

Сравнение изображений гибких объектов на основе нормализации¹

Л.М. Местецкий

Московский государственный университет, Москва, Россия

l.mest@ru.net

Аннотация

Рассматривается задача сравнения формы эластичных объектов, представленных в виде бинарных изображений. Предлагается подход к построению меры сходства таких объектов, основанный на концепции гибкого объекта. Гибкий объект определяется, как семейство кругов различного радиуса с центрами на планарном графе древовидной формы. С гибким объектом связано множество допустимых деформаций, которое описывается в виде некоторого множества преобразований этого семейства, состоящих в изменении положения кругов. Оценка сходства гибких объектов осуществляется путём непосредственного наложения объектов. Но перед этим каждый объект переводится с помощью некоторой деформации в определённое стандартное положение. Эта операция называется нормализацией. Предлагается метод аппроксимации бинарного изображения гибким объектом, основанный на построении непрерывного скелета бинарного изображения. В качестве приложения рассматривается задача биометрической идентификации личности по форме ладони.

Ключевые слова: Анализ формы, непрерывный скелет, нормализация, циркулярное дерево, силуэт ладони, биометрическая идентификация

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача сравнения формы объектов, заданных в виде бинарных изображений, возникает во многих приложениях. В частности, к ней сводится распознавание формы силуэта ладони человека при биометрической идентификации личности. Цветное или полутоновое изображение ладони, полученное с помощью какого-то устройства, например, WEB-камеры или сканера, преобразуется в монохромное изображение, в котором объект (ладонь) представлен чёрными пикселями, а фон – белыми. Полученное бинарное изображение вполне адекватно описывает форму объекта, даже с учётом относительно низкого разрешения (ладонь помещается в кадре формата 640×480, что соответствует примерно разрешению 40-60 dpi).

Человеческая ладонь является непростым объектом для классификации. С одной стороны, она имеет устойчивые признаки собственной формы, которые в принципе позволяют различать ладони разных людей. Но, с другой стороны, человек даже при желании не может повторить в нескольких актах измерения одно и то же положение ладони так, чтобы бинарные образы совпали. Различия бинарных изображений одной и той же ладони оказываются соизмеримыми с различиями таких же изображений ладоней

разных людей (рис.1). Эта особенность является серьёзным препятствием для разработки эффективных методов идентификации личности по форме ладоней.

Известные подходы к сравнению формы объектов на основе выравнивания контуров их границы, очевидно, не подходят для решения подобных задач, поскольку они эксплуатируют локальные совпадения границы [1]. Локальные же свойства границы очень сильно зависят от различных шумовых эффектов, возникающих при съёмке. Кроме того, весьма сложно описать допустимые деформации сжатия, растяжения и изгиба границы ладони, поскольку эти деформации различны для разных элементов ладони. Так, кожа между пальцами может растягиваться или образовывать складки, а граница пальца практически не имеет локальных деформаций.

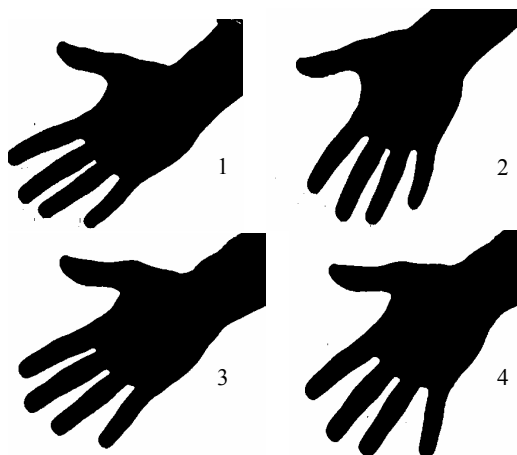


Рис.1: Силуэты ладоней двух человек (1 и 2 – одна персона, 3 и 4 – другая).

Другой подход, позволяющий сравнивать интегральные признаки формы объектов, основан на построении их скелетов [2]. Скелет даёт возможность более детально описать топологическую структуру формы. Однако для сравнения ладоней этого явно недостаточно. Топологическое разнообразие скелетов ладоней весьма невелико – это деревья с пятью ветвями, различающиеся, быть может, лишь порядком присоединения ветвей к «стволу». Можно, конечно, использовать метрические характеристики скелета, такие, например, как длины ветвей или их кривизна. Но такие важные признаки формы, как ширина пальцев и ладони в целом в скелете отсутствуют.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-01-00542)

Предлагаемый нами подход состоит в том, чтобы использовать обе эти конструкции: контур границы объекта и скелет объекта для построения меры сходства человеческих ладоней, а также других подобных эластичных объектов.

