

Влияние фильтров на классификацию дактилографии

01, январь 2015

Деон А. Ф., Ломов Д. С.

УДК: 681.3.06(075)

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

dmitrwr@gmail.com

Классы отпечатков пальцев

В традиционной дактилоскопии папиллярные узоры пальцев рук делятся на три основных класса: дуговые (около 5% всех отпечатков), петлевые (65%) и завитковые (30%); для каждого класса проводится более детальная классификация на подклассы. Исследовались пять основных классов (рис. 1) [2]: левая петля (L), правая петля (R), завиток (W), дуга (A), и полусфера (T).

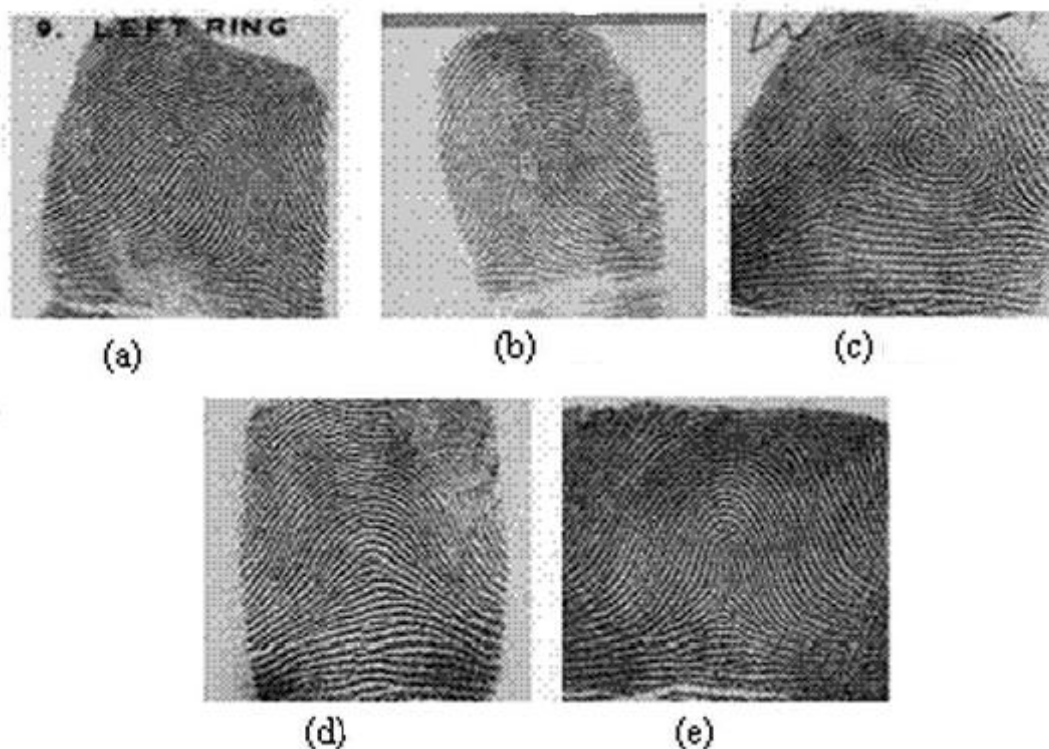


Рис. 1. Основные классы отпечатков пальцев (а - левая петля, b - правая петля, c - завиток, d - дуга, e – полусфера).

Алгоритм классификации состоит из следующих этапов (рис. 2):

- 1) улучшение качества исходного изображения отпечатка;
- 2) нормализация изображения;
- 3) получение ориентационного изображения и выделение регистрационной точки;
- 4) применение электронного фильтра обработки изображений;
- 5) разбиение изображения на секторы и получение областной маски изображения;
- 6) определение класса отпечатка пальца с помощью классификатора.

