

**Санкт-Петербургский Государственный Университет**  
**Математико-механический факультет**  
Кафедра системного программирования

**Сравнение алгоритмов поиска особых точек**  
**на отпечатках пальцев**

Курсовая работа студента 361 группы  
Чугаевой Татьяны Васильевны

Научный руководитель  
Сартасов С.Ю.

Санкт-Петербург – 2013

## Оглавление

1. Введение.....	3
2. Постановка задачи.....	4
3. Алгоритм, основанный на симметрии и вариации.....	5
3.1. Поле направлений .....	5
3.2. Симметрия.....	6
3.3. VORIV .....	8
3.4. VSCOME .....	8
4. Алгоритм, основанный на модели особой точки .....	10
4.1. Метод, основанный на индексе Пуанкаре.....	10
4.2. Преобразование Хафа .....	10
5. Сравнение результатов .....	12
6. Заключение .....	13
7. Список литературы .....	14

## 1. Введение

Отпечатки пальцев всё шире используются для идентификации личности в силу своей уникальности и неизменности. Существуют три основных вида отпечатков пальцев: арка, петля и завиток (рис. 1).



Рис. 1. Виды отпечатков пальцев

Для распознавания отпечатков пальцев существуют два основных подхода: сравнение по минуциям (так называемые локальные признаки) и на основе глобальных признаков [1].

Первый подход сравнивает отпечатки пальцев по уникальным для каждого отпечатка пальца точкам, в которых обрываются или раздваиваются папиллярные линии, т.е. по минуциям. Этот подход широко используется в настоящее время, однако он довольно трудоёмкий, чувствителен к локальному растяжению, плохо масштабируем, а также имеются существенные сложности с его распараллеливанием.

Второй подход основывается на глобальных признаках, таких как поле направлений, описывающих общее положение папиллярных линий отпечатков пальцев.

Например, алгоритм FingerCode. На первом этапе алгоритма определяются расположения особых точек. Как правило, существует два типа особых точек: точки ядра и точки дельт.

На втором этапе каждому отпечатку пальцев сопоставляется точка в многомерном пространстве, и производится поиск ближайших точек. Стоит отметить, что данный метод не имеет недостатков первого метода, но уступает ему в достоверности результатов.

Данная работа посвящена сопоставлению алгоритмов поиска точек ядра для первого этапа.

## 2. Постановка задачи

Существуют четыре основных подхода для определения особых точек: на основе индекса Пуанкаре [2], на основе комплексных фильтров первой степени [3], на основе комплексных фильтров второй степени [4] и на основе индекса Пуанкаре с применением преобразования Хафа [5]. По рекомендации научного руководителя в данной работе рассматриваются последние два метода.

Перед применением методов, изображения отпечатков улучшались с помощью алгоритма, изложенного в статье [7].

Критерием сравнения алгоритмов являются евклидовы расстояния между точками, найденными алгоритмом, и точками, определёнными вручную:

- менее 15 пикселей – точка найдена верно,
- от 15 до 30 пикселей – ошибка терпимая,
- более 30 пикселей – ошибка критическая.

Итак, задачи данной работы:

1. Изучить и реализовать метод, основанный на симметрии и вариации.
2. Изучить и реализовать метод, основанный на модели особой точки.
3. Сравнить представленные методы.

### 3. Алгоритм, основанный на симметрии и вариации

Данный алгоритм нахождения особой точки основан на вычислении суммарного значения вариации и симметрии (*VSCOME*), которое описывает особенности изменения вертикального направления и особенности вращательной симметрии.

#### 3.1. Поле направлений

Для каждой точки отпечатка пальца вычисляется направление папиллярных линий в ее окрестности.

Сначала вычисляются градиенты (рис. 2) в окрестности каждой точки с помощью свертки изображения с фильтром

$$f_1(x, y) = g(x, y) * x \quad (1)$$

для компоненты  $x$  и

$$f_2(x, y) = g(x, y) * (-y) \quad (2)$$

для компоненты  $y$ , функция гаусса строится с дисперсией 1.

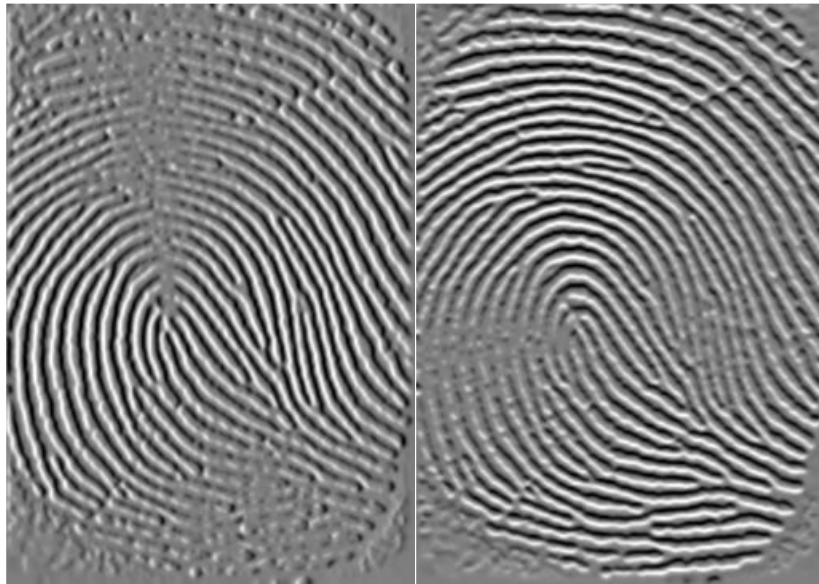


Рис. 2. Градиент изображения. Компонента  $x$  и компонента  $y$

Далее значения градиентов усредняются. Вычисляются значения поточечного умножения

