

УДК 004.932

Н.С. Баша, Л.А. Шульга

ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики»;
ул. 9 Мая, д. 7А, г. Дубна Московской области, 141980;
natalia.basha@niipa.ru, luda.shulga@niipa.ru

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ПОР ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА К-СРЕДНИХ

Получена 1 июня 2010 года

Опубликована 30 июня 2010 года

05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации

Выделение пор является этапом обработки отпечатков пальцев, используемых в задачах идентификации личности. Современные сканеры с разрешением 1000 dpi позволяют получать отпечатки высокого качества, где отчетливо видны поры (средняя плотность 6-8 штук на 1 см гребня). В работе предложен алгоритм автоматического выделения пор, относящий каждую точку отпечатка к объектам трех классов: гребень, борозда и пора по яркости изображения с использованием метода к-средних. Приведены результаты его работы и проведен анализ эффективности его применения на основе базы из 100 отпечатков 10 людей.

Ключевые слова: распознавание образов, анализ изображений, биометрия, дактилоскопия, выделение пор, метод к-средних

ВВЕДЕНИЕ

Идентификация по отпечатку пальца является одним из самых надежных методов идентификации личности. Метод основан на таких свойствах отпечатков пальцев как уникальность и устойчивость. Было установлено, что не существует двух человек (включая близнецов) с полностью идентичными отпечатками пальцев. Так же было замечено, что отпечатки не изменяются со временем, так как представляют собой борозды и впадины на поверхности дермы (исключения могут составлять физические повреждения, приводящие к возникновению шрама в области, контактирующей с сенсорной площадкой сканера).

Первая научная работа о папиллярных узорах, датируемая 1823 г., принадлежит профессору Бреславльского университета Я.-Э.Пуркинью. Он описал типы узоров, которые используются до сих пор в криминалистике. В 1824 г. врач Генри Фолдс представил чернильный отпечаток пальца как средство идентификации человека. Он же первым использовал его в практике опознавания преступника. В 1872 г. английский антрополог Френсис Гальтон первым заметил неповторимость отпечатков и создал первую систему классификации папиллярных узоров, разделяя их на 3 типа: арки, петли и завитки [6]. В 1912 г. Локкард исследовал вопрос применимости пор для идентификации личности и продемонстрировал, что 20-40 пор отпечатка пальца достаточно для надежной идентификации человека [5].

В настоящее время принята 3-х уровневая система классификации признаков дактилоскопической идентификации (рис. 1). Признаки 1-го уровня – это образы или макродетали отпечатка [1, 2], которые формируют гребни (дуги, завитки, петли и т.п.). Признаки 2-го уровня, или особые точки, называемые характеристиками Гальтона или деталями (Galton characteristics или minutiae), представляют собой точки изменения рисунка гребня – точки бифуркации и конечные точки. Признаки 3-го уровня, или признаки формы, включают всевозможные особенности поведения гребней (отклонение, ширина, форма, наличие и расположение пор, контур края, зарождающиеся гребни, разрыв, изгиб, шрамы, царапины и т.п.).

Статистический анализ признаков 1-го уровня показывает, что хотя они не уникальные, однако полезные для классификации. Признаки 2-го уровня имеют большую разделяющую силу для установления индивида по отпечатку пальца [3, 4, 5]. Согласно данным судебных экспертов, признаки 3-го уровня постоянны, неизменны и уникальны, и если признаки обнаружены,