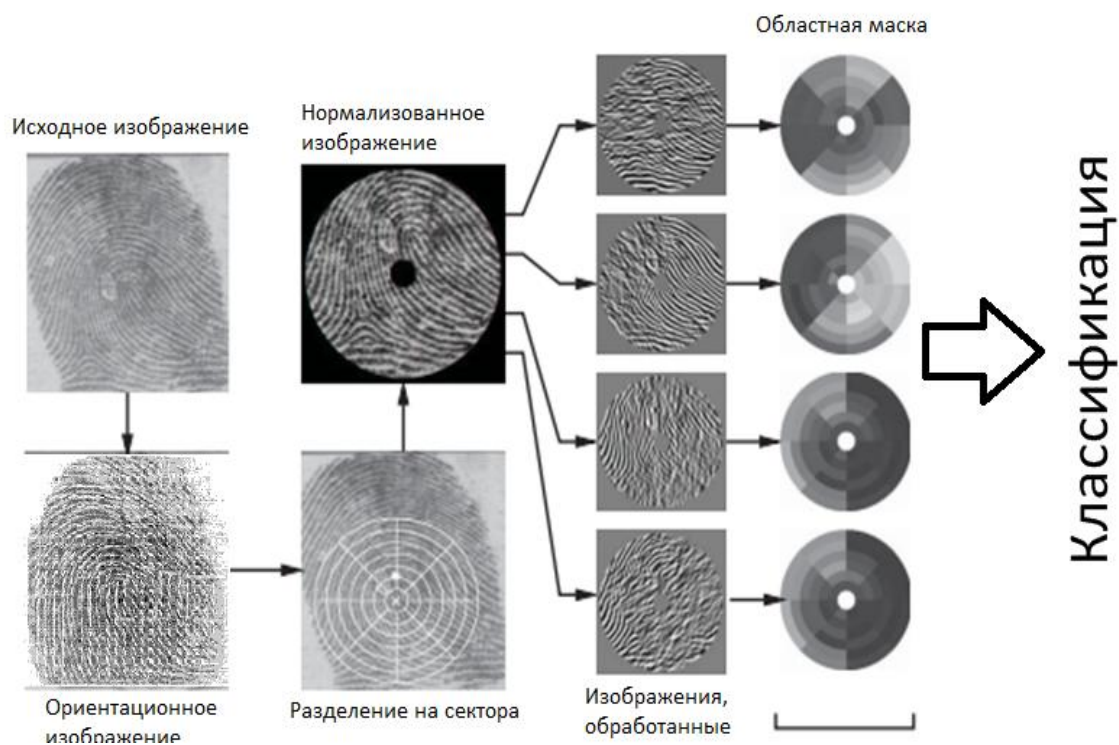


Рис. 2. Схема алгоритма классификации отпечатка пальца.

Фильтр Габора - полосовые фильтры, которые включают в себя свойства отборной ориентации и отборной частоты и имеют оптимальное объединенное пространственное и частотное решение. Применяя фильтры Габора к изображению отпечатка пальца, истинные выступы и структуры ряда могут быть хорошо выделены. Ровный симметрический фильтр Габора имеет следующую общую форму в пространственной области:

$$G(x, y; f, \gamma) = \exp \left\{ \frac{-1}{2} \left[\frac{x'^2}{\delta_x^2} + \frac{y'^2}{\delta_y^2} \right] \right\} * \cos(2\pi f x'),$$

$$x' = x \sin \gamma + y \cos \gamma,$$

$$y' = x \cos \gamma - y \sin \gamma,$$

где f - частота синусоидальной волны плоскости по направлению γ от оси X , и δ_x , и δ_y определяют Гауссовскую огибающую по осям X и Y соответственно, которые определяют

полосу пропускания фильтра Габора. В алгоритме частота фильтра f - это средняя частота выступов.

Опытным путем определены значения δ_x и δ_y , которые берутся равными 10.0. Изображение отпечатка пальца разделено на четыре составляющих изображения (рис. 3), соответствующие четырем различным значениям $\theta(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$ относительно оси X изображение отпечатка пальца свернуто с каждым из четырех фильтров Габора, чтобы произвести четыре составляющих изображения.

Фильтр Гаусса – фильтр, реализующий сглаживание с помощью Гауссиана. В данном фильтре используются формулы нормального распределения для вычисления преобразования, применяемого к каждому пикселю изображения.