В основе подхода лежит модель так называемого гибкого объекта, имеющего форму, которая может изменяться в определённых пределах. Пределы этих изменений описываются специальным множеством преобразований. Преобразования устроены так, что отдельные элементы формы фиксированы и неизменны, а другие могут меняться. Применительно к ладони неизменные элементы – это пясть (часть кисти руки между пальцами и запястьем) и фаланги пальцев, а изменяемыми, подвижными являются суставы. При таком подходе задача определения сходства объектов сводится к подбору таких допустимых преобразований этих объектов, при которых их формы будут наиболее близки друг к другу. В качестве меры различия объектов принимается разница их формы именно в этом наиболее близком состоянии.

Таким образом, выравнивание гибких объектов состоит в следующем:

- совместить в наибольшей степени их скелеты, используя допустимые деформации;
- произвести деформации границ объектов, соответствующие изменению скелетов;
- сравнить форму объектов по их новой деформированной границе.

Реализация этого подхода включает построение в явном виде модели гибкого объекта и множества его допустимых деформаций, а также метода поиска «сближающих» преобразований гибких объектов, т.е. таких деформаций, которые минимизируют различия в форме объектов.

Поиск сближающих преобразований двух гибких объектов предполагает в общем случае попарное сравнение всех возможных деформаций этих объектов. Но поскольку задачи сравнения формы в системах машинного зрения должны решаться в реальном времени, такой перебор оказывается неприемлемым.

Предлагаемый подход состоит в использовании преобразования, называемого нормализацией, суть которого состоит в приведении всех объектов к некоторому стандартному положению. Нормализация каждого объекта состоит в выборе определённой деформации, переводящей его к стандартному положению. Непосредственное же сравнение объектов выполняется на основе наложения «нормализованных» объектов друг на друга и вычисления их различий.

Структура работы следующая. Во втором разделе вводится формальное понятие гибкого объекта и множества его допустимых деформаций. В третьем разделе описывается мера сходства гибких объектов и формулируется задача нормализации. В четвёртом разделе рассматривается задача построения гибких объектов для бинарных изображений, в частности, для силуэтов человеческих ладоней. В пятом разделе описан алгоритм сравнения ладоней, представленных гибкими объектами. В шестом разделе приводятся результаты вычислительного эксперимента.

2. МОДЕЛЬ ГИБКОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрим множество точек T на евклидовой плоскости R^2 , имеющее вид планарного графа с древовидной структурой. Граф имеет конечное множество вершин, а его рёбра являются непрерывными линиями. При этом рёбра не имеют точек пересечения, не совпадающих с их концами.

С каждой точкой $t \in T$ графа T свяжем некоторый круг C_t с центром в этой точке. Это семейство кругов $C = \{C_t, t \in T\}$ назовём *циркулярным деревом*. Граф T будем называть *осевым графом* циркулярного дерева. А объединение $S = \bigcup_{t \in T} C_t$ всех кругов семейства C , как

точечных множеств, будем называть *силуэтом* циркулярного дерева. Силуэт циркулярного дерева представляет собой замкнутое связное множество точек евклидовой плоскости $S \subset R^2$, имеющее в качестве границы огибающую всего семейства кругов C_T . На рис.2 представлен пример циркулярного дерева.

Среди всего множества вершин циркулярного дерева выделим некоторое подмножество точек $P \subset T$, называемых точками изгиба. На рис.2а точки изгиба выделены кружками. С каждой точкой изгиба свяжем диапазон изменения углов между парой рёбер графа, инцидентных этой вершине. При этом если точка изгиба имеет более двух инцидентных рёбер, то диапазоны изменения углов зададим для всех пар соседних инцидентных рёбер. Для остальных вершин графа изменение углов между рёбрами не допускается. Также не допускается изменение формы самих рёбер. Таким образом, в структуре объекта мы определили статические и динамические компоненты.

Деформацией циркулярного дерева называется преобразование, состоящее в изменении углов в точках изгиба в допустимом диапазоне. Такая деформация влечёт за собой не только изменение осевого графа, но также перемещение семейства кругов и соответствующее изменение силуэта циркулярного дерева. Для каждой деформации существует «обратная» деформация, возвращающая циркулярное дерево в исходное состояние. Пример деформации циркулярного дерева, изображённого на рис.2, показан на рис.3.

Два циркулярных дерева называются *эквивалентными*, если для них существует деформация, в результате которой их силуэты совпадут при наложении.

Пусть V – множество деформаций циркулярного дерева C .

Гибким объектом $G = (C, V)$ называется циркулярное дерево и его множество деформаций.

Форма гибкого объекта описывается множеством силуэтов всех его эквивалентных циркулярных деревьев. Таким образом, форма гибкого объекта – это динамическое понятие, связанное со всеми возможными деформациями объекта.