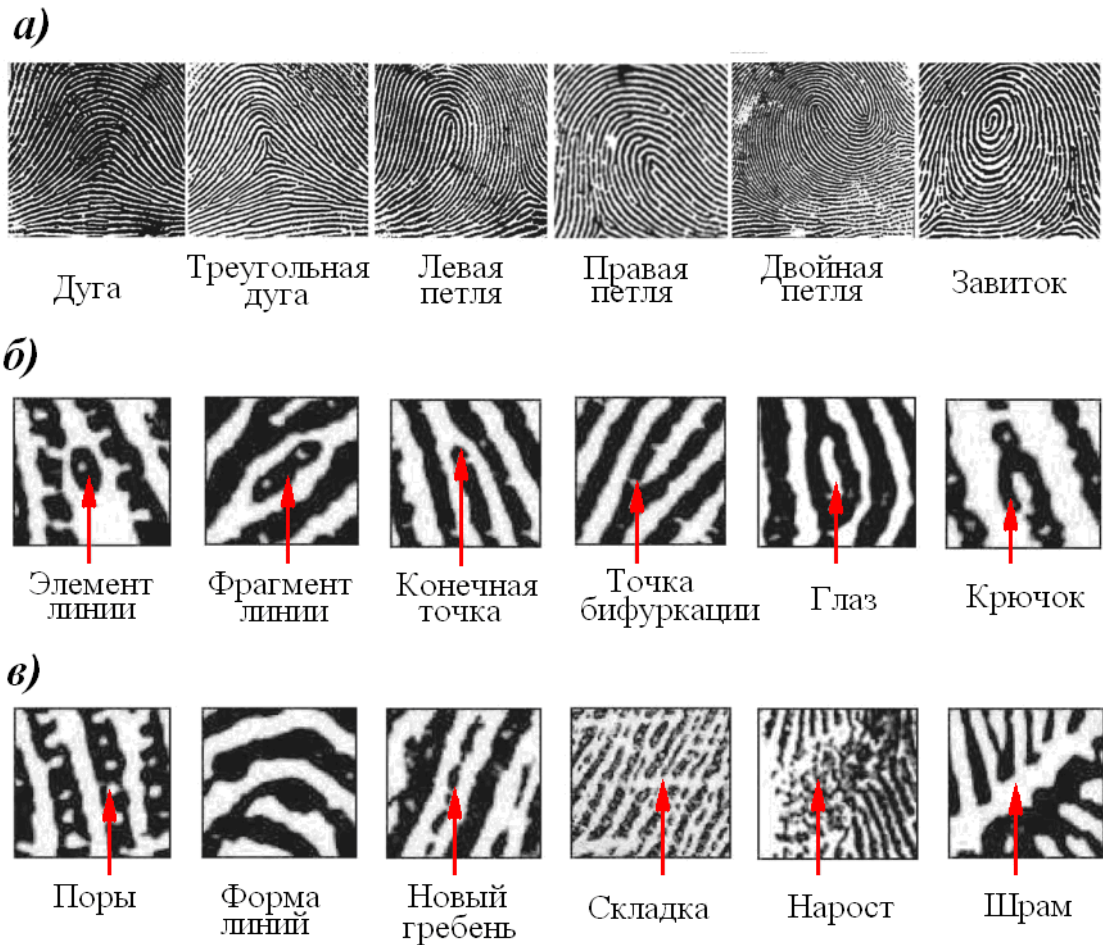


Рис. 1. Классификация признаков идентификации отпечатка пальца (с детализацией дактилоскопических рисунков): а) признаки идентификации первого уровня; б) признаки идентификации второго уровня; в) признаки идентификации третьего уровня

то они дают достаточную информацию для идентификации человека [6, 7, 8]. Для идентификации признаки 2-го и 3-го уровня играют важную роль в обеспечении качеством информации для идентификации. К сожалению, автоматизированные дактилоскопические системы редко используют признаки 3-го уровня, потому как для их выделения по изображению и классификации необходимо, чтобы дактилоскопический сканер имел высокое разрешение 1000 dpi и более. Практически все современные дактилоскопические системы работают на изображениях, полученных с

разрешением не выше 500 dpi, поэтому и решающее правило (решающий алгоритм) разработано первоначально на основе признаков 1-го и 2-го уровня [9].