$$G_{xx} = G_x * G_x \quad (3)$$

$$G_{yy} = G_y * G_y \quad (4)$$

$$G_{xy} = G_x * G_y \quad (5)$$

Каждое из получившихся изображений сворачивается с гауссовым фильтром (с дисперсией равной 5). Далее поле направлений в точке  $i,j$  вычисляется по формуле (6) и приводится к промежутку  $[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$ .

$$\theta_{ij} = \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(2G_{xy}, G_{xx} - G_{yy}) \quad (6)$$

Значение поля направлений (рис. 3) представляет собой угол в радианах.



Рис. 3. Поле направлений

Далее поле направлений усредняется по блокам со значением  $W = 10$ .

Полученное поле направлений преобразуется в комплексное поле по формуле:

$$\bar{f} = \cos(2\theta) + i \sin(2\theta), i = \sqrt{-1} \quad (7)$$

### 3.2. Симметрия

Далее поле направлений преобразуется фильтром вида:

$$h(x, y) = \begin{cases} (2\bar{x}\bar{y} + i(\bar{x}^2 - \bar{y}^2))g(\bar{x}, \bar{y}), & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\bar{x} = \begin{cases} \frac{2xy}{\sqrt{x^2 + y^2}}, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\bar{y} = \begin{cases} \frac{x^2 - y^2}{\sqrt{x^2 + y^2}}, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases} \quad (10)$$

Гауссиана вычисляется по формуле:

$$g(x, y, \vartheta) = e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\vartheta^2}}, \quad (11)$$

где  $\vartheta$  – заданный параметр.

Для каждого блока преобразованного поля направлений вычисляется симметрия (рис. 4). В ходе работы было установлено, что оно получается комплексной свёрткой с фильтром, составленным по формулам (9) и (10).



Рис. 4. Симметрия

### 3.3. VORIV

Функция *VORIV* предлагается для измерения значений вариаций вертикальных направлений для особых точек. По определению *VORIV* – это сумма разниц направлений в множестве определённых точек, принадлежащих к вертикальной линии, и взятые сверху вниз.

Для блока поля направлений  $(u, v)$  и множества линий  $K$  *VORIV* значение блока  $(u, v)$  вычисляется как:

$$VORIV(u, v) = \frac{1}{\pi} \sum_{k=-K/2}^{K/2} \sum_{i=0}^{N-1} f(\theta(u-i, v+k) - \theta(u-i-1, v+k)) \quad (12)$$

$$f(a) = \begin{cases} a, & 0 \leq a \leq \pi \\ -a, & -\pi < a < 0 \end{cases} \quad (13)$$

Значения *VORIV* области выпуклой точки ядра положительны и гораздо выше, чем в других областях, а значения для областей вогнутой точки ядра и дельты отрицательны и очень малы

### 3.4. VSCOME

Функция *VSCOME* (рис. 5) является средним арифметическим значений симметрии и *VORIV*. После вычисления значений происходит поиск глобального максимума, так как наибольшие значения симметрии и *VORIV* достигаются в точке ядра.

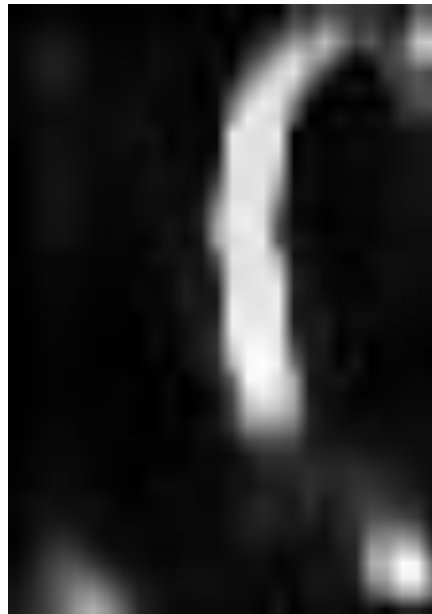


Рис. 5. VSCOME

В общей сложности, этапы алгоритма таковы:



1. Вычисление значения симметрии для каждого блока  $(i, j)$ .
2. Вычисление значения  $VORIV$  для каждого блока  $(i, j)$ .
3. Вычисление значения  $VSCOME$  для каждого блока  $(i, j)$
4. Поиск глобального максимума  $VSCOME$ , как особой точки.