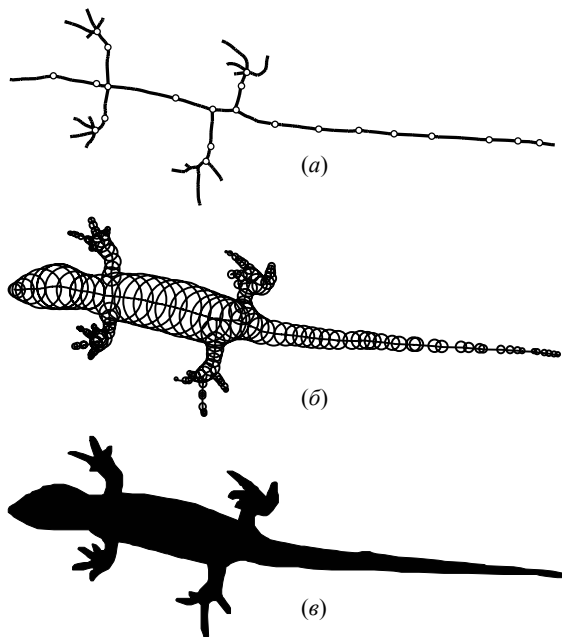


Рис.2: Осевой граф с точками изгиба (а), семейство кругов (б) и силуэт циркулярного дерева (в).

3. СРАВНЕНИЕ ГИБКИХ ОБЪЕКТОВ

На множестве гибких объектов введём метрику следующим образом. Расстояние $\rho(G_1, G_2)$ между двумя гибкими объектами $G_1 = (C_1, V_1)$ и $G_2 = (C_2, V_2)$ определим как минимальное расстояние между их циркулярными деревьями по всему множеству допустимых деформаций, т.е.

$$\rho(G_1, G_2) = \inf_{\substack{v_1 \in V_1 \\ v_2 \in V_2}} \mu[v_1(C_1), v_2(C_2)]. \quad (1)$$

Здесь $v_1(C_1)$ и $v_2(C_2)$ - это преобразованные с помощью деформаций v_1 и v_2 циркулярные деревья C_1 и C_2 , а μ обозначает меру близости циркулярных деревьев.

В свою очередь, меру близости циркулярных деревьев μ определим через близость их силуэтов. Пусть S_1 и S_2 - силуэты циркулярных деревьев C_1 и C_2 . Для измерения сходства (близости) силуэтов может быть выбрана какая-либо известная метрика точечных множеств. Например, это может быть величина $Area(S_1 \setminus S_2 \cup S_2 \setminus S_1)$ - площадь симметрической разности, либо $H(S_1, S_2)$ - хаусдорфово расстояние между силуэтами S_1 и S_2 . Минимальная площадь и минимальное расстояние здесь берутся по всевозможным вариантам наложения силуэтов S_1 и S_2 друг на друга.

Таким образом, задача оценки сходства гибких объектов состоит в выборе такой деформации этих объектов и такого наложения их друг на друга, при которых величина различия

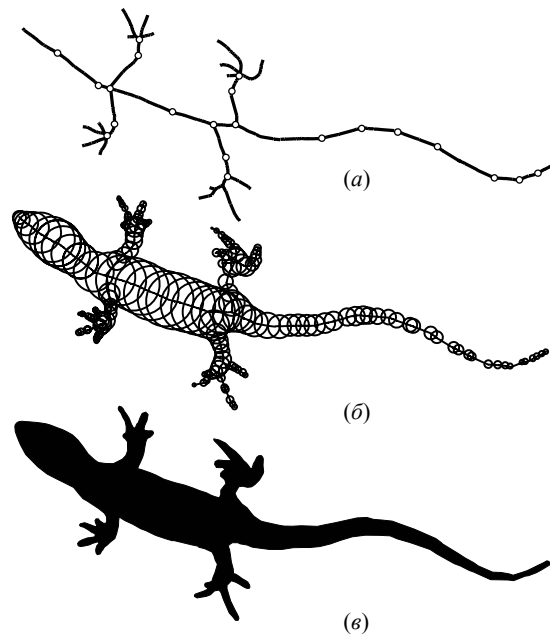


Рис.3: Деформация осевого графа (а) семейства кругов (б) и силуэта циркулярного дерева (в).

их формы будет минимальной. Применительно к человеческим ладоням это значит, что нужно так приложить ладони друг к другу и так пошевелить пальцами, чтобы силуэты ладоней совпали в наибольшей степени.

Вычисление меры близости (1) сводится к решению оптимизационной задачи, сложность которой зависит от конкретного приложения. Мы рассмотрим метод решения этой задачи применительно к сравнению силуэтов человеческих ладоней.

Решение задачи (1) предполагает перебор всех допустимых деформаций гибких объектов и попарное сравнение их силуэтов, полученных в результате таких деформаций. Чтобы избежать такого перебора введём понятие стандартного положения гибкого объекта.

