

**Санкт-Петербургский Государственный Университет**  
**Математико-механический факультет**

Кафедра системного программирования

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

Курсовая работа студентки 361 группы  
Борисовой Альбины

Научный руководитель  
Сартасов С.Ю.

Санкт-Петербург – 2013

## Оглавление

Введение .....	3
1. Постановка задачи .....	3
2. Методы решения задачи .....	7
2.1. Метод, основанный на комплексных фильтрах первой степени .....	7
2.2. Метод, основанный на индексе Пуанкаре .....	13
3. Результаты .....	19
4. Выводы .....	20
Список литературы .....	21

## Введение

Сейчас, с развитием технологий и совершенствованием систем безопасности, все большее внимание уделяется биометрической идентификации человека - идентификации на основе уникальных физических характеристик конкретного человека. Самым распространенным способом биометрической идентификации является идентификация по отпечаткам пальцев, так как отпечатки пальцев просты в использовании, дают надежные результаты и сканеры отпечатков пальцев относительно не дороги. Так же дактилоскопия широко применяется в криминалистике.

### 1. Постановка задачи

Отпечаток пальца состоит из хребтов и впадин, которые образуют папиллярный рисунок (рис. 1). Отпечаток имеет два вида признаков: глобальные и локальные. Глобальные признаки описывают общее положение папиллярных линий.

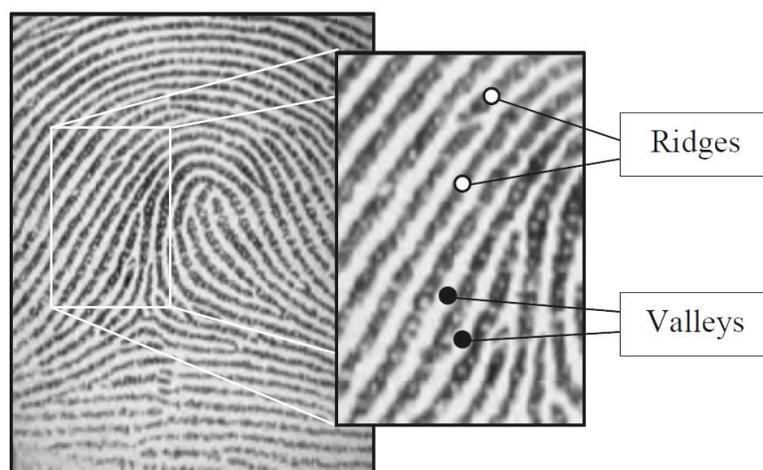


Рис. 1. Отпечаток пальца с отмеченными папиллярными линиями

Локальные признаки отпечатков пальцев описывают расположение линий в окрестности минуций. Минуция - такая точка отпечатка пальца, где папиллярная линия обрывается или разделяется на две. Из этих двух типов могут быть составлены более сложные виды минуций (рис. 2).

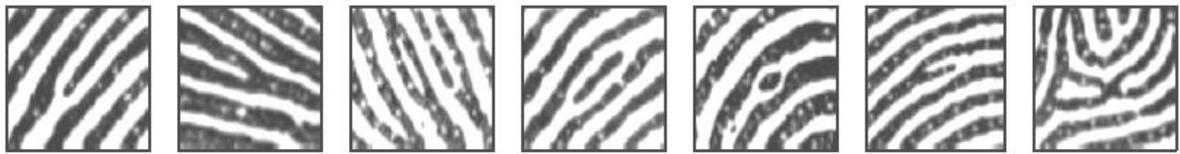


Рис. 2. Разные виды минуций

Особые точки на отпечатках пальца относятся к глобальным признакам и бывают двух видов: точка ядра и точка дельты.

Ядро - точка отпечатка пальца, которую огибает максимальное количество папиллярных линий (рис.3).



Рис. 3. Точка ядра на отпечатке пальца

Дельта - точка отпечатка пальца, вокруг которой папиллярные линии расходятся в трех разных направлениях (рис.4).



