

ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА ГАБОРА

В.В. Иванова, Н.Н. Минакова

Алтайский государственный университет, г. Барнаул

В последние годы направление биометрической идентификации личности применяется достаточно активно [1-3]. Широко используются в качестве идентификационного признака отпечатки пальцев рук [4-5]. Качество дактилоскопической идентификации в последние годы заметно повысилось. Однако в прикладных задачах все еще не решены фундаментальные вопросы адаптивности систем и устойчивости к подделкам. Качественная система должна уметь работать на любых изображениях отпечатков пальцев, имеющих пригодное для распознавания качество, без привязки к сенсору или способу снятия изображения. В то же время существующие алгоритмы распознавания обычно привязаны к некоторым константным значениям, которые были выбраны на момент обучения системы.

Выполненный анализ литературных данных дает основания полагать, что исследования в сфере технологий и методов идентификации личности по отпечаткам пальцев рук являются актуальными [6, 7]. Существенная часть таких исследований касается обработки изображений отпечатков пальцев. Цифровые изображения в значительной степени подвержены негативному влиянию шумов, которые могут возникать в зависимости от метода получения изображения, его передачи или преобразования. Поэтому предобработка изображений включает фильтрацию. Выделяют частотную и пространственную фильтрацию [8]. Методы преобразования изображений основываются на функции Фурье и заключаются в представлении исходной функции в виде суммы тригонометрических функций различных частот, умноженных на заданные коэффициенты. Пространственные методы преобразования изображений основываются на прямом манипулировании пикселями изображения.[8]

При обработке изображения для распознавания границ объектов применяется фильтр Габора. Формула, по которой строится фильтр Габора, имеет вид [9, 10]:

$$f(x, y) = \exp\left(\frac{-x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \cos 2\pi f(x\sin\theta + y\cos\theta) \quad (1)$$

где x, y – координаты точки; σ – дисперсия гауссиана; f – частота; θ – ориентация фильтра. Параметры σ и f относятся к маске фильтра, θ – к ориентации фильтра над изображением.

Основной трудностью использования фильтра Габора является подбор входных коэффициентов. Их расчет требует большого количества вычислительных ресурсов, вследствие чего увеличивается время обработки изображения [9]. В прикладных задачах коэффициенты подбираются вручную. Поэтому полученный фильтр подходит только под конкретные изображения и не дает гарантию точности преобразований. Такой метод является чувствительным к малейшим изменениям изображений. Он зачастую применим только к тем изображениям, на которых разрабатывался и тестировался [10], поэтому актуально совершенствование подхода к определению коэффициентов в фильтре Габора. В работе предлагается подход, позволяющий рассчитывать коэффициенты вместо используемого подбора [11 - 19]. За основу взят алгоритм, изложенный в [11].

Особенность предложенного в работе подхода заключается в том, что карта частот оценивается на квадратной сетке размером $16*16$ пикселей. Быстрое преобразование Фурье применяется к каждому блоку размером $32*32$ пикселей, которые расположены в центре каждой сетки. Выполняется не поиск максимального значения спектра Фурье в некоторой точке, а поиск максимально яркой области. Таким образом, производится расчет среднего значения яркости по всей маске. Затем

происходит сравнение областей. Далее в самой яркой области производится поиск самого яркого пикселя. Направление θ_d для каждого блока d вычисляется по формуле: [11]:

$$\theta_d = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n 2G_x(i,j)G_y(i,j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (G_x(i,j)^2 - G_y(i,j)^2)} \right) \quad (2)$$

Где

$$G_x \neq 0, G_y \neq 0$$

n – размер блока; $G_x(i, j)$, $G_y(i, j)$ —значения градиентов по осям пикселя (i, j) . Далее значения направлений записываются в результирующий вектор, на основе которого происходит дальнейшая фильтрация изображения.