Пусть $\Phi(C)$ - некоторый набор метрических характеристик циркулярного дерева, который будем называть *сигнатурой*. Сигнатура содержит параметры, описывающие местную систему координат циркулярного объекта, а также параметры, определяемые взаимным расположением вершин осевого графа, например, углы треугольников, образованных некоторыми тройками этих вершин. При деформации циркулярного дерева $v(C)$ сигнатура изменяется и принимает значение $\Phi(v(C))$. Предположим, что существует заданное значение параметров сигнатуры Φ^* такое, что для каждого гибкого объекта $G = (C, V)$ рассматриваемого класса найдётся деформация v^* циркулярного дерева C , при которой имеет место $\Phi(v^*(C)) = \Phi^*$. Получаемое в результате этой деформации циркулярное дерево $v^*(C)$ будем называть

стандартным положением гибкого объекта. Поиск соответствующей деформации составляет суть процесса нормализации гибкого объекта. Вопрос о реалистичности предположения о том, что для каждого гибкого объекта может быть найдено преобразование его в стандартное положение, должен решаться применительно к конкретным приложениям. По отношению к задаче сравнения формы ладоней такое предположение, как будет показано ниже, вполне оправдано.

Вычисление меры близости двух нормализованных гибких объектов G_1 и G_2 состоит в нахождении величины $\mu[v_1^*(C_1), v_2^*(C_2)]$, где v_1^* и v_2^* - деформации объектов, приводящие их в стандартное положение. Вычисление меры близости в этом случае не требует перебора допустимых деформаций, как в задаче (1).

4. ПОСТРОЕНИЕ ГИБКОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В основе представления бинарного изображения в виде гибкого объекта лежит аппроксимация этого изображения некоторым циркулярным деревом. Предлагаемый метод такой аппроксимации основан на использовании скелета бинарного изображения. При этом дискретные (растровые) скелеты, полученные с помощью методов утончения или карты расстояний [3], являются неприемлемыми, поскольку нас интересует не только сам скелет объекта как множество его серединных осей, но также и множество всех вписанных в объект окружностей с центрами на этих осях. Гораздо лучше подходит для построения циркулярного дерева непрерывный скелет [4,5].

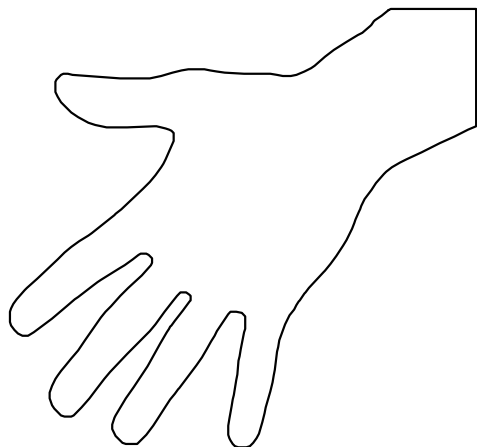


Рис.4: Аппроксимирующий многоугольник минимального периметра для растрового бинарного изображения

Пусть имеется бинарное растровое изображение, на котором представлен объект в виде множества чёрных пикселей, окружённых фоновыми белыми пикселями, как показано на рис.1. Будем предполагать, что это множество чёрных точек является односвязным, т.е. в нём нет «дыр» образованных белыми пикселями.

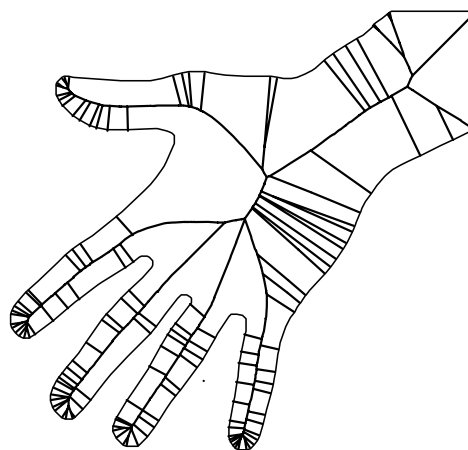


Рис. 5: Многоугольная граница и скелет бинарного изображения

Построение гибкого объекта, аппроксимирующего это изображение, включает следующие шаги.

1. Аппроксимация границы бинарного образа многоугольником минимального периметра. Многоугольник представляет собой замкнутую линию минимальной длины, разделяющую чёрные и белые пиксели на бинарном изображении (рис.4).
2. Построение непрерывного скелета многоугольника минимального периметра (рис.5).
3. Стрижка скелета с целью получения так называемого базового скелета изображения (рис.6).