Рис. 4. Точка дельты на отпечатке пальца

Локальные признаки, в отличие от глобальных, у каждого человека являются уникальными. Именно поэтому для распознавания отпечатков пальцев сейчас повсеместно используется метод распознавания по минуциям. В нем сравнивается локальная структура отпечатка и дается точный ответ, совпадают два отпечатка или нет. Метод имеет ряд значительных недостатков, таких как трудоемкость, чувствительность к локальному растяжению и плохая масштабируемость.

Перечисленные проблемы решает другой метод распознавания отпечатков пальцев - "FingerCode". Этот метод сопоставляет каждому отпечатку некоторую точку в многомерном пространстве. Схожесть отпечатков определяется как евклидово расстояние

между точками, соответствующими им. При распознавании ищется несколько наиболее похожих отпечатков. Таким образом, это менее точный метод.

FingerCode при работе использует заранее обнаруженные особые точки на отпечатке пальца - точки ядра, но не включает в себя способ нахождения этих точек.

Также особые точки используются для выравнивания сдвига и поворота отпечатков пальцев, что улучшает работу метода распознавания по минуциям.

Еще на положении особых точек основывается классификация отпечатков пальцев. Тип отпечатка пальца - еще один вид глобальных признаков. Отпечатки разделяются на три основных типа: спираль, петля и дуга (рис. 5).



Рис. 5. Отпечатки типа «Петля», «Спираль» и «Дуга»

Есть четыре основных подхода к определению особых точек:

- На основе индекса Пуанкаре.[1]
- На основе комплексных фильтров 1 степени.[2]
- На основе комплексных фильтров 2 степени.[3]
- На основе индекса Пуанкаре с преобразованием Хафа.[4]

По рекомендации научного руководителя, были рассмотрены первые два подхода. Критерием сравнения методов являлись евклидовы расстояния между особыми точками, определенными с помощью метода и найденными вручную.

Расстояние до 15 пикселей - точка определена верно.

Расстояние от 15 до 30 пикселей - точка найдена с допустимой ошибкой.

Расстояние от 30 пикселей - точка определена не верно.

Задачи, которые ставились в этой работе:

- Изучить и реализовать метод, основанный на комплексной свертке с фильтрами первой степени [1].
- Изучить и реализовать метод, основанный на индексе Пуанкаре [2].
- Составить метрики и сравнить по ним данные методы.

## 2. Методы решения задачи

Для исследования были реализованы методы для определения точки ядра. Это обусловлено тем, что работа алгоритмов для определения ядра и дельты принципиально не отличается, а точка ядра есть на каждом отпечатке пальца, в то время как точка дельты может отсутствовать.

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

Значения дисперсии, упоминающиеся далее, были выбраны на основании экспериментов.

### 2.1. Метод, основанный на комплексных фильтрах первой степени.

Первый из рассматриваемых способов обнаружения особых точек описывается в работе [1].

Он состоит из следующих этапов:

а) Строится гауссова пирамида исходного изображения отпечатка пальца.

Вычисляются четыре уровня гауссовой пирамиды - набор изображений, получаемый из исходного изображения путём его последовательного сжатия (рис. 6). Нулевой уровень - само изображение. Последующие уровни вычисляются из предыдущих. Изображение размывается с помощью свертки с гауссовым фильтром и уменьшается в два раза по каждому измерению. Для построения фильтра была использована функция Гаусса со значением дисперсии равным 0,8. Размер гауссова фильтра считался по правилу «трех сигм»

$$S = 1 + 2[3\sigma], \quad (1)$$

где S сторона фильтра. Далее размер фильтров считался по тому же правилу.



Рис. 6. Четыре уровня гауссовой пирамиды от 0-го до 3-го

Далее поиск особых точек проходит на самом нижнем уровне пирамиды. На каждом уровне положение точки последовательно уточняется. Поиск точки происходит в окне 13x13 пикселей, построенном вокруг точки, найденной на предыдущем уровне.

Поскольку изображения третьего уровня, по нашим наблюдениям, являются излишне зашумленными, в связи с ростом производительности ЭВМ, мы начинаем поиск уже на втором уровне.

