

УДК 621.397



МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ ФОРМЫ ЛАДОНИ ПО СКЕЛЕТОНУ ИЗОБРАЖЕНИЯ

С.В. Машталир¹, Н.Л. Свередюк²¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, mashtalir_s@kture.kharkov.ua² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, nadia_esperansa@mail.ru

Рассмотрены методы построения скелетонов изображения. Исследованы подходы к построению скелетона ладони. Проведен анализ известных признаков формы руки. На основании проведенного анализа выбран вектор характерных признаков, идентифицирующий человека.

ГЕОМЕТРИЯ ФОРМЫ РУКИ, БИОМЕТРИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОРФОЛОГИЯ, СКЕЛЕТОН ИЗОБРАЖЕНИЯ, ИНТЕРПОЛЯЦИЯ СПЛАЙНАМИ

Введение

В настоящее время всё более широкое распространение получают биометрические системы идентификации человека. На сегодняшний день такие системы являются самыми надежными. Они используются на различных секретных объектах, для защиты важной коммерческой информации и т. п. Биометрические системы основываются на уникальных биологических характеристиках человека, которые трудно подделать и которые однозначно определяют конкретного человека.

Биометрия представляет собой методику распознавания и идентификации людей на основе их индивидуальных и уникальных психологических или поведенческих характеристик. Биометрические свойства включают в себя отпечатки пальцев, форму лица, рисунок радужной оболочки глаза, рисунок сетчатки, геометрию руки, речь, почерк, особенности печати на клавиатуре и даже узор вен на запястье.

Биометрический контроль доступа – автоматизированный метод, с помощью которого путем исследования уникальных физиологических особенностей или поведенческих характеристик человека осуществляется идентификация личности.

В статье рассматривается метод идентификации личности по форме руки. Этот метод по своей технологической структуре и уровню надежности вполне сопоставим с методом идентификации личности по отпечатку пальца.

Человеческая ладонь имеет устойчивые признаки собственной формы, которые позволяют различать ладони разных людей. Основными геометрическими признаками являются: ширина ладони, радиус вписанной в ладонь окружности, длина пальцев, ширина пальцев.

Распознавание формы силуэта ладони при биометрической идентификации личности сводится к задаче сравнения формы объектов, заданных в виде бинарных изображений. Цветное изображение ладони, полученное с помощью камеры или фотоаппарата, преобразуется в монохромное изображение, в котором объект (ладонь) представлен

чёрными пикселями, а фон – белыми. Полученное бинарное изображение довольно точно описывает форму руки.

Среди подходов к сравнению формы объектов известен подход на основе выравнивания контуров границы объектов и подход, основанный на построении скелетонов. При этом второй подход является более надежным. Это связано с тем, что скелетон дает возможность более детально описать топологическую структуру формы и его использование позволяет избежать влияния дискретизации, особенно ярко проявляющегося при преобразовании поворота.

Целью данной работы является построение метода нахождения характерных признаков формы ладони, а также выделение вектора признаков, который однозначно характеризует человека. Данный метод может быть использован для построения системы идентификации личности.

1. Анализ существующих методов

Практически всё о конкретном человеке можно прочитать по его руке.

С руки можно собрать до 90 информационных знаков, часть из которых не используется в биометрике. Например уникальный узор на ладони.

Основными геометрическими признаками являются (см. рис. 1): ширина ладони, радиус вписанной в ладонь окружности, длины пальцев, ширина пальцев, высота кисти руки в трёх местах (a , b , c на рис. 1). Все эти признаки объединяются в так называемый вектор значений.

Для проведения идентификации с пользователя снимают несколько силуэтов его руки. Для каждого из этих силуэтов формируется свой вектор значений. На основе нескольких векторов значений создается специальный класс. Далее все признаки в классе усредняются, и получаются признаки эталонного образа (или, говорят, находится центр класса). Сравнить между собой два образа можно по нескольким критериям. Наиболее очевидный из них – наименьшее расстояние от характеристик исследуемого образа до характеристик эталона.