С появлением и распространением дактилоскопических сканеров высокого разрешения и ростом требований к точности и трудоемкости задачи идентификации, необходимо определить разделяющую силу признаков 3-го уровня. Первые попытки применения признаков 3-го уровня были представлены в [10, 11] и признаковое множество названо расширенным множеством признаков (*extended fingerprint feature*). На рис. 2 приведены изображения отпечатков пальцев, сделанные дактилоскопическими сканерами с разным разрешением.

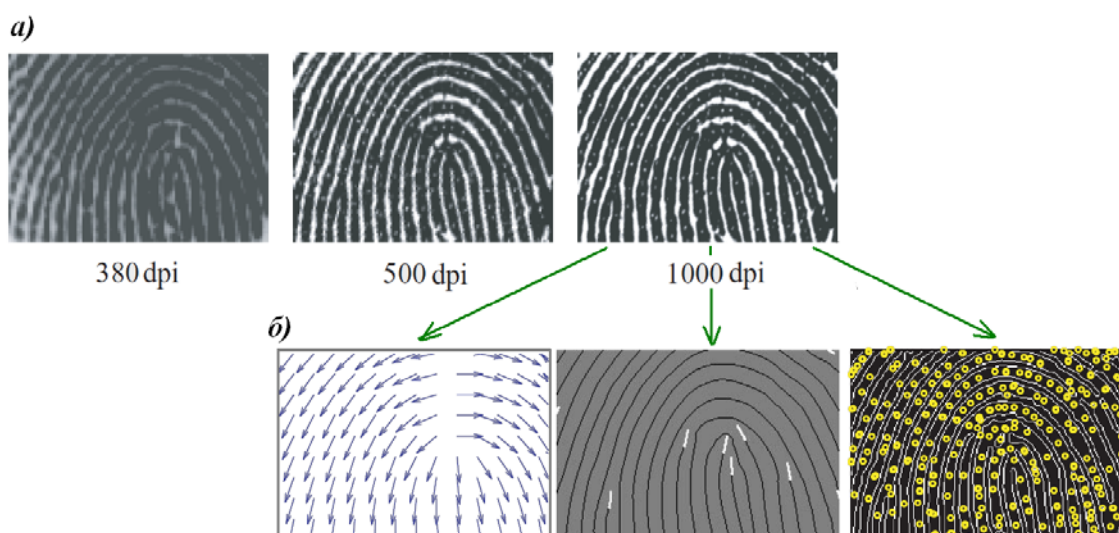


Рис. 2. Детали отпечатков пальцев: а) сравнительный анализ качества отпечатков пальцев, получаемых сканерами с разрешением 380 dpi, 500 dpi, 1000 dpi; б) признаки (соответственно слева направо) первого, второго и третьего уровня, выделяемые на изображении отпечатка пальца с разрешением 1000 dpi

Как видно из рис. 2б, при получении изображения поверхности пальца с разрешением около 1000 dpi на нем можно обнаружить детали внутреннего строения самих папиллярных линий (признаки 3-го уровня), в частности, выходы потовых желез, поры (рис. 3). Как уже было отмечено выше, метод

идентификации по признакам 3-го уровня мало распространен из-за неширокого распространения дактилоскопических сканеров с разрешением 1000 dpi. Однако с современным развитием технологий производства можно прогнозировать в недалеком будущем распространение сканеров с высоким разрешением.



Рис. 3. Поры

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Существующие алгоритмы автоматического нахождения пор [12, 13, 14] можно разделить на классы в зависимости от того, какая характеристика поры берется за основу. Геометрическая характеристика поры описывает её как объект округлой формы, лежащий на гребне (закрытая пора) и возможно имеющий некоторую небольшую границу с впадиной (открытая пора). Яркостная характеристика поры описывает её как объект, имеющий на гребне яркость близкую к яркости впадины.

Заметим, что многообещающий подход с геометрической точки зрения на практике работает некорректно, в силу того, что мелкие дефекты и шум имеют примерно такую же размерность, что и пора. Подход на основе яркостной характеристики имеет существенный недостаток, связанный с различными уровнями яркости в центре изображения отпечатка (в области наибольшего давления) и по периметру изображения (в областях

ослабленного давления). В силу этого невозможно определить для классов точек (гребень, борозда и пора) конкретные интервалы яркости (рис. 4).