б) Вычисление поля направлений

Для каждого уровня строится поле направлений, показывающее, как ориентированы папиллярные линии отпечатка. Для этого производится свертка изображения с фильтрами, построенными по формулам

$$g(x, y) * x \tag{2}$$

$$g(x, y) * (-y), \tag{3}$$

где  $g(x, y)$  - функция гаусса с дисперсией 0,6. Из этих значений для каждой точки формируется комплексное число

$$m = (a + ib), \tag{4}$$

где  $a$  - результат обработки первым фильтром в данной точке,  $b$  - результат обработки вторым (рис. 7).

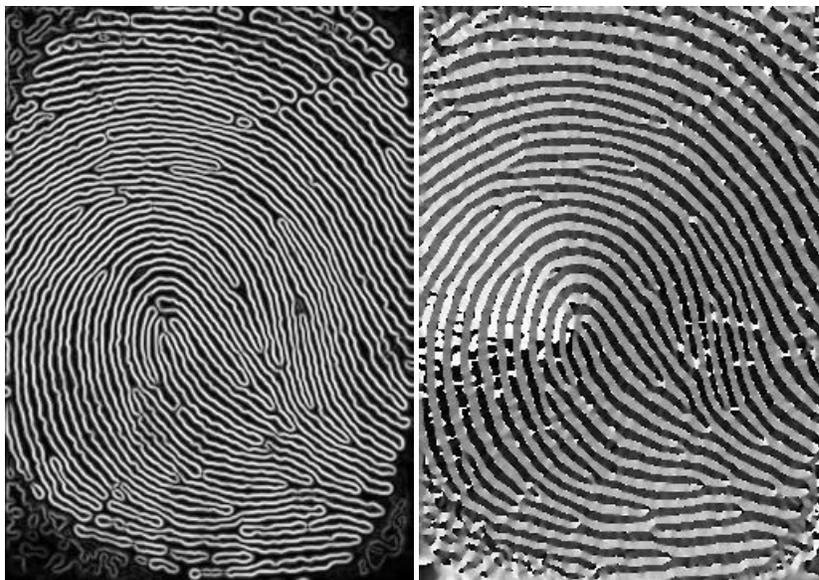


Рис. 7. Модуль и аргумент поля направлений (0 уровень)

с) Возведение поля направлений в квадрат.

Чтобы избежать смены знака при переходе угла наклона линии от  $-\pi$  к  $\pi$ , каждая точка возводится в квадрат (рис. 8).

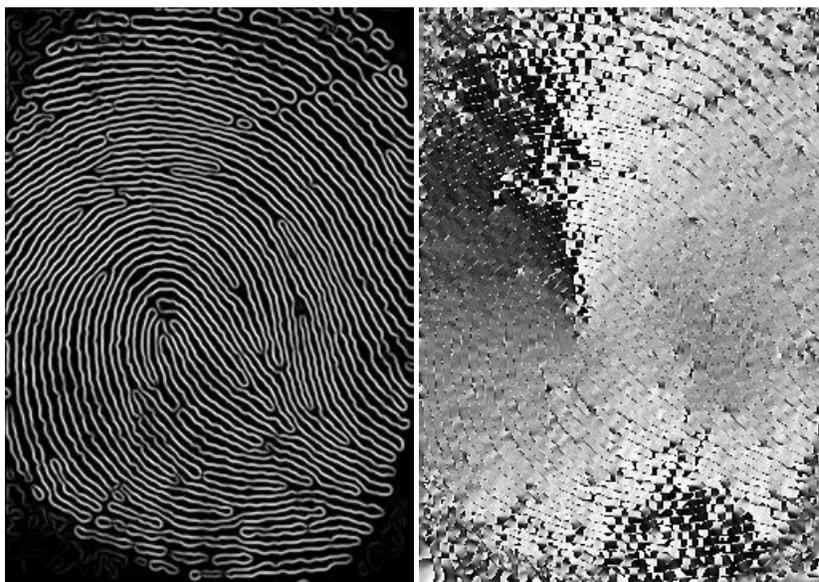


Рис. 8. Модуль и аргумент поля направлений возведенного в квадрат (0 уровень)

d) Выделение точек вращательной симметрии

К полю направлений возведенному в квадрат применяется комплексная свертка с фильтрами первой степени.