Пусть u и v - координаты точки с максимальным значением спектра Фурье $|F(u, v)|$. Координаты отдельно корректируются для каждой координатной оси с учетом соседства в спектре Фурье с наибольшим значением [11]:

$$u'_m = \begin{cases} u_m - \frac{|F(u_m, v_m - 1)|}{|F(u_m, v_m - 1)| + |F(u_m, v_m)|}, & \text{если } |F(u_m, v_m - 1)| > |F(u_m, v_m + 1)| \\ u_m + \frac{|F(u_m, v_m + 1)|}{|F(u_m, v_m + 1)| + |F(u_m, v_m)|}, & \text{если } |F(u_m, v_m - 1)| < |F(u_m, v_m + 1)| \end{cases} \quad (3)$$

$$v'_m = \begin{cases} v_m - \frac{|F(u_m - 1, v_m)|}{|F(u_m - 1, v_m)| + |F(u_m, v_m)|}, & \text{если } |F(u_m - 1, v_m)| > |F(u_m + 1, v_m)| \\ v_m + \frac{|F(u_m + 1, v_m)|}{|F(u_m + 1, v_m)| + |F(u_m, v_m)|}, & \text{если } |F(u_m - 1, v_m)| < |F(u_m + 1, v_m)| \end{cases} \quad (4)$$

Гребневая частота определяется как расстояние между пиком спектра Фурье и центральной точкой карты. Локальная гребневая частота в точке (i, j) рассчитывается по формуле [11]:

$$f_{ij} = \frac{\sqrt{(u'_m - \frac{N}{2})^2 + (v'_m - \frac{N}{2})^2}}{N} \quad (5)$$

Для апробации предложенного подхода к расчету фильтра Габора разработано программное обеспечение для идентификации человека по отпечаткам пальцев. Оно включает в себя модули предварительной обработки изображения (фильтрации с использованием адаптивного фильтра Габора), выделение контрольных точек и модуль сопоставления новых отпечатков с эталоном.

Разработка велась на языке программирования Python с применением библиотек OpenCV, NumPy, Scikit-Image, Math. Алгоритм работы программы включает следующие этапы работы с изображением отпечатка пальцев [2 - 5]:

1. Нормализация.
2. Фильтрация.
3. Бинаризация.
4. Скелетизация.
5. Детектирование контрольных точек.
6. Описание контрольных точек.
7. Сравнение с эталоном.
8. Решение о схожести.

Обработка нормализованного изображения выполнялась маской ROI (Region of interest – информативная область). Это позволяет удалять неинформативные участки изображения, освобождать края на случай выхода маски за пределы изображения. Для расчета ядра Габора строилась матрица ориентаций для изображений. Далее рассчитывалась карта частот. По результатам работы функций расчета градиентов и локальных частот формировались карты ориентации и локальных частот.

На основании всех полученных карт частот и ориентации выполнена адаптивная фильтрация изображения фильтром Габора. Установлено, что на изображениях отсутствуют паразитные шумы, случайные разрывы линий, потовые поры. Рисунок папиллярных линий сохранен и изображения полностью пригодны к дальнейшей обработке. Применен стандартный метод адаптивной бинаризации с использованием Гауссиана [13]. Скелетизация была реализована стандартной функцией `skeletonize` из библиотеки `open cv`. Детектирование и описание контрольных точек выполнено при помощи набора стандартных методов, относящихся к дескриптору ORB [12, 20],

Распознавание и сравнение отпечатков проводилось при помощи поиска приемлемого доверительного интервала между контрольными точками. Интервал определялся при помощи стандартных функций из библиотеки `OpenCV` и встроенного в него классификатора `k` ближайших соседей: если число совпадений выше порогового, то пользователь считается легальным, если ниже – нарушителем.

Тестирование программы проводилось на свободно распространяемом датасете FVC2002. Анализировались отпечатки пальцев рук 10 персон по 8 снимков: тестирование проходило на 80 снимках отпечатков. Для сравнения результатов фильтрации изображений отпечатков пальцев были загружены изображения из свободно распространяемой базы отпечатков пальцев FVC2002 (рисунок 1). Каждое из них подвергалось обработке при помощи предложенного метода адаптивной фильтрации и обычно используемого метода подбора коэффициентов (рис. 2).



Рисунок 1 – Входные изображения для обработки

На рисунках 2 и 3 представлены результаты сравнения методов фильтрации. Левое изображение (а) является результатом фильтрации при помощи описанного метода адаптивного расчета коэффициентов ядра Габора. Правое изображение (б) является результатом фильтрации при помощи стандартного метода подбора коэффициентов фильтра. Установлено, что применение разработанного метода фильтрации позволяет получить изображения, пригодные для дальнейшего анализа.