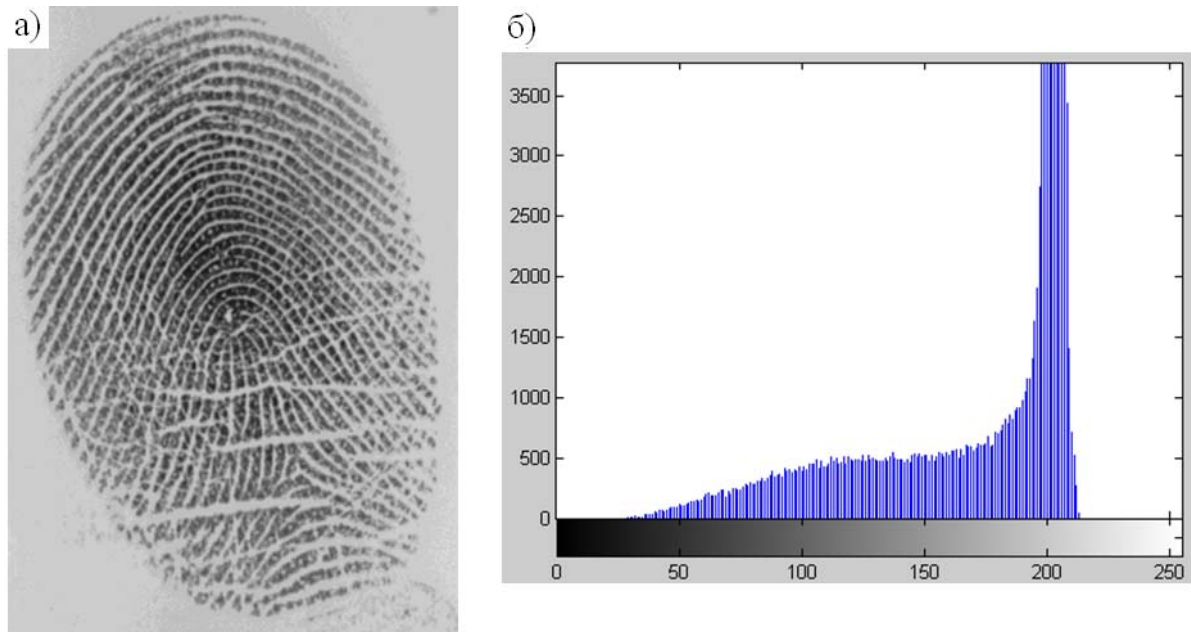


Рис. 4. Гистограмма яркости: а) оригинальное изображение; б) гистограмма яркости, построенная по этому изображению (по оси абсцисс – значения яркости, по оси ординат – число точек с заданным уровнем яркости)

Рисунок 4 подтверждает невозможность разбиения яркости на 3 класса, так как нет четко выраженных трех пиков. Интерпретировать полученный результат можно исходя из предположения, что в класс «пор» могут входить не только поры, но и точки, соответствующие переходам с гребней на борозды. Поэтому в настоящей статье предложен, разработан и модифицирован подход автоматического определения пор на основе алгоритма *k*-средних. Идея использования данного алгоритма состоит в проверке возможности разбиения по яркостной составляющей множества точек изображения на три класса: гребень, впадина и пора.

Приведем описание алгоритма *k*-средних.

Считаем, что дан набор векторов $x_i, i = 1, \dots, p$ и задано k – число кластеров, на которые нужно разбить набор x_i . Задача – найти k средних

векторов $m_j, j = 1, \dots, k$ (называемых центрами кластеров) и отнести каждый из векторов x_i к одному из k кластеров.