Фильтр для выделения ядра:

$$h_1(x, y) = (x + iy) * g(x, y), \quad (5)$$

Фильтр для выделения дельты:

$$h_2(x, y) = (x - iy) * g(x, y), \quad (6)$$

Результат обработки фильтром в точке представляется комплексным числом (рис. 9, рис. 10).

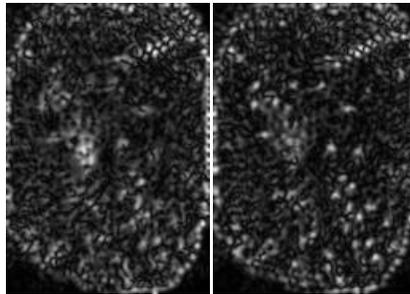


Рис. 9. Результат обработки фильтром для ядра и дельты (1 уровень)

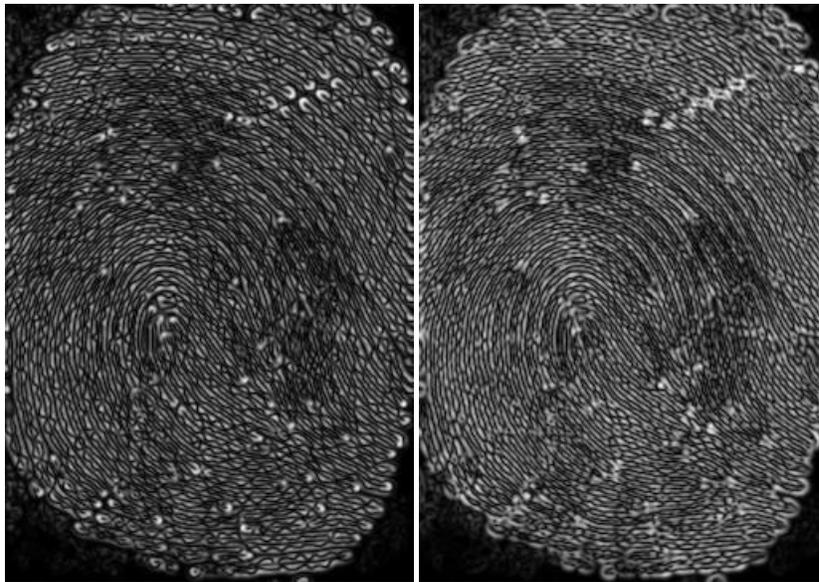


Рис. 10. Результат обработки фильтром для ядра и дельты (0 уровень)

е) Разделение точек ядра и дельты

Для того чтобы не происходило ошибочного определения результата фильтрации на точках другого типа, ответ фильтра модифицируется следующим образом:

$$s_1 = \mu_1(1 - \mu_2) * e^{i\alpha_1}, \quad (7)$$

где  $\mu_1$  - модуль результата для ядра,  $\mu_2$  - модуль результата для дельты (рис. 11, 12).



Рис. 11. Новый результат фильтрации для ядра (1 уровень)



Рис. 12. Новый результат фильтрации для ядра (0 уровень)

ф) Модификация результата обработки фильтром для нижнего уровня.

Для нижнего уровня пирамиды (в данном случае - второго) результат фильтрации модифицируется для получения лучшей точности. Это обусловлено тем, что изображение на нижнем уровне уступает остальным в качестве и тем, что ошибка в определении точки на этом уровне неизбежно приводит к ошибке всего метода.

- 1) Производится свертка поля направлений данного уровня с гауссовым фильтром с дисперсией 1,5;
- 2) Результат свертки поэлементно умножается на результат фильтрации второго уровня.
- 3) Результат фильтрации на данном уровне поточечно умножается на гауссиану с дисперсией по x равной 7 и по y равной 15.
- 4) Далее два комплексных изображения усредняются: берется 1/2 от их поточечной суммы (рис. 13).

Преобразования 1, 2 уменьшают результат обработки фильтром на областях изображения, где направление определяется не точно. Преобразование 3 уменьшает результат обработки фильтром на границах отпечатка, где часто происходят ложные определения особых точек.