Уравнение распределения Гаусса в N измерениях имеет следующий вид:

$$G(r) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{N/2}} e^{-r^2/(2\sigma^2)}.$$

В частном случае для двух измерений:

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u+v)^2/(2\sigma^2)},$$

где r — это радиус размытия, $r^2 = u^2 + v^2$, σ — стандартное отклонение распределения Гаусса.

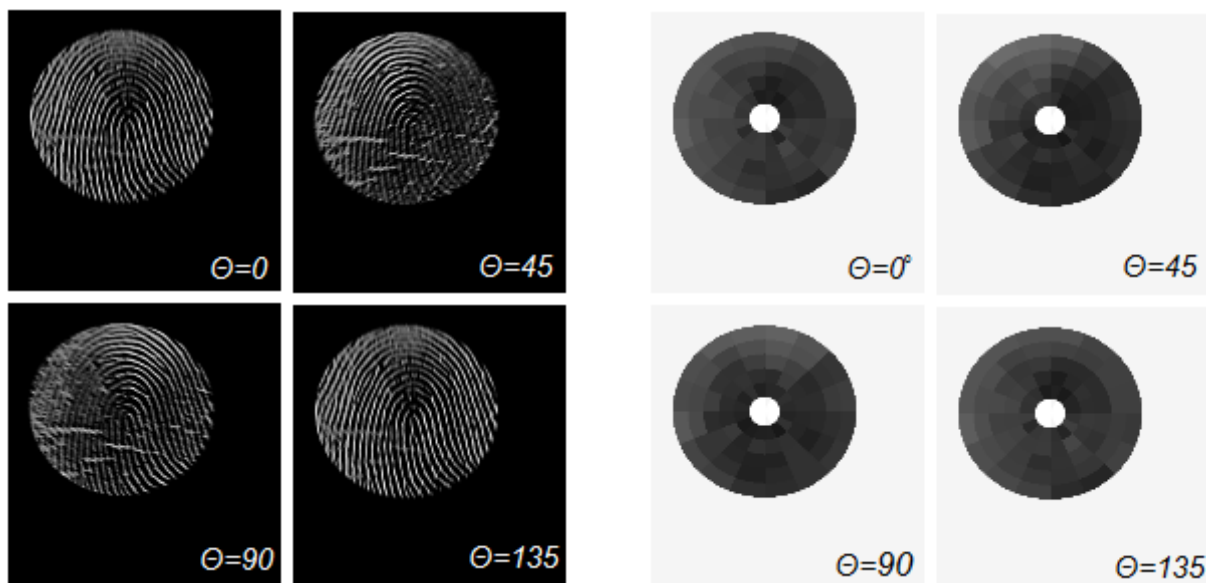


Рис. 3. Результат работы фильтра Габора (слева) и полученная областная маска (справа).

В случае двух измерений эта формула задает поверхность, имеющей вид концентрических окружностей с распределением Гаусса от центральной точки. Пиксели, где распределение отлично от нуля используются для построения матрицы свертки, которая применяется к исходному изображению. Значение каждого пикселя становится средне взвешенным для окрестности. Исходное значение пикселя принимает наибольший вес (имеет наивысшее Гауссово значение), и соседние пиксели принимают меньшие веса, в зависимости от расстояния до них.

При программной реализации дискретное ядро Гаусса задавалось с помощью следующей формулы:

$$G(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{((i-k-1)^2 + (j-k-1)^2)}{2\sigma^2}},$$

для массива размерностью $[(2k+1) \times (2k+1)]$.

Эмпирическим путем для разделения изображения на четыре составляющих были подобраны следующие значения коэффициентов:

$k = [3; 4; 5; 6]$, $\sigma = [1.5; 1.75; 2; 2.25]$ (рис. 4).

