассчитывается следующим образом

$$\text{Интенсивность} = 0,3 * \text{красный} + 0,59 * \text{зеленый} + 0,11 * \text{синий}.$$

В дальнейшем при расчете интенсивности будет использоваться приведенная выше формула.

Искажение изображения отпечатка пальца — это такие дефекты отсканированного изображения, как царапины, смещение и обесцвечивание, которые влияют на качество распознавания, поэтому необходимо разработать специальные методы устранения этих эффектов. Процесс искажения ОП показан на рисунке 6.

Формула вычисления деформации изображений, где используется карта смещений:

$$f: Im_1 \rightarrow Im_2, \quad (1)$$

$Im_1, Im_2$  — изображения оп.

Будем использовать интерпретацию изображений в качестве карты смещений (1). Формула вычисления ассоциированного со смещениями отображения:

$$\begin{aligned} Im_1(x, y) &= F_u^{-1}(Im_2(x, y)) = \\ &= \frac{1}{\det J_u(x, y)} Im_2(x + u_x(x, y), y + u_y(x, y)) \quad (2) \\ J_u(x, y) &= \begin{pmatrix} 1 + \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{\partial u_x}{\partial y} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} & 1 + \frac{\partial u_y}{\partial y} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

На основании рисунка 16 можно сделать вывод, что на  $u$  влияет время. Например, будем считать, что оп является упругим объектом. Получается, формула выявления его динамики будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + f_x &= \rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + f_y &= \rho \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} \quad (3) \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}; \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}; \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \quad (4)$$

Где  $u_y$  и  $u_x$  выступают в роли частей карты смещений в соответствии с осью  $y$  и  $x$  соответственно, внешние действующие силы —  $f = (f_x, f_y)$ , тензор напряжений —  $\varepsilon$ , тензор давлений —  $\sigma$ , плотность —  $\rho$ .

Компоненты тензоров  $\sigma$  и  $\varepsilon$  обладают линейной связью (закон Гука):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = C(x, y) \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Упругая матрица влияет на решение уравнения и может быть изменена неоднородностями на поверхности пальца. Неоднородность возникает из-за деформации, вызванной силами, действующими поперек и вдоль направления узора пальца. Пусть на рисунке 7 показана ориентация линий узора пальца.

Формула вычисления матрицы  $\hat{C}$  с 4-мя степенями свободы, расположенной в координатах, которые ассоциированы с локальным направлением, принадлежащим папиллярному узору

$$\hat{C}(z, w) = \begin{pmatrix} E_z^{-1} & -v_{zw}E_w^{-1} & 0 \\ -v_{wz}E_z^{-1} & E_w^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & G \end{pmatrix};$$

$$v_{zw}E_w^{-1} = v_{wz} / E_z^{-1} \quad (6)$$

где  $E_z, E_w$  — модули Юнга вдоль, поперек направлений.  $v_{zw}$  и  $v_{wz}$  — коэффициенты Пуассона,  $G$  — модуля сдвига.



Рис. 7. Направление потока папиллярных линий

Формулы определения матриц упругости в процессе их перехода к начальным глобальным координатам (6):

$$\begin{aligned} c_{11} &= \cos^4 \alpha \hat{c}_{11} + 2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{12} + \sin^4 \alpha \hat{c}_{22} + \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{13} \\ c_{12} &= \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{11} + (\cos^4 \alpha + \sin^4 \alpha) \hat{c}_{12} + \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{22} - \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{13} \\ c_{13} &= \cos^3 \alpha \sin \alpha \hat{c}_{11} + \cos \alpha \sin \alpha (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \hat{c}_{12} - \cos \alpha \sin^3 \alpha \hat{c}_{22} - \cos^3 \alpha \sin \alpha \hat{c}_{13} \\ c_{22} &= \sin^4 \alpha \hat{c}_{11} + 2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{12} + \cos^4 \alpha \hat{c}_{22} + \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{13} \\ c_{23} &= \sin^3 \alpha \cos \alpha \hat{c}_{11} + \cos \alpha \sin \alpha (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \hat{c}_{12} - \cos^3 \alpha \sin \alpha \hat{c}_{22} + \cos^3 \alpha \sin \alpha \hat{c}_{13} \\ c_{33} &= \cos \alpha \sin^3 \alpha \hat{c}_{11} - 2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \hat{c}_{12} - \cos^3 \alpha \sin \alpha \hat{c}_{22} + \cos^4 \alpha \hat{c}_{13} \end{aligned} \quad (7)$$

Важная роль в данном процессе отводится захвату изображения. В основном осуществляется при статичном изображении, т.е. при выравнивании напряжения, возникшего по причине смещений, действующими силами. Вычисляется по следующей формуле:

$$\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + f_x = 0; \quad \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + f_y = 0. \quad (8)$$

Система, представленная в уравнениях (8) и (4), может быть использована для определения вариации следов.