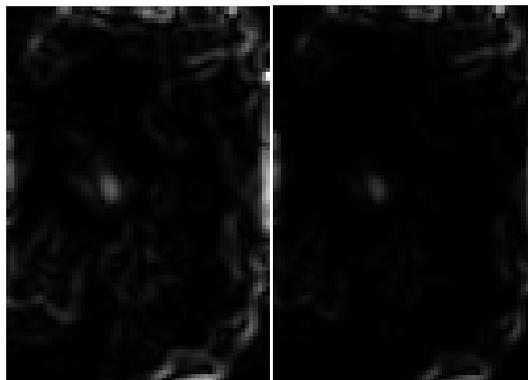


Рис. 13. Не модифицированный и модифицированный результат фильтрации  
(2 уровень, изображение увеличено)

g) Выделение особой точки

Особая точка определяется как точка абсолютного максимума модуля результата фильтрации. Для улучшения результатов и избегания ложного определения точек на границах отпечатка пальца было принято решение отсеивать точки, найденные фильтром на расстоянии меньше 5 пикселей от границы изображения. Данное значение было выбрано на основании данных экспериментов.

## 2.2. Метод, основанный на индексе Пуанкаре

Второй способ определения особых точек описан в работе [2].

Метод основан на индексе Пуанкаре. Индекс Пуанкаре показывает суммарное изменение направлений вдоль замкнутой кривой на поле направлений. Для кривой вокруг точки ядра индекс Пуанкаре принимает значение  $2\pi$  или  $\pi$  в зависимости от , для вокруг точки дельты  $-2\pi$ , во всех остальных точках - 0.

Данный метод состоит из следующих этапов:

а. Вычисление поточечного поля направлений.

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

- Вычисляются градиенты  $(G_x; G_y)$  в окрестности каждой точки с помощью свертки изображения с фильтром

$$f_1(x, y) = g(x, y) * x, \quad (8)$$

для компоненты  $x$  и

$$f_2(x, y) = g(x, y) * (-y), \quad (9)$$

для компоненты  $y$ , функция гаусса строится с дисперсией 1 (рис. 14).

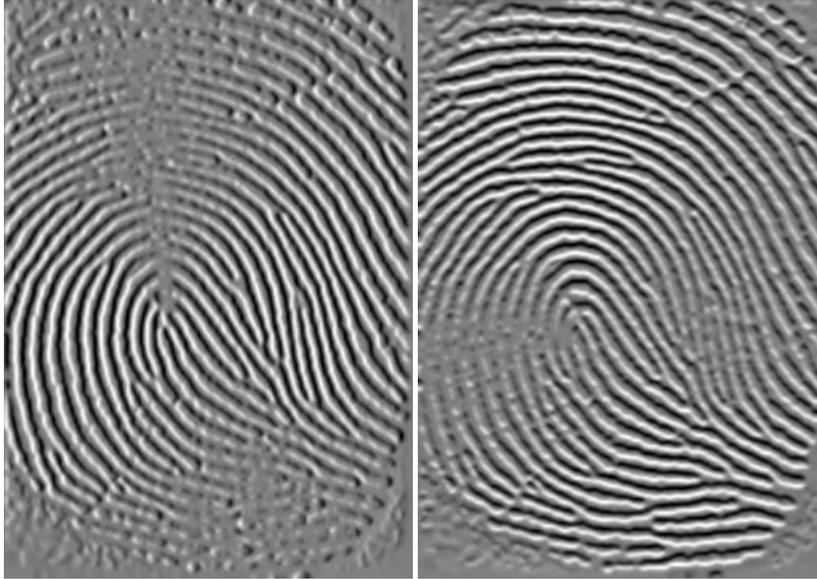


Рис. 14. Градиент изображения. Компонента x и компонента y

- Далее значения градиентов усредняются. Вычисляются значения поточечного умножения

$$G_{xx} = G_x * G_x, \quad (10)$$

$$G_{yy} = G_y * G_y, \quad (11)$$

$$G_{xy} = G_x * G_y, \quad (12)$$

Каждое из получившихся изображений сворачивается с гауссовым фильтром (с дисперсией равной 5). Далее поле направлений в точке  $i, j$  вычисляется по формуле:

$$\theta_{ij} = \frac{1}{2} \operatorname{atan2}(2G_{xy}, G_{xx} - G_{yy}), \quad (13)$$

и приводится к промежутку  $[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]$ .