Более сложный метод — снимать четыре характеристики, три из которых — характерные размеры, а четвертая — полутоновое изображение складок кожи на сгибе между фалангами. Однако для получения последней характеристики необходим специальный прибор, использующий инфракрасную подсветку и регистрацию данных специальной CCD-телекамерой. Информацию о толщине и габаритах кисти руки можно получить за счет боковых зеркал, которые попадают в обзор телекамеры. Такой метод сильно затрудняет обмен прибора, но при этом является довольно дорогостоящим. Также в этом методе используется трехразовое сканирование руки для получения различных проекций.

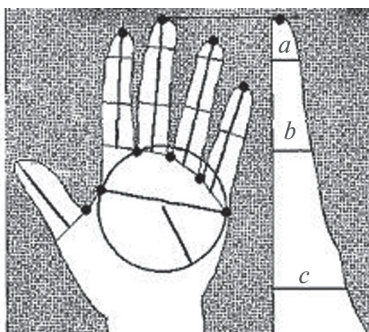


Рис. 1. Биометрические признаки ладони

В связи с этими недостатками предлагается метод нахождения признаков по скелетону изображения, который находится при помощи математической морфологии и метода интерполяции сплайнами.

2. Построение скелетона изображения

Существует несколько подходов к построению скелетона изображения. Первый из них — это построение скелетона с помощью методов математической морфологии. Другой подход основан на построении скелетона методом интерполяции сплайнами.

Скелетон — модель изображения, основанная на совокупности некоторых усредненных внутренних линий — должен представляться максимально тонкими линиями. Связность скелетона должна соответствовать связности исходного изображения, результат должен быть максимально центрирован и, наконец, он должен быть обратимым, то есть необходимо, чтобы по результату восстанавливалась исходная форма объекта [1].

Рассмотрим метод построения скелетона с помощью методов математической морфологии.

Морфология (гр. *morphè* — форма + *logos* — учение) в технических приложениях означает изучение формы объектов по информации о них, как правило, в визуальной форме [1, 2, 3]. Это направление базируется на операциях алгебры Минковского [4]. Операции бинарной морфологии являются реализацией операций алгебры Минковского применительно к обработке изображений [3, 5].

Любое изображение в компьютерной графике обычно представляется также в виде набора пикселей, поэтому операции математической морфологии могут быть применены и к изображению для исследования некоторых свойств его формы и структуры.

Мы будем рассматривать морфологию двоичных изображений. Двоичное изображение представляется в виде упорядоченного набора (упорядоченного множества) черно-белых точек (пикселей) или 0 и 1. Под областью (region) изображения обычно понимается некоторое подмножество точек изображения. Каждая операция двоичной морфологии является некоторым преобразованием этого множества. В качестве исходных данных принимаются двоичное изображение B и некоторый структурный элемент S . Результатом операции также является двоичное изображение.

Структурный элемент — также некоторое двоичное изображение (геометрическая форма — shape). Он может быть произвольного размера и произвольной структуры. Чаще всего используются симметричные элементы, такие как прямоугольник фиксированного размера или круг некоторого диаметра. В каждом элементе выделяется особая точка, называемая *начальной* (origin). Она может быть расположена в любом месте элемента, хотя в симметричных множествах это обычно центральный пиксель. Примеры структурных элементов для традиционных видов обработки бинарных изображений приведены на рис. 2. Структурные элементы $a - g$ применяются для выделения границ, элементы $d - m$ используются при параллельном переносе изображения.

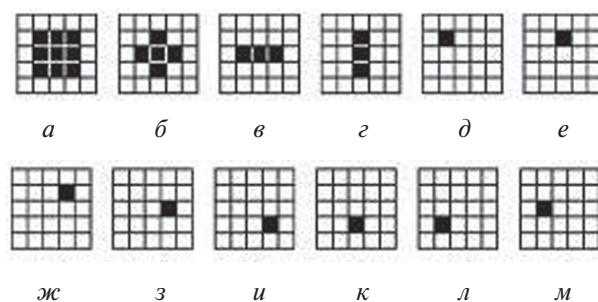


Рис. 2. Примеры структурного элемента

Вначале результирующая поверхность заполняется 0, образуя полностью черное изображение. Затем осуществляется сканирование исходного изображения структурным элементом. Для сканирования каждого пикселя на изображение «накладывается» структурный элемент так, чтобы совместились зондируемая и начальные точки. Затем проверяется некоторое условие на соответствие пикселей структурного элемента и точек изображения «под ним». Если условие выполняется, то на результирующем изображении в соответствующем месте ставится 1 (в некоторых случаях будет добав-

ляться не один единичный пиксель, а все единички из структурного элемента).