Однако этот процесс имеет тот недостаток, что отсутствует первое вдавливание. Причиной деформации является наличие двухмерного скана трехмерного объекта.

Отсутствие данных о действующих силах. Отсутствие метода их определения. Используя уравнения (4), (8) вычислим функции энергии

$$E = - \iint_s (u_x f_x + u_y f_y) dx dy + \frac{1}{2} \iint_s (\epsilon_{xx} \sigma_{xx} + \epsilon_{yy} \sigma_{yy} + \epsilon_{xy} \sigma_{xy}) dx dy; \quad (9)$$

Поскольку эффект действия не может быть оценен, отрицательная сумма в (9) также не может быть оценена. Необходим метод для вычисления приблизительной величины деформации: для двух изображений отпечатка пальца можно вычислить контрольные точки, принадлежащие изображениям (рис. 8). Эти данные могут быть использованы для определения точного направления действующих сил [7].



Рис. 8. Соответствие контрольных точек отпечатков пальцев

Формула вычисления наборов пар точек, соответствующих друг другу:  $\{p_i\}_{i=1}^m$  и  $\{q_i\}_{i=1}^m$  соответственно. Формула вычисления расстояния между 2 наборами контрольных точек:

$$L^2(u) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|p_i + u(p_i) - q_i\|^2. \quad (10)$$

Смещение контрольной точки зависит от внешних сил. При вычислении необходимо учитывать направление потоков в контрольных точках, расположенных на папиллярных линиях:

$$L_n^2(u) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|n(p_i + u(p_i)) - n(q_i)\|^2 \quad (11)$$

где  $n$  — функционал взятия нормали к локальному потоку папиллярных линий.

Приближенное решение (9) выявляется при помощи (10), (11) функционала с внутренней энергией деформации, регуляризирующих поправки на невязку:

$$D(\mathbf{u}) = E_d(\mathbf{u}) + \alpha_1 L^2(\mathbf{u}) + \alpha_2 L_n^2(\mathbf{u}), \quad (12)$$

$\alpha_1, \alpha_2$  — весовые коэффициенты.

Формула вычисления внутренней энергии деформации  $E_d$ :

$$E_d = \frac{1}{2} \iint_S (\varepsilon_{xx} \sigma_{xx} + \varepsilon_{yy} \sigma_{yy} + \varepsilon_{xy} \sigma_{xy}) dx dy \quad (13)$$

Минимальный объем функции (12) определяется значениями на прямоугольной сетке, а значения  $u$  в точках элементов сетки интерполируются билинейными сплайнами. (12) является квадратичной функцией и зависит от значений в узлах сетки.

Если частная производная равна нулю, то можно определить минимальное значение. Она представляет

собой линейное уравнение для значения  $u$  в узлах сетки. Относительная деформация определяется со скоростью менее 0,1 секунды.

Пример результатов деформации показан на рисунке 19.

Наилучшие результаты были получены при поиске, когда изображение одного отпечатка пальца преобразовывалось в изображение другого идентичного отпечатка. Вычисление деформации сопровождается прямым наложением изображений  $Im_{av}$ :

$$Im_{av} = \frac{1}{2} (Im_2 + f_u(Im_1)) \quad (14)$$

Контрастная область необходима для определения наличия или отсутствия резонанса сосковой линии. Серые области указывают на точечные искажения.