Значение поля направлений представляет собой угол в радианах (рис. 15).



Рис. 15. Поле направлений

б. Поле направлений удваивается и после возводится в квадрат, чтобы избежать смены знака при переходе от  $-\pi$  к  $\pi$  (рис. 16).

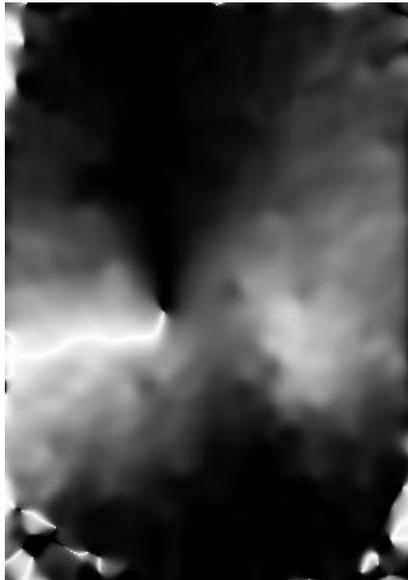


Рис. 16. Поле направлений удвоенное и возведенное в квадрат

с. Вычисляется градиент  $(J_x; J_y)$  от поля направлений, удвоенного и возведенного в квадрат. Компоненты вектора градиента вычисляются с помощью свертки поля направлений из пункта 2 с фильтрами  $f_1$  и  $f_2$ . После этого значения компонент градиента приводятся к промежутку  $[-\pi; \pi]$  (рис. 17).

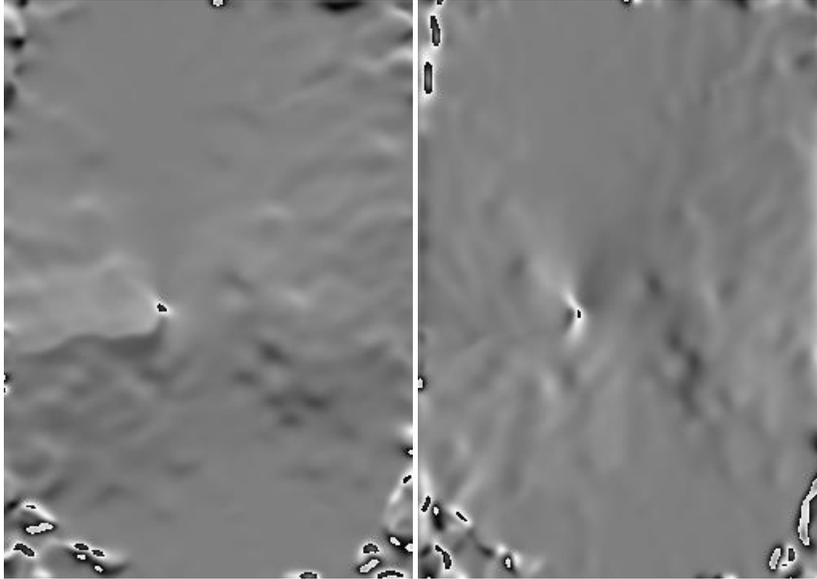


Рис. 17. Градиент поля направлений. Компоненты x и y

d. Вычисление индекса Пуанкаре.

Вместо вычисления криволинейного интеграла, по теореме Грина вычисляется интеграл по поверхности:

$$\sum_{\partial A} J_x + J_y = \sum_A \left( \frac{\partial J_y}{\partial x} + \frac{\partial J_x}{\partial y} \right), \quad (14)$$

где  $\partial A$  - контур,  $A$  - поверхность.

Соответствующие производные  $\frac{\partial J_y}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial J_x}{\partial y}$  вычисляются с помощью свертки  $J_y$  с фильтром  $f_1$ , а  $J_x$  - с фильтром  $f_2$  (рис. 18).

