



УДК 004.93

© В. В. Жуковский, С. В. Сай 2009

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА

Жуковский В. В. – асп. каф. «Вычислительная техника», тел.: (4212) 26-42-77, e-mail: zooker@yandex.ru, zooker@dvvgk.ru; *Сай С. В.* – д-р техн. наук завкафедрой «Вычислительная техника», тел.: (4212) 22-43-78, e-mail: sai@evm.khstu.ru (ТОГУ)

Проанализирован базовый алгоритм улучшения качества изображения отпечатка пальца, выявлены его недостатки и предложен альтернативный способ улучшения качества изображения, основанный на методе коэффициентов изображения.

The basic algorithm of enhancing fingerprint image quality is analyzed. Its shortcomings are shown and an alternative means for the improvement of the image quality is given which uses the image coefficient method.

Ключевые слова: биометрия, отпечаток пальца, фильтрация, градиентное изображение, коэффициент отражения.

Введение

В последние годы процесс идентификации личности по отпечатку пальца обратил на себя внимание как биометрическая технология, которая, вполне вероятно, будет наиболее широко использоваться в будущем. По оценкам экспертов, данная технология доминирует на корпоративном рынке и в ближайшее время конкуренцию ей может составить лишь технология опознавания по радужной оболочке глаза.

Объектом исследования в данной области является полученное со сканера изображение отпечатка пальца, которое представляет собой папиллярный узор на поверхности пальцев. Уникальность каждого отпечатка пальца можно определить именно по узору, который образуют следующие элементы:

- *гребень* - линия отпечатка пальца возвышается, образуя гребень;
- *бороздка* - желобок между гребнями;
- *конечная точка* - точка, где заканчивается линия гребня;
- *точка ветвления* - точка расхождения линий гребня;
- *центр* - точка наибольшей кривизны гребня.

Автоматическое сопоставление отпечатков пальцев основывается на сравнении этих локальных признаков и их комбинации для выполнения

идентификации личности. Важным этапом в сопоставлении отпечатков пальцев является автоматическое и достоверное извлечение признаков из входных изображений отпечатков пальцев, что является трудной задачей. Выполнение алгоритма извлечения деталей зависит в большей степени от качества входного изображения отпечатка пальца.

Для обеспечения необходимой надежности выполнения алгоритма извлечения деталей, независимо от качества изображения отпечатка пальца, необходим дополнительный алгоритм, который улучшает качество изображения [1]. Входное изображение отпечатка пальца в зависимости от типа сканера может представляться в виде бинарного изображения или же изображения в градациях серого цвета (градиентное изображение).

Бинарное изображение – это изображение, в котором все пиксели выступов заданы значением единица и пиксели впадин заданы значением ноль. Бинарное изображение может быть получено со сканера или путем применения алгоритма извлечения выступа из изображения в градациях серого цвета. В изображении в градациях серого цвета выступы и впадины в локальном соседстве формируют плоскую синусоидальную волну, которая имеет хорошо определяемую частоту и ориентацию.

Наиболее распространены сканеры, выдающие на выходе изображение в градациях серого цвета, это обусловлено тем, что на бинарном изображении невозможно выделить ложные детали отпечатка пальца в силу того, что мы не имеем общей картины в отличие от градиентного изображения. И для того чтобы уменьшить количество ложных деталей до допустимого уровня, необходимо использовать матрицы, считывающие изображение в очень высоком разрешении, что значительно увеличивает стоимость датчика.

Современные технологии позволяют получить изображение со сканера в достаточно хорошем качестве и с низким уровнем помех, но эти изображения все равно требуют предварительной коррекции перед началом процедуры распознавания. Следовательно, исследование способов улучшения изображения отпечатка пальца представляется актуальным в решении задач распознавания и идентификации.

Обработка изображения базовым алгоритмом

Итак, мы имеем полученное со сканера изображение отпечатка пальца. Как упоминалось выше, современные технологии позволяют получить со сканера изображение достаточно хорошего качества и с низким уровнем помех. Очень часто используется следующий алгоритм улучшения качества исходного изображения [1]:

1. Изображение $I(i, j)$ отпечатка пальца нормализуется для того, чтобы оно имело предварительно заданные средние значения и отклонения (колебания). Нормализованное изображение G определяется как $N \times N$ изображение, где $G(i, j)$ представляет собой значение нормализованной яркости пикселя с координатами (i, j) . Нормализованное значение яркости вычисляется исходя



из заданных параметров среднего значения и среднеквадратичного отклонения изображения:

$$G(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{VAR_0 \cdot (I(i, j) - M)^2}{VAR}}, & \text{если } I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{VAR_0 \cdot (I(i, j) - M)^2}{VAR}}, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (1)$$

где M_0 и VAR_0 – заданные значения среднего и среднеквадратичного отклонения; M и VAR – исходные значения среднего и среднеквадратичного отклонения:

$$M = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i, j), \quad (2)$$

$$VAR = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i, j) - M)^2. \quad (3)$$

2. Из нормализованного изображения G рассчитывается ориентационное изображение. Ориентационное изображение O определяется как $N \times N$ изображение, где $O(i, j)$ представляет локальную ориентацию (угол наклона) выступа в пикселе с координатами (i, j) ;

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{d_x^2(i, j) d_y^2(i, j)}{2 d_x(i, j) d_y(i, j)} \right), \quad (4)$$

где $d_x(i, j)$ и $d_y(i, j)$ – градиенты пикселя с координатами (i, j) по осям X и Y соответственно.