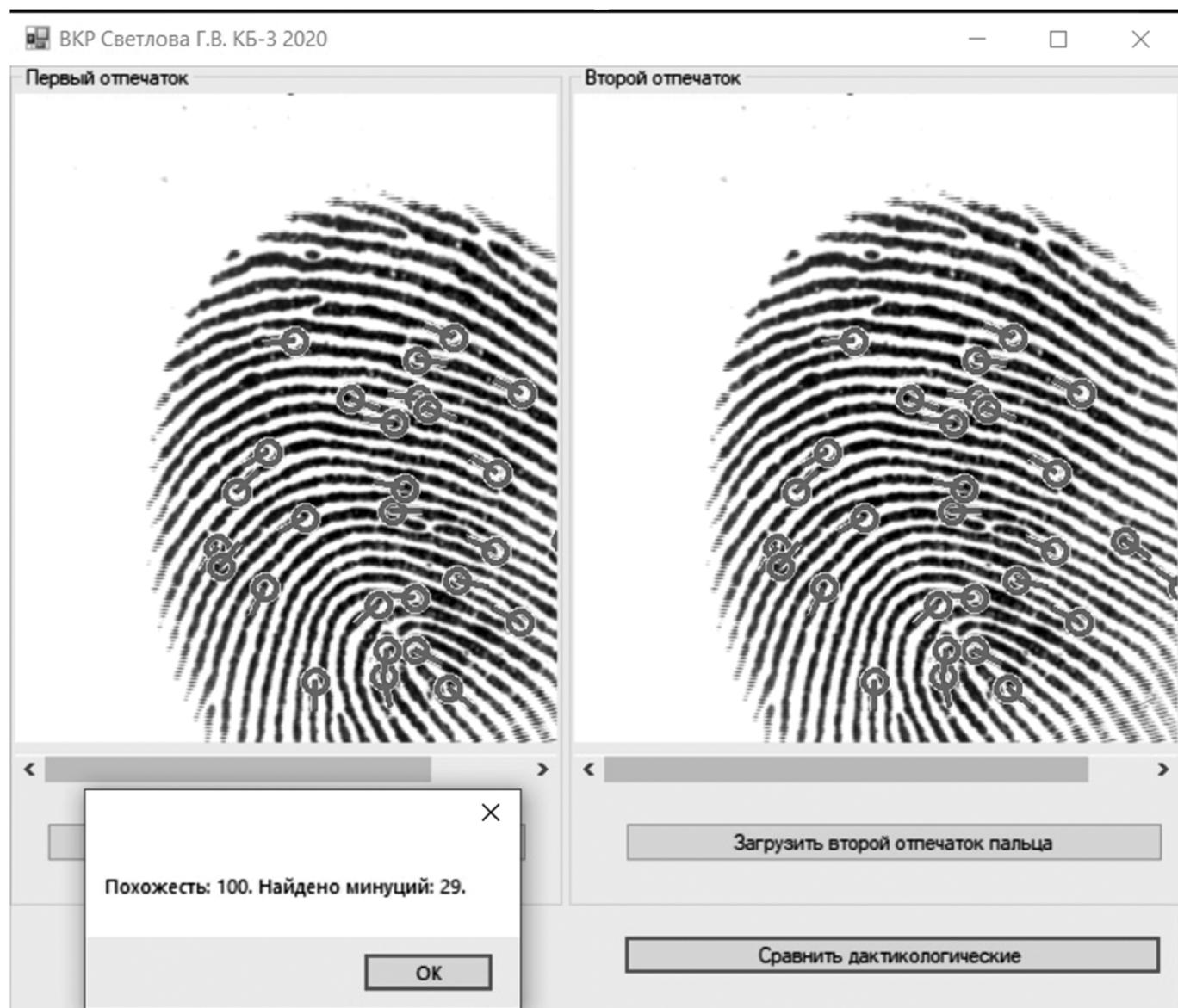


Рис. 9. Сравнение отпечатков пальцев по особым точкам без дефектов

Модель может деформировать изображение за счет анализа контраста.

На нее не влияют искажения (краевые эффекты), которые возникают в эмпирических моделях, таких как модель тонкого металлического листа или модель Каппеллита.

#### Пример использования

Сравнение отпечатков пальцев по особым точкам без дефектов изображено на рисунке 9.

В результате работы ПО выводится окно, на котором написан процент схожести сравниваемых дактилоскопических изображений. Вывод — 100% схожесть и найдено 24 минущии и по работает, верно.

#### Выводы

Обзор существующих методов анализа изображений отпечатков пальцев показывает, что они недостаточно хорошо разработаны для целей применения в информационной безопасности. Однако существует ряд эвристических и интересных методов и алгоритмов. В данной работе реализован еще один такой подход, позволяющий более качественно обрабатывать изображения отпечатков пальцев, учитывая при этом человеческий фактор в виде повреждения изображения и исследуемого образца. В результате было создано алгоритмическое программное обеспечение, способное более эффективно решать проблему анализа и распознавания изображений отпечатков пальцев в области информационной безопасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г.А. Кухарев. Биометрические системы. Методы и средства идентификации
2. Партыка Т.Л., Попов И.И. Информационная безопасность. М: Форум-ИНФА-М. — 2007.
3. Кухарев Г.А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека. — СПб.: Политехника, 2001. — 240 с
4. Барсунов В.С. Биометрическая защита информации // Защита информации. Конфидент. — 2000 — № 1 — С. 45–52.
5. Салли Винер Гротта Пропуск, который всегда с тобой. Ethentica Ethenticator USB 2500 // 6 сентября, 2002 (PC Magazine/RE №5/2002)
6. Уиллес Д. Пусть Ваши пальцы зарегистрируются сами. // Сети и системы связи. — 1998 — №9(31) — С.156–160.
7. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений / Фурман Я.А., Юрьев А.Н., Яншин В.В. — Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992

© Русаков Алексей Михайлович (rusal@bk.ru); Корягин Сергей Викторович (dongenealog2003@mail.ru); Селиванова Екатерина Алексеевна (Kate11042001@yandex.ru); Якунина Александра Андреевна (yakunina.19@yandex.ru); Прусова Елизавета Алексеевна (prussia01@yandex.ru); Тепсикоев Солтан Артурович (soltantepsikoev@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»