

## Выделение линии профиля по опорным точкам с применением базового скелета

*Жукова К. В., Рейер И. А.*

reyer@forecsys.ru

Москва, Вычислительный Центр РАН

Форма линии лицевого профиля является важной отличительной особенностью, которая используется в системах машинного зрения, решающих широкий круг задач: от идентификации человека [1, 2, 3, 4] до распознавания эмоций и выражений лица [5].

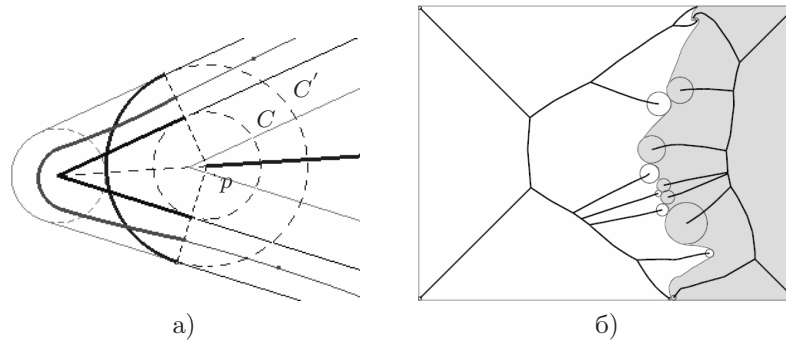
Важной вспомогательной задачей при этом является выделение линии профиля на изображении лица. Линию обычно выделяют по опорным точкам: кончик носа, переносица, лобные дуги, губы, подбородок, и пр. Эти точки удобно рассматривать как экстремумы кривизны контура головы. Традиционными инструментами для определения экстремумов кривизны являются аппроксимация растрового контура сплайнами [1] и масштабируемая модель кривизны границы (curvature scale space) [6, 3].

В работе рассматривается метод выделения линии профиля по особенностям кривизны, позволяющий работать с полигональным представлением границы. Метод основан на использовании непрерывной гранично-скелетной модели изображения, состоящей из границы полигональной фигуры, аппроксимирующей растровый образ, и скелета этой фигуры. Для выявления особенностей кривизны используется скелетная составляющая модели.

### Гранично-скелетная модель изображения

Скелет [7] является эффективным средством для описания структуры плоской области. Изучению скелета области с кусочно-гладкой границей посвящено большое количество работ, установлены различные свойства такого скелета [8]. В частности, известно, что форма скелета чрезвычайно чувствительна к локальным свойствам границы: с каждой точкой локального максимума кривизны (и точкой излома) границы связана отдельная терминальная ветвь скелета. Предлагаемый метод обнаружения и анализа экстремумов кривизны основан на этом соображении.

Для обнаружения экстремумов кривизны предлагается использовать так называемый базовый скелет, описанный в [9]. Базовый скелет — это подмножество скелета многоугольной фигуры, которое не содержит ветвей, определяемых изменениями границы в пределах точности аппроксимации. Таким образом, базовый скелет можно рассматривать как модель существенной части скелета любой аппроксимирующей объект фигуры.



**Рис. 1.** Гранично-скелетная модель и особенности кривизны границы.

С каждой точкой базового скелета связан так называемый базовый круг. Это круг с центром в данной точке и радиусом  $r + \varepsilon$ , где  $r$  — радиус максимального вписанного в фигуру круга с центром в данной точке, а  $\varepsilon$  — точность аппроксимации. Дуга базовой окружности с центром в терминальной вершине внутреннего базового скелета аппроксимирует с известной точностью соответствующий участок границы (Рис. 1а). Таким образом, этот участок можно рассматривать в качестве локального максимума кривизны контура в пределах точности аппроксимации.

Аналогично, если рассмотреть внешний базовый скелет многоугольной фигуры, дуги базовых окружностей с центрами в его терминальных вершинах указывают на локальные минимумы кривизны контура в пределах точности аппроксимации.

Для поиска опорных точек профиля предлагается использовать непрерывную модель изображения, которая состоит из границы многоугольной фигуры, разбивающей плоскость дискретного изображения на фигурную (содержащую все точки объекта) и фоновую (содержащую все точки фона) компоненты, и базовых скелетов фигурной и фоновой компонент (Рис. 1б).

#### **Выделение линии профиля**

Предположим, что нам известно в какую сторону повернута голова на изображении (например, влево). Соответственно, искать линию профиля будем в левой части контура (от самой левой точки с максимальной ординатой до самой левой точки с минимальной ординатой). Рассмотрим множество терминальных вершин внутреннего и внешнего базовых скелетов, максимальные вписанные круги которых касаются этого фрагмента границы, и множество соответствующих им базовых кругов.

Комбинацию базовых кругов, соответствующую носу, будем искать в средней части фрагмента. Эта комбинация должна состоять из трех

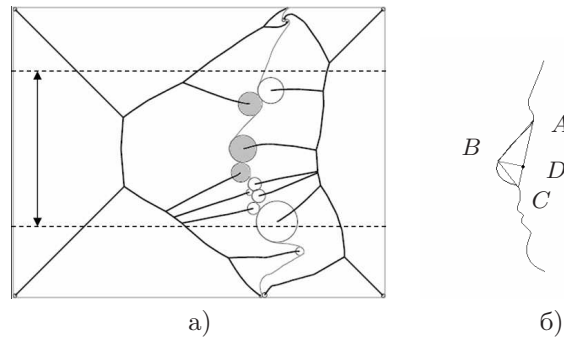


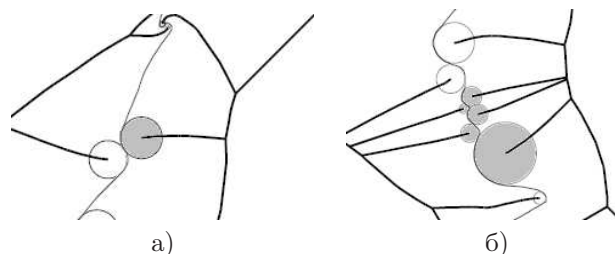
Рис. 2. Базовые круги, соответствующие носовой части лица.