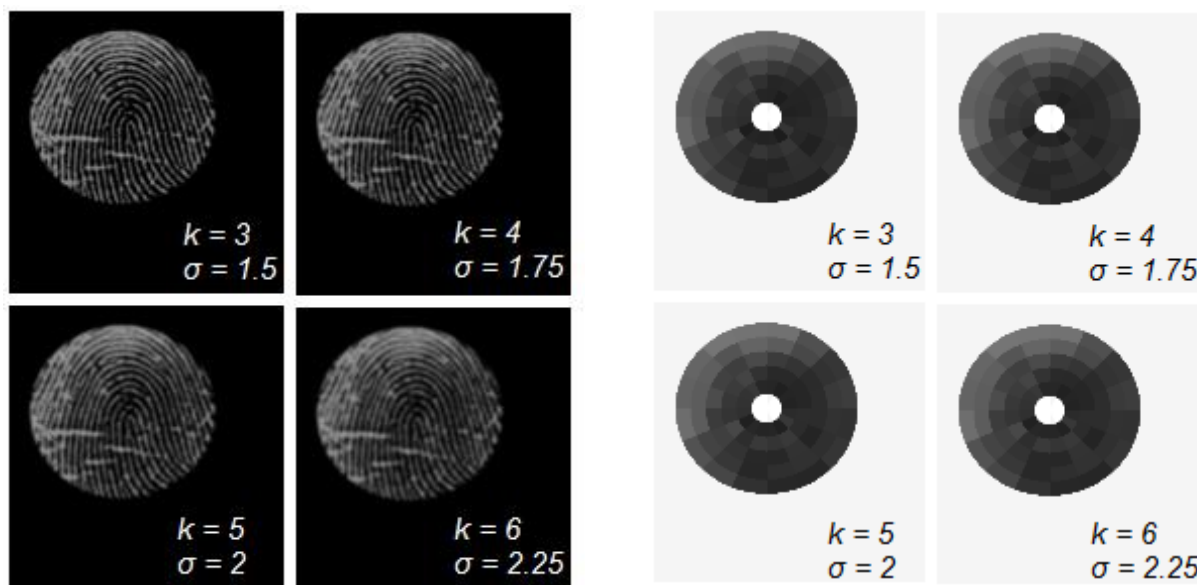


Рис. 4. Результат работы фильтра Гаусса (слева) и полученная областная маска (справа)

Медианные фильтры, основанные на порядковых статистиках, относятся к классу нелинейных пространственных фильтров. Отклик такого фильтра определяется предварительным упорядочиванием значений пикселей, покрываемых маской фильтра, и последующим выбором значения, находящегося на определенной позиции упорядоченной по-

следовательности. Медианный фильтр заменяет значение пикселя на значение медианы распределения яркостей всех пикселей в окрестности (включая и исходный). Для определенных типов шумов они демонстрируют отличные возможности подавления шума при значительно меньшем эффекте расфокусировки, чем у линейных сглаживающих фильтров с аналогичными размерами. Медианные фильтры подчиняются следующему соотношению: [1]

$$f(x, y) = med_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}.$$

В качестве составляющих комплекса эмпирическим путем были выбраны фильтры с размерностью 3x3 и 4x4 (рис. 5).