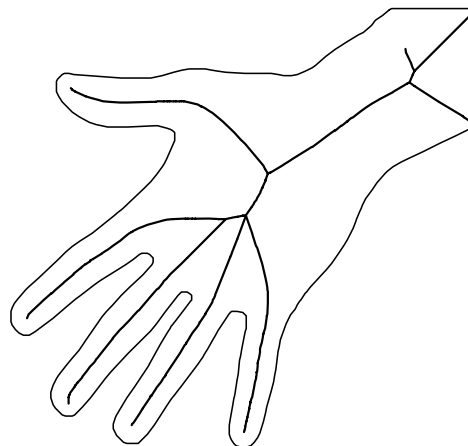


Рис. 6: Многоугольная граница и базовый скелет бинарного изображения

Скелет многоугольника представляет собой геометрическое место точек центров вписанных в многоугольник окружностей. Каждая вписанная окружность целиком лежит в многоугольнике и имеет не менее двух общих точек с его границей. Скелет многоугольника является связным планарным графом, рёбра которого образованы отрезками прямых линий и квадратичными парабол [5]. Множество всех вписанных окружностей покрывает весь многоугольник. Очевидно поэтому, что скелет многоугольника вместе со

своими окружностями образует циркулярное дерево, а сам многоугольник является силуэтом этого дерева.

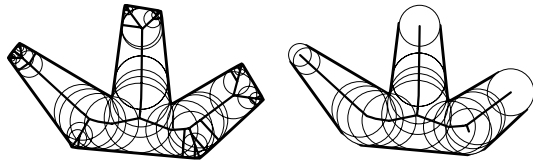


Рис. 7: Скелет многоугольника (слева), его «подстриженный» подграф (справа) и их циркулярные деревья

Базовый скелет получается из скелета многоугольника следующим образом. Рассмотрим связный подграф скелета, полученный путём удаления части его вершин и рёбер. Он также является циркулярным деревом. Но силуэт этого дерева уже не совпадает с многоугольником, а лежит внутри него. Граница этого «подстриженного» подграфа частично совпадает с границей многоугольника, а частично «скругляет» её (рис.7). Пусть M – многоугольник, а S – силуэт циркулярного дерева подграфа. *Базовым скелетом* многоугольника M будем называть минимальный подграф его скелета, у которого силуэт циркулярного дерева отклоняется от многоугольника в метрике Хаусдорфа не более, чем на заданную величину, т.е.

$$H(M, S) \leq \varepsilon \quad (2)$$

Здесь параметр ε обычно принимается равным 1, что соответствует размеру одного пиксела. Базовый скелет имеет существенно более простую структуру, чем скелет многоугольника, и в большей степени устойчив к шумам, связанным с получением исходного бинарного изображения (рис.5,6).

5. ЛАДОНЬ КАК ГИБКИЙ ОБЪЕКТ

Применительно к силуэту ладони техника построения аппроксимирующего циркулярного дерева выглядит следующим образом. На рис.4-6 изображены многоугольник минимального периметра, его скелет и базовый скелет (рис.5,6), построенные для бинарного растрового изображения ладони 4, изображённой на рис.1.

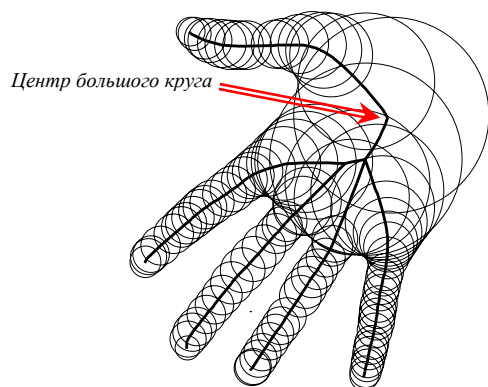


Рис. 8: Циркулярное дерево ладони

В базовом скелете в качестве корня выберем вершину третьей степени, находящуюся в центре ладони, в которой сходятся ветви большого пальца и запястья (рис.6). С точки

зрения задачи идентификации личности полное изображение ладони содержит как значимую часть, так и «постороннюю» информацию. Посторонней информацией является изображение запястья. С одной стороны, при сканировании ладони оно часто скрыто под одеждой. Кроме того, в кадр при каждом акте сканирования попадает различная часть запястья. По этим причинам использовать силуэт запястья для сравнения ладоней не всегда возможно. Поэтому в полученном базовом скелете ладони удалим ветвь, относящуюся к запястью. Оставшийся граф и будем рассматривать как осевой граф циркулярного дерева гибкого объекта (рис.8).

Таким образом, мы описали структуру циркулярного дерева для ладони, заданной в виде бинарного растрового изображения. Отметим, что полученная циркулярная фигура с высокой точностью (до размера пиксела) аппроксимирует исходное изображение.