последовательно расположенных вдоль границы кругов: внешнего (переносица), внутреннего (кончик носа) и снова внешнего (основание носа) (Рис. 2а). Таких троек в указанной области может оказаться несколько. Поэтому используется дополнительная проверка.

Для каждого из трех кругов рассматриваем соответствующий фрагмент контура и находим вершину наиболее удаленную от центра круга. Пусть  $A$  — точка, соответствующая переносице,  $B$  — кончику носа,  $C$  — основанию носа. Треугольник  $ABC$  (Рис. 2б) должен удовлетворять следующим условиям: (а) проекция  $D$  точки  $B$  на сторону  $AC$  делит ее таким образом, что длина  $CD$  меньше длины  $DA$ ; (б) длина стороны  $AC$  не должна быть очень малой по сравнению с высотой средней части фрагмента. Если треугольник  $ABC$  не обладает этими свойствами, проверяем следующую тройку кругов.

После того, как найден нос, над кругом переносицы находим внутренний круг, соответствующий надбровным дугам (Рис. 3а), и, поднимаясь по фрагменту контура, ищем первый внешний круг (место, где начинается прическа). Если ни один внешний круг не найден, то определяем верхнюю точку профиля по следующему правилу — высота получившейся лобной части равна высоте носа.

Фрагмент контура, соответствующий губам и подбородку, в идеальном случае описывается последовательностью из пяти кругов, трех внутренних и двух внешних (Рис. 3б). Внутренний круг, соответствующий подбородку — последний в этой последовательности. Также возможны случаи, когда один или несколько кругов, предшествующих кругу подбородка, отсутствуют (всего 9 вариантов взаимного расположения кругов). Чтобы найти подбородок, рассмотрим последовательность из пяти кругов, расположенных ниже круга основания носа. Если эта последовательность оканчивается одним или несколькими внешними кругами, мы



**Рис. 3.** Базовые круги верхней и нижней частей лица.

удаляем эти круги до тех пор, пока последним не станет внутренний. По чередованию внутренних и внешних кругов в полученной последовательности определяем, к какому типу она относится.

Для проведения экспериментов по выделению линии профиля использовалась база изображений Бернского университета [10]. Эта база содержит 150 полутоновых изображений профилей 30 человек. Также использовалась подготовленная авторами база, состоящая из 152 цветных изображений профилей 17 человек.

В 293 случаях линия профиля на изображении была выделена корректно. На 6 изображениях была неправильно выделена нижняя часть из-за наличия бороды. В 3 случаях лобная часть была ошибочно выделена как носовая.

Рассмотренная схема выделения основана на упрощенной модели линии профиля: не учитываются движения лицевых мышц, искажения формы линии такими деталями, как ресницы, брови, борода, и др. Тем не менее, эта схема может быть использована в качестве отправной точки для дальнейшего развития и модернизации. В частности, для борьбы с искажениями, вызванными ресницами, бровями и бородой, можно использовать базовый скелет с более низкой точностью аппроксимации.

Как видим, применение описанной гранично-скелетной модели изображения позволяет эффективно выделять фрагменты контура объекта, содержащие требуемую комбинацию особенностей кривизны, без построения кусочно-гладкой аппроксимации контура.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 05-01-00542 и № 05-07-90395.

### Литература

- [1] *Wu C. J., Huang J. S.* Human face profile recognition by computer // *Pattern Recognition*. — 1990. — V. 23, No. 3-4. — Pp. 255–259.
- [2] *Chellappa R., Wilson C. L., Sirohey S.* Human and machine recognition of faces: A survey // *Proceedings of the IEEE*. — 1995. — V. 83, No. 5. — Pp. 705–740.

- [3] *Liposcak Z., Loncaric S.* A scale-space approach to face recognition from profiles // Lecture Notes in Computer Science. — 1999. — V. 1689. — Pp. 243–250.
- [4] *Wallhoff F., Muller S., Rigoll G.* Recognition of Face Profiles from the MUGSHOT Database Using a Hybrid Connectionist/HMM Approach // IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Salt Lake City, Utah, 2001.
- [5] *Pantic M., Rothkrantz L. J. M.* Facial action recognition for facial expression analysis from static face images // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. — 2004. — V. 34, No. 3. — Pp. 1449–1461.
- [6] *Campos J. C., Linney A. D., Moss J. P.* The analysis of facial profiles using scale space techniques // Pattern Recognition. — 1993. — V. 26, No. 6. — Pp. 819–824.
- [7] *Blum H.* A transformation for extracting new descriptors of shape // Symposium on Models for the Perception of Speech and Visual Form, MIT Press, 1967.
- [8] *Choi H. I., Choi S. W., Moon H. P.* Mathematical theory of medial axis transform // Pacific. J. of Math. — 1997. — V. 181, No. 1. — Pp. 57–88.
- [9] *Местецкий Л. М., Рейер И. А.* Непрерывное скелетное представление изображения с контролируемой точностью // Труды 13-й международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «Графикон-2003», Москва, 2003.
- [10] *Achermann B.* University of Bern Face Database. — Copyright 1995, University of Bern, all rights reserved. — <ftp://iamftp.unibe.ch/pub/Images/FaceImages/>.