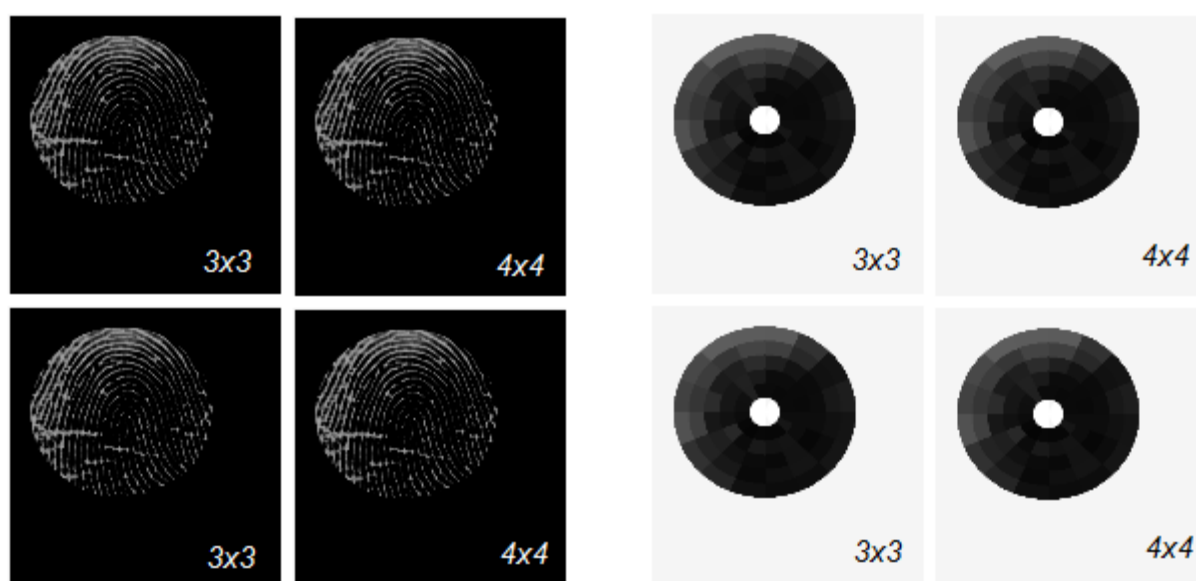


Рис. 5. Результат работы медианного фильтра (слева) и полученная областная маска (справа)

Электронные фильтры в задаче классификации отпечатков пальцев

В качестве итога работы классификатора представляется список ближайших соседей классифицируемого отпечатка (выборка), рассчитанные веса и предположение о наиболее вероятной его принадлежности к одному из классов. Пример результата работы классификатора представлен на рисунке 6.

Для сравнения влияния фильтров на работу классификатора были произведены следующие исследования:

- Определение наиболее вероятных классов отпечатков пальцев при обработке изображений с помощью фильтров Габора, Гаусса и медианного фильтра;

- Определение вторых по вероятности классов отпечатков пальцев (для неправильно определенных классов);
- Сравнение данных (классов) из выборки с установленным классом отпечатка (т.е. реальным наименованием класса);
- Сравнение выборок для результатов, полученных при обработке изображения различными фильтрами;
- Определение весов установленных классов для списка проверяемых отпечатков;
- Временное сравнение работы фильтров.



Ближайшие соседи:

1. Правая петля(0), Отклонение: 29
2. Правая петля(9), Отклонение: 29
3. Левая петля(7), Отклонение: 217
4. Завиток(25), Отклонение: 310
5. Правая петля(1), Отклонение: 319
6. Завиток(4), Отклонение: 333
7. Завиток(11), Отклонение: 345
8. Полусфера(45), Отклонение: 363
9. Дуга(6), Отклонение: 368
10. Полусфера(43), Отклонение: 370

Принадлежность к классу.

Взвешенное голосование:

Левая петля: Сумма = 0,0046

Правая петля: Сумма = 0,0716

Завиток: Сумма = 0,0091

Дуга: Сумма = 0,0027

Полусфера: Сумма = 0,0055

Отпечаток принадлежит к классу:

Правая петля

Рис. 6. Пример результата классификации для представленного (слева) отпечатка пальца

Сравнение фильтров по влиянию на точность классификации

Работа фильтров проверялась на базах данных, использующих одинаковые образцы отпечатков пальцев и состоявших из значений областных масок, полученных после обработки конкретным фильтром. Размерность каждой базы данных – 50 экземпляров отпечатков.

В таблице 1 показаны результаты классификации для набора отпечатков пальцев при обработке изображений при помощи фильтров Габора, Гаусса и медианного фильтра.

Таблица 1 Результаты классификации

№	Образец	Фильтр Габора	Фильтр Гаусса	Медианный фильтр
1	Завиток	Завиток	Завиток	Завиток
2	Завиток (плохое качество)	Завиток	Завиток	Завиток
3	Завиток	Завиток	Завиток	Завиток
4	Полусфера	Полусфера	Завиток	Левая петля
5	Правая петля (плохое качество)	Полусфера	Левая петля	Левая петля
6	Правая петля	Правая петля	Завиток	Завиток
7	Завиток	Завиток	Завиток	Завиток
8	Завиток / Левая петля	Завиток	Полусфера	Завиток
9	Завиток	Завиток	Завиток	Завиток
10	Завиток (плохое качество)	Завиток	Левая петля	Полусфера
11	Завиток	Завиток	Завиток	Завиток
12	Завиток	Завиток	Завиток	Завиток
Количество неверно определенных		1	5	4
Доля отпечатков с плохим качеством		1 / 1 (100%)	2 / 5 (40%)	2 / 4 (50%)
Неправильно определенных с плохим качеством		1 / 3 (33%)	2 / 3 (67%)	2 / 3 (67%)
Точность		92%	58%	67%