3. Из нормализованного изображения рассчитывается частотное изображение. Частотное изображение F представляет собой изображение размерности $N \times N$, где $F(i, j)$ представляет локальную частоту выступа, которая определяется как частота структур выступов и впадин в локальном соседстве вдоль (параллельно) направления нормали к локальной ориентации выступа. Структуры выступов и впадин в локальном соседстве, где детали или особые точки не формируют четко определяемую синусоидально-очерченную волну, показаны на рис. 1. В таких ситуациях частота определяется как средняя величина частоты в соседстве от блока (i, j) . В локальном соседстве, где нет деталей, переходы уровней яркости серого цвета вдоль выступов и впадин отпечатка пальца могут быть смоделированы как синусоидальная волна, перпендикулярная локальной ориентации выступа (рис. 2) [1].



Рис. 1. Структуры выступов и впадин в локальном соседстве от детали



Рис. 2. Волновое представление линий в ячейке

Пусть λ – количество пикселей между двумя соседними вершинами гребней в блоке размерностью $W \times W$, центром которого является пиксель с координатами (i, j) , тогда частота в данном пикселе будет вычисляться как

$$F(i, j) = \frac{1}{\lambda}. \quad (5)$$

4. Из нормализованного изображения рассчитывается бинарное изображение. Бинарное изображение R определяется как $N \times N$ изображение, где $R(i, j)$ показывает категорию пикселя. Пиксель может быть пикселем выступа или пикселем впадины:

$$R(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если } G(i, j) > R_0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (6)$$

где R_0 – порог маскирования, $G(i, j)$ – интенсивность пикселя нормализованного изображения.

5. Для получения улучшенного изображения отпечатка пальца используется набор фильтров Габора, который настраивается на локальную ориентацию выступов, применяется к пикселям выступов и впадин в нормализованном входном изображении [2]:



$$H(i, j : \phi, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\phi}^2}{\delta_x^2} + \frac{y_{\phi}^2}{\delta_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_{\phi}), \quad (7)$$

где $x_{\phi} = i \cdot \cos \phi + j \cdot \sin \phi$; $y_{\phi} = -i \cdot \sin \phi + j \cdot \cos \phi$; ϕ – ориентация фильтра Габора, f – частота синусоидальной плоскостной волны, а δ_x и δ_y – пространственные константы огибающей (оболочки) Гаусса вдоль осей x и y соответственно.

Для применения фильтров Габора к изображению необходимо задать три параметра:

- 1) частоту синусоидальной плоскостной волны f ;
- 2) направление фильтра;
- 3) среднеквадратичные отклонения огибающей Гаусса δ_x и δ_y .

Частотная характеристика фильтра H определяется локальной частотой f выступа, а направление определяется локальной ориентацией выступа. Выбор значений δ_x и δ_y содержит компромисс. Чем больше эти значения, тем фильтры более устойчивы к шумам, но при этом более вероятно, что фильтры будут создавать ложные выступы и впадины. С другой стороны, чем меньше значения δ_x и δ_y , тем менее вероятно, что фильтры будут создавать ложные выступы и впадины; следовательно, они будут менее эффективны в устранении шумов. Оба значения δ_x и δ_y для фильтрации изображений отпечатков пальца устанавливаются в 4.0 на основе эмпирических данных [2].

Проведем оценку рациональности использования данного алгоритма. Современные датчики среднего ценового диапазона способны выдавать изображение с разрешением 500 точек на дюйм. Это достаточно высокое разрешение, которое обеспечивает достаточно точную передачу мелких деталей отпечатка пальца. Фильтры Габора же применяются в данном алгоритме лишь для того, чтобы исключить ложные детали и выделить истинные. Но при данных параметрах изображения необходимость в такой тщательной фильтрации отпадает. Становится просто нерациональным производить такие глобальные вычисления для улучшения качества изображения, ведь все описанные выше преобразования требуют больших вычислительных мощностей и, как следствие, сильно замедляют процесс распознавания отпечатка пальца в целом.

Размер изображения, получаемого со сканера, колеблется в диапазоне от $0,8 \times 0,8$ дюйма до $1,2 \times 1,2$ дюйма, т. е. средний размер изображения составляет 1×1 дюйма или 500×500 точек. Нетрудно посчитать, что для каждого пункта алгоритма придется обрабатывать матрицу из 250000 элементов, совершая над каждым элементом сложные математические действия.