Метод k -средних – метод кластеризации данных. Целью задачи кластеризации является разбиение множества объектов на классы (кластеры) на основе некоторой меры сходства объектов:

- Случайным образом выбираем k средних векторов центров $m_j, j = 1, \dots, k$;
- Для каждого $x_i, i = 1, \dots, p$ определяем расстояние до каждого из центров $m_j, j = 1, \dots, k$;
- Относим x_i к кластеру j' , расстояние до центра $m_{j'}$ которого минимально;
- Пересчитываем среднее значение $m_j, j = 1, \dots, k$ по всем кластерам;
- Повторяем шаги 2, 3 пока кластеры не перестанут изменяться.

Таким образом, алгоритмом k -средних каждая точка изображения относится к одному из трех классов: «черный», «серый» и «белый». В работе начальные значения интенсивностей центров классов были выбраны следующим образом: «черный» – 80, «серый» – 145 и «белый» – 200 (из диапазона интенсивностей 0..255). После прохождения алгоритма k -средних, значения центров получились: «черный» – 87, «серый» – 128 и «белый» – 172.

Исходя из полученного разбиения, ищутся точки, удовлетворяющие «признакам пор». Признаки поры были сформулированы на основе качественного анализа пор разных людей в разных условиях. В ходе эксперимента были выбраны конкретные строки изображений, содержащие поры (по выборке из пяти отпечатков с разным типом рисунка, людей разного пола и возраста), и по ним построены разбиения на классы.

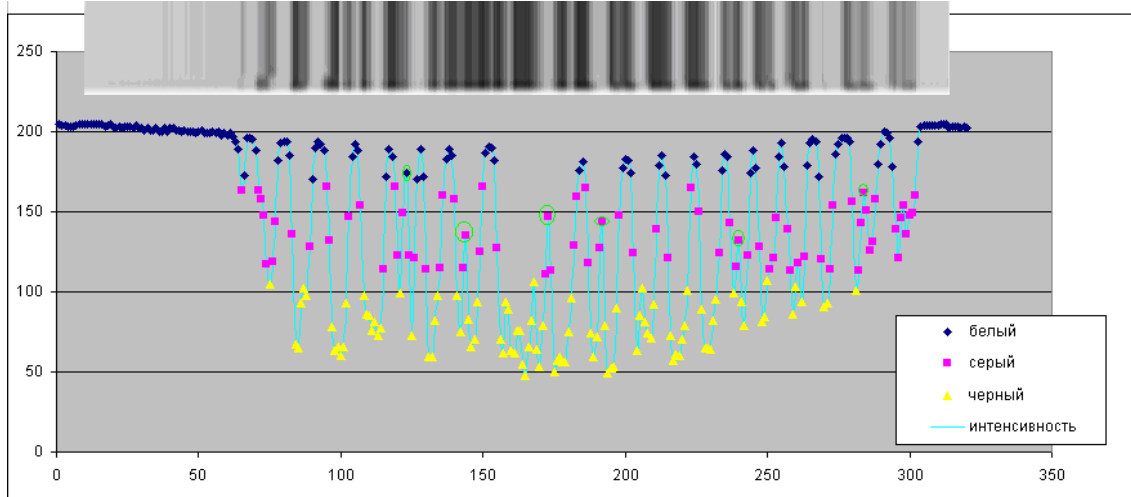


Рис. 5. Иллюстрация выделения пор

На рис. 5 проиллюстрирован процесс выделения пор, где зелеными кружками для наглядности отмечены поры.

Здесь и далее будем считать, что пора – точка, принадлежащая к классу «серый» и являющаяся локальным максимумом в некоторой окрестности. Был рассмотрен вопрос выбора координат поры, если в результате работы алгоритма найдено несколько объектов “пора” в некоторой локальной окрестности. За “центр” поры в ходе экспериментальных исследований принимались точки двух типов: имеющие максимальную яркость и точки центра масс.

Экспериментально было установлено, что лучший результат получается при выборе координат поры в центре масс точек, принадлежащих к классу “серый”, в некой локальной окрестности. Результаты нахождения пор иллюстрирует рис. 6.