При обработке изображения с помощью фильтра Габора классификатор показывает наиболее точные результаты (на 25% точнее, чем при обработке медианным фильтром и на 34% точнее, чем при обработке фильтром Гаусса). При этом результаты работы при обработке медианным фильтром на 9% точнее, чем при обработке фильтром Гаусса. При проведении эксперимента было использовано несколько отпечатков пальцев с плохим качеством. Данные изображения оказали наибольшее влияние на ошибку при классификации (доля отпечатков с плохим качеством среди неправильно определенных - от 40 до 100%). При этом классификатор при обработке отпечатка фильтром Габора показал наиболее точные результаты (один неверно определенный класс, против двух при обработке другими фильтрами).

Поскольку при классификации возможно возникновение погрешности, при идентификации человека по отпечатку пальца имеет смысл осуществить поиск второго по вероятности класса. В таблице 2 приведены результаты определения второго по вероятности класса среди набора неверно распознанных изображений.

Таблица 2 Второй по вероятности определения класс среди неправильно определенных отпечатков

№	Образец	Фильтр Габора	Фильтр Гаусса	Медианный фильтр
4	Полусфера	ОВ*	Левая петля	Полусфера
5	Правая петля (плохое качество)	Левая петля	Полусфера	Завиток
6	Правая петля	ОВ*	Левая петля	Левая петля
8	Завиток/Левая петля	ОВ*	Завиток	ОВ*
10	Завиток (плохое качество)	ОВ*	Завиток	Завиток
Доопределено		0	2 / 5 (40%)	2 / 4 (50%)
Суммарно определено верно		11 / 12 (92%)	9 / 12 (75%)	10 / 12 (83%)

* ОВ - класс определен верно

После проведения данного исследования, при использовании фильтров Гаусса и медианного фильтра, было доопределено верно два из пяти отпечатков (фильтр Гаусса) и два из четырех (медианный фильтр) соответственно. Это позволило повысить точность определения класса на 17% - для фильтра Гаусса и на 16% - для медианного фильтра. Таким образом фильтр Габора стал работать точнее фильтра Гаусса на 17% и точнее медианного фильтра на 9%.

Исследование выборок для набора классифицируемых отпечатков было произведено путем сравнения их между собой, а также с установленным классом отпечатка в каждом изображении из набора. Результат определения совпадения элементов выборки с predetermined классом (т.е. реальным наименованием класса) представлен в таблице 3.

Таблица 3 Совпадение элементов выборки с predetermined классом

№	Фильтр Габора, %	Фильтр Гаусса, %	Медианный фильтр, %
1	50	60	70
2	50	50	40
3	50	60	70
4	60	20	30
5	10	20	20
6	50	10	10
7	40	30	30
8	30	30	50
9	40	50	40
10	40	30	20
11	30	40	50
12	50	50	30
Среднее	41,7	37,5	38,3

В результате расчетов было выявлено, что при обработке отпечатка фильтром Габора выборка содержит на 3,4% больше элементов установленного класса, чем при обработке медианным фильтром и на 4,2% больше, чем при обработке фильтром Гаусса.

Сравнение выборок при обработке изображения различными фильтрами приведено в таблице 4. При проведении исследования определялось число совпадений элементов выборок для каждого отпечатка из набора при обработке отпечатка фильтром Гаусса и медианным фильтром с элементами выборки при обработке изображения фильтром Габора. Фильтр Габора был выбран в качестве базового, поскольку проведенные ранее исследования показали его наибольшее положительное (среди трех фильтров) влияние на точность классификации.