Обратим внимание на пункты 2 и 3 алгоритма. Данные преобразования нужны только для того, чтобы задать первоначальные параметры для фильтра Габора. Получается, что для проведения фильтрации, которая избыточна для данных параметров изображения, нам необходимо, как минимум, сделать

3 цикла по матрице из 250000 тысяч элементов. Как минимум – потому что, обычно, после каждого преобразования еще используется и низкочастотная фильтрация для исключения ошибки и допущения, полученные при расчете [3]. На рис. 3 показан пример улучшенного изображения отпечатка пальца, полученного после обработки базовым алгоритмом (слева показано исходное изображение).



Рис. 3. Результат обработки отпечатка пальца базовым алгоритмом

Экспериментальные исследования показывают, что среднее время обработки отпечатка пальца на современном процессоре составляет около 1,46 с.

Альтернативный алгоритм улучшения изображения

В результате исследований было предложено заменить фильтр Габора в базовом алгоритме на другой фильтр, более простой и менее требовательный к вычислительным ресурсам. В частности, сглаживающие фильтры позволяют подавить импульсный шум и устранить дефекты за счет возрастающего с увеличением размерности сканирующей маски эффекта «расфокусировки» на обработанном отпечатке. Однако в то же время происходит размытие границ папиллярных линий, что создает трудности для дальнейшего процесса распознавания.

Для преодоления последствий расфокусировки используются методы повышения контрастности, которые, в свою очередь, наряду с полезным эффектом имеют негативную сторону, а именно: подчеркивание дефектов отпечатков и шумов. В итоге контрастирование приводит к выделению нежелательных элементов отпечатков, присутствие которых и пытались ослабить сглаживающие фильтры.

На основании проведенного анализа существующих методов фильтрации [4] был предложен метод пространственной фильтрации цифровых изобра-



жений, заключающийся в реализации физического процесса поглощения и отражения света поверхностью.

Поскольку отпечатки пальцев, как правило, являются полутоновыми изображениями в градациях серого, то интенсивность изменяется в пределах от 0 до 255, а для его бинарного представления интенсивность будет иметь два значения: 1 (белый цвет) и 0 (черный цвет).

Описание метода отражающих коэффициентов:

1. Исходное изображение подвергается пороговой обработке для получения бинарного изображения.

2. Бинарное изображение сканируется окном размерности $n \times n$, и для каждого центрального пикселя находится коэффициент отражения, который рассчитывается как отношение количества попавших в окно белых пикселей $N(i, j)$ к размерности окна n [5]:

$$k(i, j) = \frac{N(i, j)}{n^2}. \quad (8)$$

3. Последним этапом является процедура получения нового значения интенсивности для каждого пикселя умножением коэффициента отражения пикселя на максимальную интенсивность света (т. е. 255 для современных вычислительных систем):

$$I_{new}(i, j) = k(i, j) \cdot 255. \quad (9)$$

На рис. 4. показан пример улучшенного изображения отпечатка пальца, полученного после обработки альтернативным алгоритмом. Как показали результаты программного моделирования алгоритма в среде C++Builder, среднее время обработки отпечатка пальца составляет около 0,34 с.



Рис. 4. Результат обработки отпечатка пальца альтернативным алгоритмом

Заключение

В результате обработки изображения с использованием предлагаемого алгоритма на выходе получается изображение отпечатка с устраненными дефектами, при этом расфокусировка, наблюдаемая при применении других алгоритмов, таких как сглаживающий и медианный фильтр, минимальна. Также на полученном изображении пиксели, лежащие в центре папиллярных линий, будут наиболее темными, что упрощает получение скелета отпечатка с последующим нахождением особых точек. Данный эффект усиливается с возрастанием размерности сканирующей маски.

Таким образом, предлагаемый способ имеет следующие преимущества перед базовым алгоритмом:

- в качестве основы для работы используется не исходное изображение, а результат его пороговой обработки, что сильно упрощает процесс обработки изображения и, как следствие, увеличивает быстродействие работы алгоритма в целом;
- обеспечивается одновременное устранение импульсных шумов, дефектов отпечатка и повышение контрастности изображения, что сокращает количество этапов обработки изображения;
- обеспечивается выделение середин папиллярных линий, что упрощает дальнейшую обработку изображения отпечатка пальца и выделения его скелета.

Библиографические ссылки

1. *Пытьев Ю. П., Семин А. В.* О быстром алгоритме морфологического анализа // Доклады X Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов». М., 2001.
2. *Maltoni D.* Handbook of Fingerprint Recognition // New York, 2003.
3. *Дуда З., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен. М., 1976.
4. *Сойфера В. А.* Методы компьютерной обработки изображений. М., 2003.
5. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений. М., 2005.
6. *Перегуда Е. С., Сай С. В.* Методы сокращения объема вычислений в алгоритмах фрактального сжатия изображений // Вестник ТОГУ. 2006. № 1.