## 4. Алгоритм, основанный на модели особой точки

Данный алгоритм улучшает традиционный метод, основанный на индексе Пуанкаре, так как для определения особых точек используется больше информации (не только направления близких (соседних) кривых, но также локальная область направлений около точки).

### 4.1. Метод, основанный на индексе Пуанкаре

Индекс Пуанкаре показывает суммарное изменение направлений вдоль замкнутой кривой на поле направлений. В частности, если замкнутая кривая это 8 блоков поля направлений вокруг особой точки, то используется следующая формула [1]:

$$P(i, j) = \sum_{k=0}^7 \text{angle}(d_k, d_{(k+1) \bmod 8}) \quad (14)$$

Для кривой вокруг точки ядра значение индекса Пуанкаре равняется  $\pi$  или  $2\pi$  (в зависимости от типа отпечатка), для кривой вокруг точки дельты  $-\pi$ , во всех остальных точках  $-0$  [1]. Таким образом, с помощью данного метода можно определить особые точки, однако этот метод подвержен частым ложным срабатываниям.

### 4.2. Преобразование Хафа

Преобразование Хафа является методом обнаружения прямой линии в шумных цифровых изображениях. Также оно может быть расширено для поиска кривых, представленных уравнением

$$f(x, y, a, b) = 0, \quad (15)$$

где  $f$  – функция,  $x, y$  – координаты на плоскости,  $a, b$  – параметры кривой.

Традиционно мы рассматриваем это уравнение в пространстве  $XU$ , но ничто не мешает нам рассмотреть его в пространстве  $AB$ , называемом пространством Хафа.

Понятно, что любой точке из этого пространства (т.е. конкретным параметрам) соответствует в общем случае некоторая кривая пространства  $XU$ .

Далее требуется привести непрерывное фазовое пространство в дискретное. Для этого делим его на блоки, каждый из которых соответствует набору кривых с близкими значениями параметров, и добавляем к ячейке счётчик.

Следующим шагом просматриваются точки интереса, каждая из них голосует (т.е. увеличивает счётчик) за ячейку кривой, которой она принадлежит. Наибольшее количество голосов определяет искомую линию или кривую.

Пусть  $(x_c, y_c)$  обозначают координаты этой точки ядра. Тогда поле направлений для каждого пикселя  $(x, y)$  около этой точки может быть представлено с помощью линейного уравнения для  $(x_c, y_c)$

$$y - y_c = \tan(2\theta_\infty - 2\theta(z))(x - x_c), \quad (16)$$

где  $\theta_\infty$  - направление фона.

Таким образом, используя последнее уравнение, можно вычислить точные координаты особых точек.

Итак, данный метод состоит из четырёх шагов:

1. Поиск особых точек методом, основанным на индексе Пуанкаре
2. Для каждой особой точки, найденной на первом шаге, её окрестность делится на блоки.
3. Вычисление направления фона (усреднённого направления одного из блоков в окрестности особой точки) и вычисление преобразования Хафа.
4. Сравнение вероятностей особых точек с пороговым значением

## 5. Сравнение результатов

Для алгоритма, основанного на вариации и симметрии, выбраны параметры, как показано в табл.1.

Таблица 1

Параметры алгоритма, основанного на вариации и симметрии

Размер поля направлений $W$	10	Высота блока для вычисления VORIV	4
Сигма $\delta$	1.5	Ширина блока для вычисления VORIV	5

Для алгоритма, основанного на модели особой точки, при вычислении индекса Пуанкаре в качестве замкнутой кривой берутся граничные блоки окрестности особой точки, причём окрестность делится на 9 равных блоков по 16 пикселей.

В итоге были получены следующие результаты, как показано в табл. 2.

Таблица 2

Параметры алгоритма, основанного на модели особой точки

Ошибка (пиксель)	Алгоритм, основанный на вариации и симметрии	Алгоритм, основанный на модели особой точки
0..15	3	50
16..30	36	29
>30	401	104

## 6. Заключение

В результате курсовой работы были изучены и реализованы два метода нахождения особых точек: метод, основанный на вариации и симметрии, и метод, основанный на модели особой точки. Составлена база данных отпечатков пальцев (440 изображений из открытой базы данных отпечатков пальцев [6]) с отмеченными точками ядра. Получены результаты сравнения точек, найденных методами, с точками, найденными вручную. Более точные результаты показал алгоритм, основанный на модели особой точки.

## 7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Handbook of Fingerprint Recognition, Second Edition, 2009
2. Bazen A.M., Gerez S.H. Extraction of Singular Points from Directional Fields of Fingerprints, 2001
3. Nilsson K., Bigun J. Localization of corresponding points in fingerprints by complex filtering, 2003
4. Le T.H., Van H.T. Fingerprint reference point detection for image retrieval based on symmetry and variation, 2012
5. Wti N., Zhou J. Model based algorithm for singular point detection from fingerprint images, 2004
6. Maio D., Maltoni D., Cappelli R., Wayman J. L., Jain A.K. FVC2000: Fingerprint verification competition, March 2002
7. Fronthaler H., Kollreider K., Bigun J. Local features for enhancement and minutiae extraction in fingerprints, 2008