Предложенный подход анализировался на датасете FVC 2002 DB1. Были выбраны 5 ближайших участников FVC2002. Выявлено, что относительно других участников разрабатываемый алгоритм (отмечен в таблице как VI) по параметру FMR (False Match Rate – вероятность ложного совпадения параметров) лучше, чем участники PA20, PA28 и PA18.

Таким образом, фильтрация по предложенному в работе подходу может быть применена для широкого спектра изображений. Она включает автоматизированное адаптивное вычисление коэффициентов ядра фильтра Габора при помощи матриц ориентации и нахождения локальных частот на основе спектра Фурье.

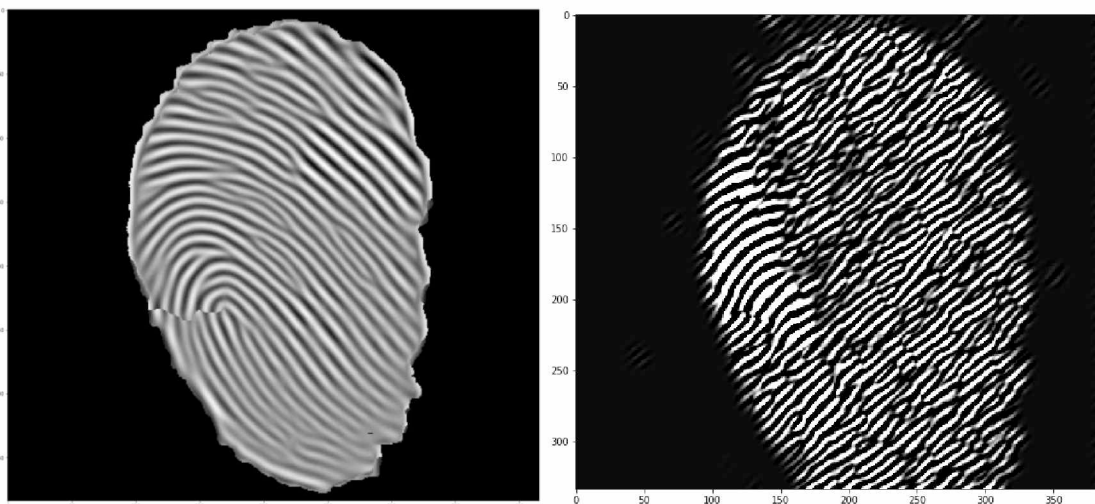


Рисунок 2 – Результаты фильтрации изображения:
а) Методом адаптивной фильтрации, б) Методом подбора коэффициентов.

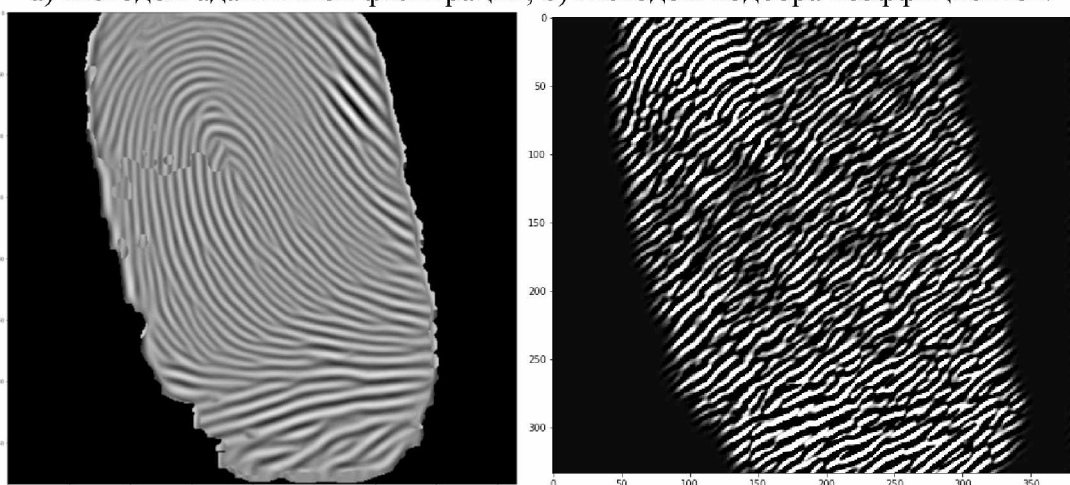


Рисунок 3 – Результаты фильтрации изображения:
а) Методом адаптивной фильтрации, б) Методом подбора коэффициентов.