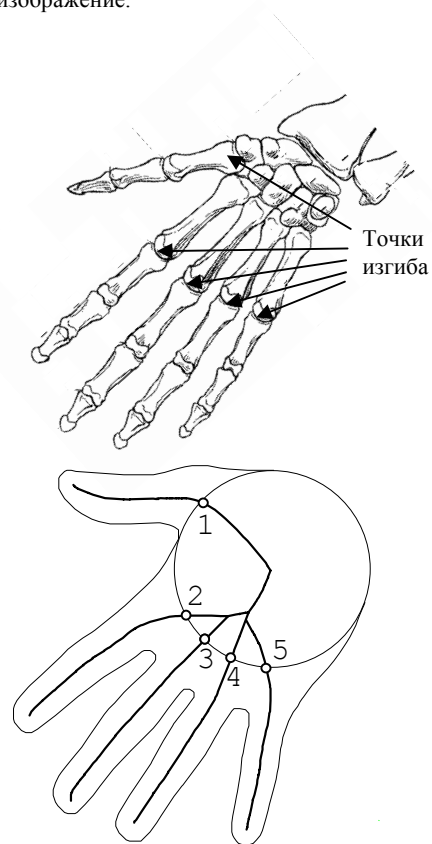


Рис. 9: Выбор точек изгиба в дереве ладони

Точка, выбранная в качестве корня циркулярного дерева, является центром круга, имеющего максимальный радиус среди всех кругов, составляющих дерево. Этот «большой» круг практически не меняет своих размеров при различных деформациях ладони, связанных с шевелением пальцев. Поэтому его удобно использовать для описания местной системы координат ладони.

Для того чтобы задать полностью гибкий объект, описывающий модель ладони, нужно задать ещё множество допустимых деформаций. Для этого следует определить множество точек изгиба. Анализ реального скелета

человеческой ладони (рис.9) показывает, что таких точек изгиба достаточно рассмотреть пять: по одной на каждом пальце.

Конкретный способ установления точек изгиба в осевом графе может быть различным. В примере на рис.9 в качестве таковых выбраны точки пересечения осей скелета с большим кругом.

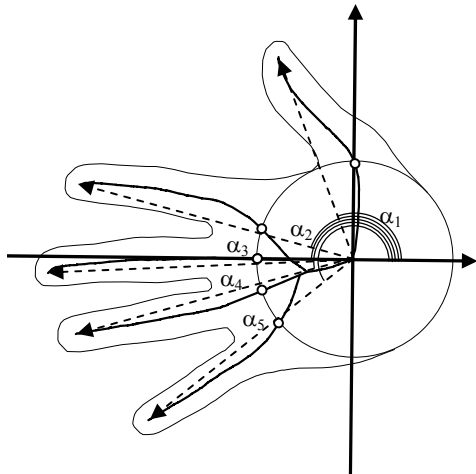


Рис. 10: Параметры сигнатуры

Зададим теперь параметры сигнатуры гибкого объекта. Большой круг даёт возможность задать местную систему координат ладони. Началом координат является центр большого круга, направление оси абсцисс совпадает с направлением вектора из точки изгиба среднего пальца (точка 3) в центр большого круга. За единицу длины по этой оси выбирается радиус большого круга. Ось ординат выбирается таким образом, чтобы образовать правую систему прямоугольных координат. В качестве параметров, описывающих взаимное расположение вершин циркулярного объекта выберем углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ между радиус-векторами концов пальцев и положительным направлением оси абсцисс (рис. 10).

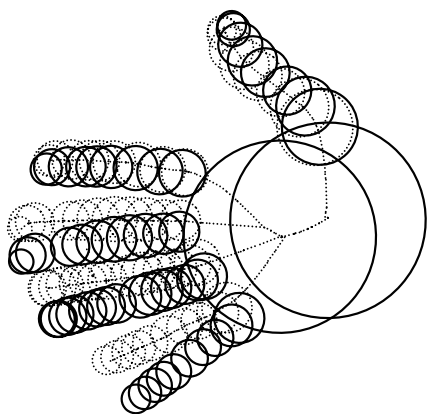


Рис.11: Деформация «шевеление пальцев»

Стандартное положение ладони описывается заданными значениями углов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$. Например, можно задать эти значения вектором $(130^\circ, 160^\circ, 180^\circ, 200^\circ, 230^\circ)$.

Деформация, переводящая ладонь в стандартное положение, представляет собой «шевеление» пальцев – поворот их вокруг точек изгиба на углы, при которых параметры сигнатуры примут заданные значения (рис.11). После выполнения такой деформации нужно вычислить силуэт нормализованной ладони в виде огибающей семейства кругов, входящих в циркулярное дерево. Полученный силуэт нужно растянуть или сжать, чтобы радиус большого круга стал равным единице.

Сравнение нормализованных ладоней требует выполнения следующих действий:

1. Совместить точки начала местных систем координат и направления осей.
2. Вычислить меру различия силуэтов.