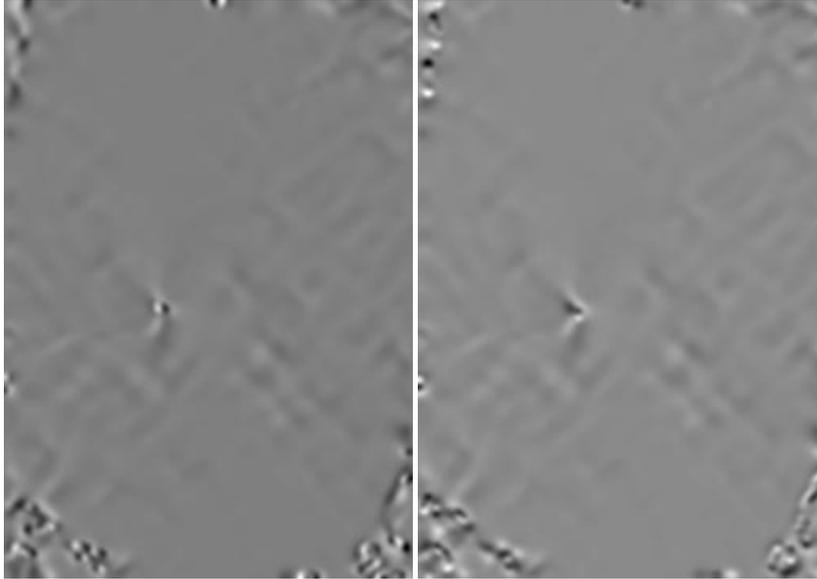


Рис. 18. Производные из формулы (13) по  $x$  и по  $y$

Поскольку индекс Пуанкаре вычисляется не от поля направлений, а от градиента, показывающего направление его изменения в некоторой окрестности, поверхность по которой вычисляется интеграл можно взять равной 1 пикселу. Это приводит к тому, что вычисление интеграла сводится к вычислению разностей соответствующих производных.

Индекс Пуанкаре вычисляется для каждой точки изображения (рис. 19).



Рис. 19. Значение индекса Пуанкаре в каждой точке изображения

е. Нахождение точки ядра

В соответствии с определением индекса Пуанкаре, точка абсолютного максимума является точкой ядра. Во избежание ложного определения точек по краям отпечатка пальца из рассмотрения исключаются точки, лежащие в менее чем 10 пикселях от границы изображения. Это значение было выбрано на основании экспериментов.

### 3. Результаты

Реализация данных методов доступна по адресу: <http://code.google.com/p/cuda-fingerprinting/>

Для оценки точности представленных методов требовалась база данных отпечатков с найденными особыми точками, которые можно было принять за эталон. Такой базы в свободном доступе найти не удалось и было принято решение самостоятельно находить и вручную отмечать точки ядра на отпечатках пальцев. Всего было обработано 400 отпечатков пальцев.

В работе использовалась база данных отпечатков пальцев FVC2000, DB2 набор A, отпечатки с 1\_1 по 50\_8. Эта часть базы данных содержит отпечатки 50 человек, по 8 отпечатков на человека. Каждый отпечаток представлен в виде изображения в формате .tif с размером 364 x 256 пикселей и разрешением 500 dpi. Стоит отметить, что FVC2000 была построена для тестирования систем распознавания отпечатков пальцев и содержит много отпечатков низкого качества.

Оба метода были применены к этому набору отпечатков, в качестве критерия было использовалось евклидово расстояние между вручную определенной точкой и точкой, найденной с помощью метода. Результаты вынесены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения рассмотренных методов

	$d \leq 15$	$15 < d \leq 30$	$d > 30$
Метод основанный на комплексных фильтрах первой степени	6,25 %	9,5 %	84,25 %
Метод, основанный на индексе Пуанкаре	27,25 %	26,5 %	46,25 %

## 4. Выводы

Основываясь на полученных данных, можно судить о том, что метод, основанный на индексе Пуанкаре дает гораздо более точные результаты, нежели метод основанный на комплексных фильтрах первой степени. В целом, такие низкие показатели распознавания могут быть обусловлены самими методами, неточностями в их описании и ошибками при реализации.

## Список литературы

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