Таблица. Сравнительные результаты с другими участниками FVC2002

Name	PA20	PA21	VI	PA28	PA07	PA18
FMR, %	9	7	7	9	7	14

Библиографический список.

1. Минакова Н.Н., Поляков В.В., Толстошеев С.Н. Методы технической и правовой защиты информации в сети Интернет //Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2015. – 155с.
2. Минакова Н.Н., Петров И.В. Информационная система идентификации личности по слабо различимым текстурам радужной оболочки глаза в видимом диапазоне излучения. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. - 2014. - № 2 (32). - С. 105 – 107.
3. Болл Р.М., Коннел Дж.Х., Панканти Ш., Ратха Н.К., Сеньор Э. У. Руководство по биометрии // М. Изд-во Техносфера, - 2007. – 370с.
4. Михайлов А.А., Колосков А.А., Дронов Ю.И. Основные параметры биометрических систем// Алгоритм безопасности – 2015. - №5. – С. 58-61
5. Задорожный В. Идентификация по отпечаткам пальцев. // PC Magazine, - 2004 - № 1, 2.

6. Каменский А.М. Повышение качества отпечатков пальцев методом коэффициентов отражения//Информационные процессы и управление – 2008. - №3-4. – С.5-9;
7. Фан Нгок Хоанг, В.Г. Спицын. Алгоритмы для классификации отпечатков пальцев на основе применения фильтра Габора, вейвлет-перобразования и многослойной нейронной сети// известия Томского политехнического университета.— 2012. – Т.320. -- №5. – С.60-61.
8. Гонсалес Р., Задорожный В. Цифровая обработка изображений // PC Magazine – 2004. - № 1, 2,.
9. Гудков В.Ю., Бойцов А.В. Улучшение изображений отпечатков пальцев с помощью фильтра Габора / Вестник ЮУрГУ – 2015. -№1. –Т. 15. –С.128-132;
10. Жуковский В.В., Сай С.В. Способ улучшения качества изображения отпечатка пальца// Вестник ТОГУ - 2009. - №4(15). – С. 31-38.
11. Patriciu V.V. Fingerprint Ridge Frequency Estimation in the Fourier Domain.// Advances in Electrical and Computer Engineering – 2014 -Т.14. - №4. – С.95-98.
12. Harris Corner Detection [Электронный ресурс] / OpenCV 3.0.0-dev documentation - URL: https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_feature2d/py_features_harris/py_features_harris.html
13. Image tresholding [Электронный ресурс]: OpenCV documentation Open source computer vision. – URL: https://docs.opencv.org/3.4.0/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html
14. Kamei T. Image filter design for fingerprint enhancement in N. Ratha and R. Bolle (Eds.)// Automatic Fingerprint Recognition Systems. - 2004. - С. 113-126.
15. Yin Y., Tian J., Yang X. Ridge distance estimation in fingerprint images: algorithm and performance evaluation // EURASIP Journal on Applied Signal Processing – 2004. - Т. 2004. - №4. -С.495-502.
16. Chikkerur S., Cartwright A.N., Govindaraju V. Fingerprint enhancement using STFT analysis // Pattern Recognition – 2007.- Т.40. - №1. - С.198-211.
17. Gottschlich C. Curved-region-based ridge frequency estimation and curved Gabor filters for fingerprint image enhancement // IEEE Transactions on Image Processing – 2012. - Т.21. - №. 4. - С. 2220-2227.
18. Kovacs-Vajna Z.M., Rovatti R., Frazzoni M. Fingerprint ridge distance computation methodologies // Pattern Recognition. -2000. - Т.33. - №.1. - С. 69-80.
19. Ratha Nalini K, Chen Shaoyun, Jain Anil K. Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images// Pattern Recognition. - 1995. - Т. 28. - №11. - С.2825-2830
20. ORB (Oriented FAST and Rorated BRIEF) [Электронный ресурс]: OpenCV documentation Open source computer vision. – URL: https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_feature2d/py_orb/py_orb.html