Таблица 4 Сравнение выборок для результатов при обработке фильтрами

№	Разница* (Фильтр Гаусса)	Разница* (Медианный фильтр)	Совпадения** (Фильтр Гаусса), ед.	Совпадения** (Фильтр Гаусса), %	Совпадения** (Медианный фильтр), ед.	Совпадения** (Медианный фильтр), %
1	6	4	7	70	8	80
2	4	2	8	80	9	90
3	6	4	7	70	8	80
4	7	8	6	60	6	60
5	6	10	7	70	5	50
6	8	8	6	60	6	60
7	6	6	7	70	7	70
8	4	6	8	80	7	70
9	2	4	9	90	8	80
10	4	4	8	80	8	80
11	6	6	7	70	7	70
12	4	6	8	80	7	70
Сумма	63	68	88	-	86	-
Среднее	5,3	5,7	7,3	73,3	7,2	71,7

*Суммарная разница различия от выборки, полученной классификатором после работы фильтра Габора

**Количество совпадений элементов выборок, полученных после применения указанных фильтров с элементами выборки, полученной классификатором после работы фильтра Габора

Проведенный эксперимент показал, что фильтры обладают достаточно высокой степенью совпадения выборок (73,3% для фильтра Гаусса и 71,7% для медианного фильтра). При этом фильтр Гаусса обладает большей степенью совпадения с фильтром Габора на 1,7%. Это можно объяснить принадлежностью двух фильтров к одному типу.

В таблице 5 приведены данные о весах предопределенных (для неправильно определенных классов) и наиболее вероятных классов (для правильно определенных).

Таблица 5 Вес установленного класса отпечатка в полученной выборке

№	Образец	Фильтр Габора	Фильтр Гаусса	Медианный фильтр
1	Завиток	0,0162	0,0169	0,0152
2	Завиток (плохое качество)	0,0101	0,0067	0,0107
3	Завиток	0,0162	0,0169	0,0152
4	Полусфера	0,0055	0,0021	0,0029
5	Правая петля (плохое качество)	0,004	0,0036	0,0055
6	Правая петля	0,0166	0,002	0,0057
7	Завиток	0,0072	0,004	0,004
8	Завиток/Левая петля	0,0095	0,0087	0,0205
9	Завиток	0,0086	0,0087	0,0076
10	Завиток (плохое качество)	0,0108	0,0071	0,0047
11	Завиток	0,0104	0,0117	0,0135
12	Завиток	0,016	0,013	0,0084
Сумма		0,1311	0,1014	0,1139

На основании полученных сумм весов можно подтвердить вывод о наибольшей точности работы классификатора после обработки фильтром Габора, по сравнению с другими рассмотренными фильтрами. Сумма весов для классов, определенных после обработки данным фильтром в 1,29 раз превышает значения для классов, определенных после обработки фильтром Гаусса и в 1,15 раз превышает значения для классов, определенных после обработки медианным фильтром. При этом, вопреки предположениям, медианный фильтр показал более удовлетворительные результаты по сравнению с фильтром Гаусса на всех тестах, кроме проверки совпадения выборок классов.

Таким образом, целесообразно применять фильтр Габора в алгоритме классификации в том случае, если требуется повысить ее точность. Расхождение между точностями результатов классификации после обработки отпечатка пальца фильтром Гаусса и медианным фильтром составляет менее 10%.

Сравнение времени работы фильтров

Для представленных образцов исследуемого набора отпечатков был произведен расчет времени обработки изображения каждым электронным фильтром.

Время работы фильтра Габора в среднем в 1,59 раз превышает время работы фильтра Гаусса и в 8 раз превышает время работы медианного фильтра. Медианный фильтр работает в 5 раз быстрее фильтра Гаусса.

Таким образом, целесообразно применять медианный фильтр при необходимости значительно повысить скорость классификации (при этом точность классификации должна иметь меньшее значение).

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1070 с.
2. Prabhakar S. Fingerprint Classification and Matching Using a Filterbank. East Lansing: Submitted to Michigan State University, 2001. 240 p.
3. Сойфер В. А. Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2003. 780 с.
4. Handbook of fingerprint recognition /Davide Maltoni[и др.]. New York: Springer, 2003. 496 p.