Скомбинировав несколько операций математической морфологии, можно получить производную, позволяющую выделять из объекта его скелет, и эта операция получила название «скелетонизации» [6, 7, 8].

n -м элементом скелета S изображения X по структурному элементу Q называется

$$S_n = (X - nQ) \setminus [(X - nQ) \circ Q], n = 0, 10, \dots, N,$$

где $N = \max\{n: X - nQ \neq \emptyset\}$; $\emptyset$ — пустое множество; $\setminus$ — теоретико-множественно вычитание.

Тогда скелетом S изображения X по структурному элементу Q назовем объединение

$$S = \bigcup_{k \leq n \leq N} S_n.$$

Метод математической морфологии выделения скелетона удобен тем, что с помощью применения операции расширения по тому же структурному элементу к скелетону мы сможем восстановить исходное изображение. Также к его свойствам относятся инвариантность относительно преобразований смещения, масштаба и поворота.

На рис. 3, а представлен пример бинарного изображения и скелетон (рис. 3, б), полученный при использовании операций математической морфологии.

К достоинствам данного метода можно отнести его простоту и высокую скорость работы.

Рассмотрим второй метод построения скелетона — метод, основанный на применении интерполяции сплайнами.

Построение скелетона этим методом происходит в два этапа. Первый этап — это преобработка.

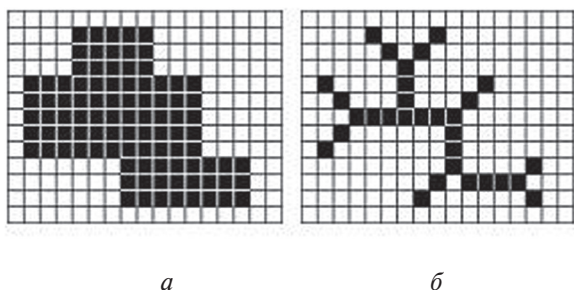


Рис. 3. Пример бинарного изображения и соответствующего скелетона

В случае входного изображения в градациях серого:

- нормализация изображения (находятся самый светлый и самый темный оттенки, самый светлый объявляется белым, самый темный объявляется черным; промежуточные оттенки рассчитываются из соответствующей пропорции);

- 4-х проходное (горизонтальное, вертикальное и два диагональных) сканирование исходного об-

разца и сложение получившихся 4-х изображений в одно.

С помощью этого мы приводим изображение к бинарному.

В случае входного цветного изображения на основании информации о цвете выбирается порог, после чего изображение преобразуется к бинарному.

Пример преобработки изображения представлен на рис. 4.

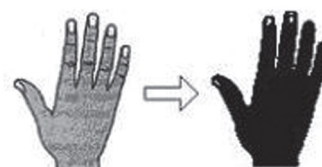


Рис. 4. Пример преобразования изображения в бинарное

Затем идет второй этап — построение скелетона. Построение осуществляется на основе вычисления точек перегиба на переходах белое/черное и черное/белое и последующего вычисления середин этих отрезков с помощью сплайновой интерполяции. Точки, поставленные в этих серединах и соединенные между собой, и есть изображение скелетона. Вторым этапом проводится в два прохода: горизонтальный и вертикальный. В результате получается скелетон исходного образца (см. рис. 5), по которому, в случае необходимости, мы можем восстановить сам образец.

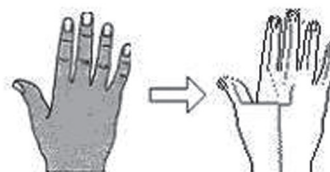


Рис. 5. Построение скелетона ладони

Для того чтобы очистить изображение от случайных точек, являющихся шумом, к уже построенному скелетону возможно применение критерия «8 соседей» (рис. 6). Он заключается в подсчете количества закрасненных соседних точек для каждой данной точки.