На рис.12 приведены примеры сравнения силуэтов нормализованных изображений одной и той же ладони и разных ладоней.

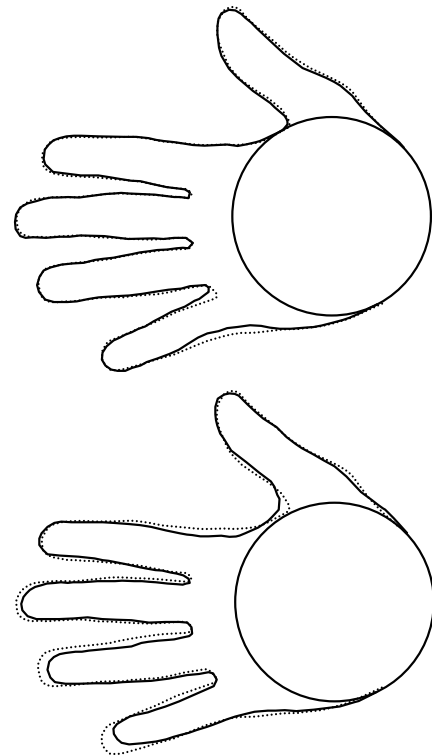


Рис. 12: Сравнение силуэтов одной и той же ладони и силуэтов разных ладоней.

6. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Практическая оценка реализуемости и эффективности предлагаемого подхода иллюстрируется данными следующего вычислительного эксперимента. В эксперименте использовалась база образцов, содержащая 1662 изображения ладоней 320 человек (4-6 изображений для каждой персоны). Изображения представлены чёрно-белыми образами размером 640×480 (рис.13). Все они получены в одинаковых условиях, одной и той же камерой при одинаковом освещении и дальности съёмки (рис.14).

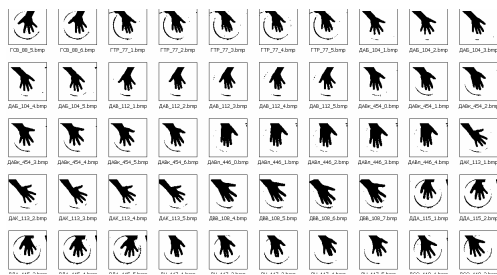


Рис. 13: фрагмент базы изображений ладоней.

Для всех изображений построены аппроксимирующие гибкие объекты и выполнена их нормализация. Далее для каждой пары изображений вычислена мера близости этих объектов по описанному выше методу. Мера близости силуэта S_1 к силуэту S_2 определена в виде отношения площади симметрической разности силуэтов к общей площади силуэта

$$\rho(S_1, S_2) = \frac{Area(S_1 \setminus S_2 \cup S_2 \setminus S_1)}{Area(S_1)} \cdot 1000.$$

Для удобства визуализации зависимостей (для представления их в виде целых чисел) эта величина умножается на 1000 и округляется.



Рис.14: Регистрация изображений ладоней

На рис.15 представлено распределение расстояния от пробного образца до ближайшего соседа. Левая кривая получена на основании попарных сравнений образцов, относящихся к одной и той же персоне. Правая кривая демонстрирует распределение расстояний между силуэтами ладоней разных людей. Таким образом, эти кривые отражают близость образцов в сочетаниях «свой-свой» и «свой-чужой». Диаграмма даёт возможность установить порог для решающего правила при классификации ладоней. Например, если в качестве критерия классификации выбрать решающее правило «по одному ближайшему соседу», то в качестве

порога можно взять величину 50 (абсциссу точки пересечения кривых на рис.15).

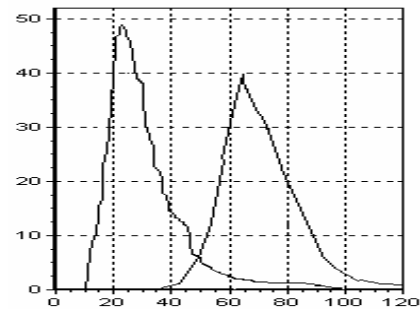


Рис. 15: Распределение расстояний до ближайшего соседа, пары «свой-свой» – левая кривая, «свой-чужой» правая кривая.