Рис.6. Определение пор алгоритмом k-средних: а) оригинальное изображение; б) выделенные поры отображены зеленым цветом

На рис. 6 видно, что при применении данного метода было выделено довольно большое количество пор. Так как условие поры довольно расплывчато, есть вероятность выделения пор там, где их на самом деле нет, что влечет за собой появление ложных значимых признаков. Также большое количество пор увеличивает размерность вектора значимых признаков, что усложняет операцию сравнения двух отпечатков, поэтому решено рассматривать только крупные поры.

В ходе исследований был модифицирован алгоритм k-средних для выделения крупных пор. Изменения были внесены в формулировку «признаков поры». Данные поправки были основаны на результатах анализа

отпечатков пальцев разных людей (база из 100 отпечатков 10 людей разного возраста и пола). Были выявлены 2 группы крупных пор (рис. 7).

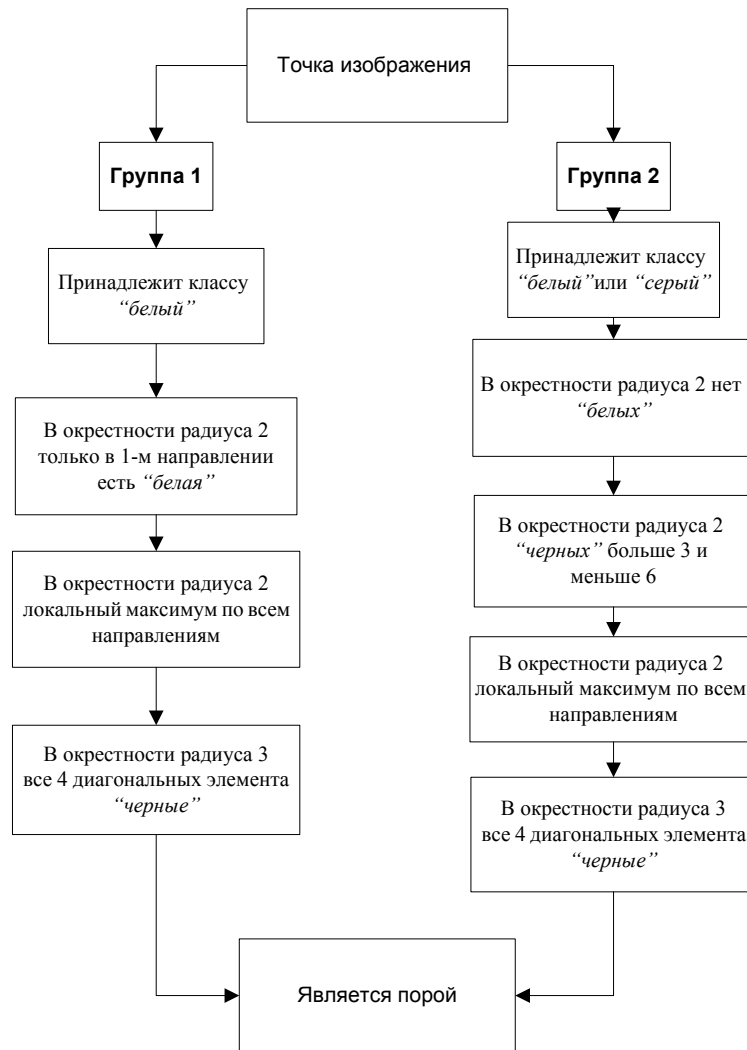


Рис. 7. Блок-схема выделения пор модифицированным алгоритмом k-средних

Результаты нахождения пор модифицированным алгоритмом k-средних приведены на рис. 8.



Рис. 8. Определение пор модифицированным алгоритмом k-средних: а) оригинальное изображение; б) выделенные поры отображены зеленым цветом

В сравнении с предыдущим способом (рис. 6) найденных пор стало меньше. С помощью визуального анализа, было установлено, что все найденные поры являются реальными порами на исходном отпечатке. Поэтому для дальнейших исследований авторы используют модифицированный алгоритм k-средних для определения пор на дактилоскопическом снимке.