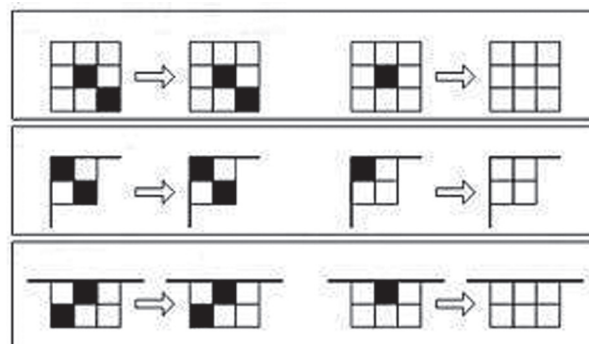


Рис. 6. Удаление одиночных точек

В случае наличия таковых, данная точка оставляется нетронутой. В противном случае данная точка удаляется. Очевидно, что для краевых точек надо производить проверку только для пяти соседей, а для угловых — только для трех.

К достоинствам данного метода можно отнести способность алгоритма довольно сильно очищать исходный образец.

3. Выбор характеристик ладони

В предлагаемом методе идентификации человека используется вектор характерных признаков, получаемый по скелетону изображения. С учетом характерных признаков ладони человека выбран вектор из десяти признаков:

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_{10}),$$

где a_1 — ширина кисти; a_2 — ширина ладони; a_3, a_4, a_5, a_6, a_7 — длины пяти пальцев; a_8 — отношение длины указательного пальца к длине среднего; a_9 — отношение длины безымянного пальца к длине среднего; a_{10} — отношение длины большого пальца к длине среднего.

Такие характеристики можно получить без использования специальных приборов с использованием инфракрасной подсветки и системы зеркал. Используемые в работе характеристики ладони можно получить с изображения ладони, что значительно упрощает технические требования к прибору для сканирования руки, так как необходима лишь фотокамера.

Для выделения признаков на изображении ладони необходимо сначала преобразовать изображение в бинарное, далее, используя описанные выше методы, построить скелетон ладони. По построенному скелетону выделяются характерные признаки ладони.

Признак a_1 определяется на уровне нижней точки скелетона (точка А, см. рис. 7) как расстояние от точки перегиба на переходах белое/черное до точки перегиба черное/белое.

Значение параметра a_2 вычисляется на уровне точки В, от которой расходятся линии пальцев. Также как и ширина кисти, она определяется как расстояние от точки перегиба на переходах белое/черное до точки перегиба черное/белое.

Длины пальцев (признаки $a_3 - a_7$) — достаточно уникальные характеристики ладони человека. Эти признаки используются во многих современных биометрических системах идентификации человека и достаточно хорошо характеризуют форму ладони. В данной работе, однако, под длиной пальца понимается длина соответствующей линии скелетона от конца пальца до точки соединения этой линии с линией ладони — точки В.

Однако использование в качестве признаков только длин пальцев не достаточно уникально ха-

рактеризует ладонь и могут возникнуть ошибки при идентификации. Общеизвестно, что длины указательного и безымянного пальцев у разных людей достаточно сильно различаются. Кроме того, у одних людей указательный палец длиннее, чем безымянный, у других — короче. Разность длин этих пальцев у разных людей также отличается. Эта особенность была учтена при выборе таких характеристик как отношение длин указательного и безымянного пальцев к длине среднего пальца (параметры a_8, a_9). Большой палец также несет в себе большой объем информации о руке. Отношение длины большого пальца к длине среднего (параметр a_{10}) также внесено в вектор характеристик ладони.

Значение величин признаков определяется следующим образом. По скелетону изображения определяется длина линии, соответствующей определяемому признаку, в пикселях. Далее, используя информацию о разрешении фотокамеры, значение признака приводится к стандартным единицам измерения (пиксели — к дюймам, дюймы — к сантиметрам).