Очевидно, что при изменении порога ошибки классификации будут меняться. Полученные в эксперименте зависимости ошибок классификации от выбора порога для правила одного ближайшего соседа представлены на рис.16. Левая кривая показывает уровень ошибок «не узнал свой» (FRR – False Rejection Rate), а правая кривая – уровень ошибок «чужой принят за своего» (FAR – False Acceptance Rate). Следует отметить, что уровень обеих ошибок (порядка 5%) является весьма высоким. Это объясняется природой самого признака: форма человеческой ладони не является столь индивидуальной, как, например, радужная оболочка глаза или узор папиллярных линий. Однако, сравнение силуэтов

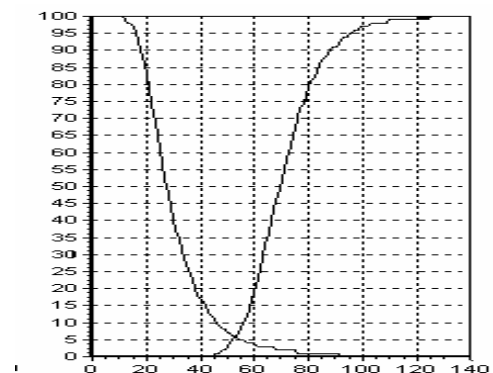


Рис. 16: Зависимость ошибок классификации от выбора порога в решающем правиле (FRR – левая кривая, FAR – правая кривая).

может быть использовано в сочетании с другими мерами близости формы ладоней. В частности, использование его в комбинации с методом сравнения формы ладоней с помощью жирных линий [6] позволяет понизить ошибки классификации до 1-2%. Как показывает анализ рынка биометрических систем, сфера применения систем с таким уровнем ошибок существует [7]. В нее входят области, где требования к надёжности классификации относительно невысоки: контроль посещений в учебных заведениях, библиотеках, медицинских учреждениях, а также контроль доступа в офисах, на небольших предприятиях и т.п.

Эксперимент показал, что предложенный метод допускает весьма эффективную в вычислительном отношении реализацию. Вычисление гибкого объекта для бинарного

изображения и его нормализация требует 0.02 сек., а сравнение силуэта с базой нормализованных образов выполняется со скоростью порядка 1000 сравнений в секунду для процессора Intel с частотой 1.60 GHz. Такое быстродействие позволяет использовать предлагаемый метод в режиме реального времени для решения задач биометрической идентификации в системах контроля доступа или контроля посещений.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход является симбиозом известных подходов к сравнению формы бинарных изображений. С одной стороны, мера близости вычисляется на основе наложения объектов друг на друга и оценки разности границ этих объектов. С другой стороны, за счёт шевеления скелетов объектов и индуцируемого тем самым изменения формы границы осуществляется более точная подгонка объектов. Комбинация этих двух конструкций – границы и скелета – открывает возможности для сравнения объектов, не имеющих строго фиксированной формы, методом наложения, который хорошо согласуется со здравым смыслом и легко визуализируется. Использование нормализации гибких объектов обеспечивает эффективную в вычислительном отношении реализацию, что позволяет использовать предложенный подход в системах биометрической идентификации личности в режиме реального времени..

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sederberg, T., Greenwood, E., 1992. A physically based approach to 2-D shape blending. In Computer Graphics 26(2), 25-34.
- [2] Sebastian, T., Kimia, B., 2001. Curves vs skeletons in object recognition. In Proceedings of International Conference on Image Processing, Thessaloniki, Greece.
- [3] Costa L., Cesar R. Shape Analysis and Classification, CRC Press., 2001.
- [4] Местецкий Л.М. Непрерывный скелет бинарного растрового изображения. Труды межд. конф. "Графикон-98". Москва, 1998.
- [5] Местецкий Л.М. Скелет многосвязной многоугольной фигуры. Труды международной конференции по компьютерной графике «Графикон-2005», Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН, 2005.
- [6] Mestetskiy, L., Semenov, A. Palm Shape Comparison Based on Fat Curves. Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 15, No. 4, 2005, pp. 680–683.
- [7] Местецкий Л.М. Бесконтактная технология: идентификация личности по форме ладони. Тетради международного университета в Москве, Сб. научных трудов, вып.6. М., 2006, с.130-138.

Автор

Местецкий Леонид Моисеевич, доктор технических наук, профессор кафедры математических методов прогнозирования Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

E-mail: l.mest@ru.net

Image comparing of flexible objects based on their normalizing

Leonid Mestetskiy

Moscow State University, Russian Federation

Abstract

We consider the problem of shape comparison for elastic objects presented by binary bitmaps. Our approach to similarity measuring of such objects is based on the conception of a flexible object. A flexible object is defined as a planar graph with a family of circles centered on graph edges. A set of admissible deformations is connected with each flexible object. These deformations are described as a group of planar graph vertices transforms. We define the flexible objects similarity through matching of normalized objects by designed transformation of the object to standard form. The regular method for approximation of the binary bitmap shape by the flexible object is presented. The flexible object is designed as a subgraph of continuous skeleton of the binary bitmap. The proposed approach is applied to a problem of palm shape recognition for personal biometrical identification.

Keyword: *shape analysis, continuous skeleton, normalizing, circular tree, palm silhouette, biometrical identification*

About the author

Leonid Mestetskiy is a professor at Moscow State University, Department of Mathematical methods of Forecast. His contact email is l.mest@ru.net.