ВЫВОДЫ

Предложен алгоритм автоматического выделения пор отпечатка пальца, использующий отпечатки, полученные со сканеров высокого разрешения (1000 dpi). Он позволяет включить детали третьего уровня в

процесс идентификации. Для выделения пор был использован метод k-средних. Наши экспериментальные результаты показали, что выделенные таким образом поры должны быть проверены дополнительными ограничениями, такими как накладываемые условия локального максимума по яркости и ограничения протяженности. С помощью визуального анализа было установлено, что все найденные поры являются реальными порами на исходных отпечатках.

В ходе исследований мы столкнулись с некоторыми затруднениями, а именно тем, что поры препятствуют верной бинаризации (следующий шаг в алгоритме построения вектора признаков для идентификации) и могут стать причинами возникновения ложных значимых признаков. Например, крупная пора может быть расценена как деталь типа «глаз», а открытая пора – как «крючок». Также наличие пор изменяет ширину гребня и сказывается на его локальных направлениях. Особо крупные поры могут быть интерпретированы как разрывы гребня. Эти выводы будут использованы нами в дальнейшем для разработки алгоритма, уменьшающего влияние пор на результат дальнейшей предобработки отпечатка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

-
1. G.A. Drets and H.G. Leljecström, Fingerprint Sub-Classification: A Neural Network Approach, Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition. CRC Press, 1999.
 2. A. Erol, U. Halici, and G. Ongun, Feature Selective Filtering for Ridge Extraction, Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition. CRC Press, 1999.

3. K. Kryszczuk, A. Drygajlo, and P. Morier, Extraction of Level 2 and Level 3 Features for Fragmentary Fingerprints / Proc. Second COST Action 275 Workshop, 2004, pp. 83-88.
4. S. Pankanti, S. Prabhakar, and A.K. Jain, On the Individuality of Fingerprints / IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 8, Aug. 2002, pp. 1010-1025.
5. A.R. Roddy and J.D. Stosz, Fingerprint Features—Statistical Analysis and System Performance Estimates / Proc. IEEE, vol. 85, no. 9, 1997, pp. 1390-1421.
6. D.R. Ashbaugh, Quantitative-Qualitative Friction Ridge Analysis: An Introduction to Basic and Advanced Ridgeology. CRC Press, 1999.
7. J.D. Stosz and L.A. Alyea, Automated System for Fingerprint Authentication Using Pores and Ridge Structure / Proc. SPIE Conf. Automatic Systems for the Identification and Inspection of Humans, vol. 2277, 1994, pp. 210-223.
8. J. Thornton, Latent Fingerprints, Setting Standards in the Comparison and Identification / Proc. 84th Ann. Training Conf. Calif. State Division of IAI, May 2000.
9. A.K. Jain, S. Prabhakar, and S. Chen, Combining Multiple Matchers for a High Security Fingerprint Verification System // Pattern Recognition Letters, vol. 20, no. 11-13, 1999, pp. 1371-1379.
10. S. Meagher and A. Hicklin, Extended Fingerprint Feature Set / Proc. ANSI/NIST ITL 1-2000 Standard Update Workshop, 2005.
11. A.K. Jain, Y. Chen, and M. Demirkus, Pores and Ridges: Fingerprint Matching Using Level 3 Features / Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition, vol. 4, Aug. 2006, pp. 477-480.

12. D. Maio and D. Maltoni, Minutiae Extraction and Filtering from Gray-Scale Images, Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition, CRC Press, 1999.

13. Anil K. Jain, Meltem Demirkus, Pores and Ridges: High-Resolution Fingerprint Matching Using Level 3 Features // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 29, no. 1, January 2007, p.15.

14. Jain, Yi Chen, Meltem Demirkus. Pores and Ridges: High-Resolution Fingerprint Matching Using Level 3 Features // ICPR 2006, 18th International Conference on Pattern Recognition, vol. 4, pp. 477–480.