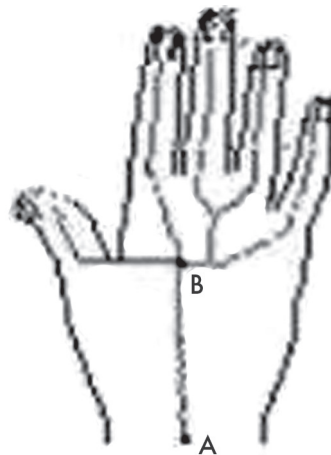


Рис. 7. Нахождение характерных признаков ладони по скелетону

Выбор таких характерных признаков формы руки основан на особенностях строения человеческой ладони. Все характеристики, использованные в данном методе, получены из изображения ладони на основании построенного скелетона изображения. Кроме того, полученные признаки инвариантны к преобразованиям смещения, масштаба и поворотам на небольшие углы, что следует из инвариантности к указанным преобразованиям скелетона изображения.

Далее производится идентификация человека. С руки человека, допущенного на объект, делаются снимки, с которых определяют эталонный вектор изображений, который заносится в базу данных. При идентификации получаем изображение ладони, для которого выделяем вышеуказанным методом характерные признаки. По полученно-

му вектору признаков происходит поиск в базе данных. Сравнение ведется по признакам, а не по самому изображению, что позволяет избежать многих ошибок, так как при сканировании ладони человека могут возникать искажения, связанные с различным расположением камеры и объекта. При сравнении по характерным признакам они остаются неизменными независимо от положения ладони.

Выводы

В статье рассмотрен метод идентификации человека, основанный на биометрических характеристиках. Предложен метод распознавания, основанный на использовании геометрии ладони. Характерные признаки формы ладони определяются по скелетону изображения. Рассмотрены методы построения скелетона изображения. Проанализированы информационные знаки ладони и выбран вектор характеристик, использующийся для распознавания.

Метод идентификации человека, основанный на предложенном методе нахождения характерных признаков ладони, позволяет избежать ошибок при распознавании, которые могут возникнуть при сравнении изображений.

Следует отметить, что серьезным преимуществом предложенного метода является то, что использование скелетона позволяет не задавать ограничений на положение руки идентифицируемого человека, а также метод позволяет проводить анализ не по непосредственно изображению ладони, а по вектору характеристик, которые получены на

основании этого изображения. В результате это позволяет уменьшить объем обрабатываемой информации, что позволяет хранить большой объем записей и быстро осуществлять поиск. Кроме того, предлагаемый метод существенно упрощает процесс получения характеристик, что приводит к увеличению скорости идентификации и уменьшению расходов на оборудование.

Список литературы: 1. Maragos P. A., Schafer R.W. Morphological skeleton representation and coding of binary images // IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing. — Vol. 34, №9. — 1986. — P. 1228–1244. 2. Heijmans H.J.A.M., Ronse C. The algebraic basis of mathematical morphology: I. Dilations and erosions // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. — Vol. 50, №3. — 1990. — P. 245–295. 3. Serra J. Image analysis and mathematical morphology. — Vol. I. — London: Academic Press, 1982. — 610 p. 4. Хадвигер Г. Лекции об объеме, площади поверхности и изопериметрии. — М.: Наука, 1966. — 416 с. 5. Verwer B.J.H., van Vliet L.J., Verbeek P.W. Binary and grey-value skeletons: Metrics and algorithms // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. — Vol. 7, №5. — 1993. — P. 1287–1308. 6. Болдак А.А., Мохамед Хашим Р. Метод скелетизации изображений // Вісник нац. технічного ун-ту України «КПІ», Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — Київ: КПІ, 2000. — №36. — С. 65–80. 7. Choi W.P., Lam K.M., Siu W.C. Extraction of the Euclidean skeleton based on a connectivity criterion // Pattern Recognition. — Vol. 36, №3. — 2003. — P. 721–729. 8. Fan K.C., Chen D.F., Wen M.G. Skeletonization of binary images with nonuniform width via block decomposition and contour vector matching // Pattern Recognition. — Vol. 31, №7. — 1998. — P. 823–838.

Поступила в редакцию 8.04.2008