

# Применение метода активных контуров в задачах цефалометрии

Ю.Ж. Пчелкина  
Самарский национальный  
исследовательский  
университет им.  
академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
musina@yandex.ru

Р.А. Парингер  
Самарский национальный  
исследовательский  
университет им.  
академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
rusparinger@gmail.com

А.В. Куприянов  
Самарский национальный  
исследовательский  
университет им.  
академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
akupr@ssau.ru

П.Е. Савельева  
Московский областной  
научно-  
исследовательский  
клинический институт  
им. М.Ф. Владимирского  
Москва, Россия  
gezulya76@yandex.ru

**Аннотация** — Алгоритмы активных контуров были применены для автоматизации процесса определения цефалометрических признаков профиля лица по фотоснимкам. Исследовались такие признаки как тип профиля и гармоничность профиля. Произведен анализ результатов автоматической разметки данных.

**Ключевые слова** — обработка изображений, активные контуры, сегментация изображений, ортодонтия, цефалометрия

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При проведении цефалометрического анализа изображений врачами ортодонтами производится антропометрическое и фотометрическое исследование головы пациента. При заполнении описательной части фотопротокола [1] кроме прочего производят изучение формы и эстетики лица, аномалий челюстно-лицевой области. На сегодняшний день определение ключевых цефалометрических точек и расчет антропометрических характеристик производится врачом вручную. Автоматизация этого процесса позволит сократить время осмотра и диагностики.

## 2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Для определения профиля лица измеряется угол между прямыми, проходящими характерные точки: наиболее выступающая точка лба, точка, соединяющая кожную перегородку носа с верхней губой, наиболее выступающая точка подбородка.

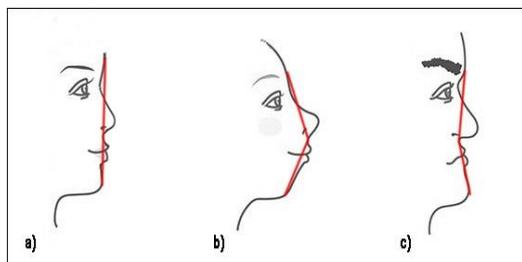


Рис. 1. Типы профиля лица: а) прямой профиль; б) выпуклый профиль; в) вогнутый профиль

При антропометрическом анализе выделяют три типа профиля: прямой профиль – угол между прямыми равен 180 градусов; выпуклый профиль – угол между прямыми меньше 180 градусов; вогнутый профиль – угол между прямыми больше 180 градусов.

Эстетическая линия профиля лица по Ricketts – это линия, соединяющая кончик носа и наиболее

выступающую точку подбородка. Профиль считается гармонично развитым, если данная линия не пересекает кайму губ, при этом верхняя губа отстает от этой линии на 2-3 мм, нижняя губа отстает на 1-2 мм.

## 3. МЕТОД АКТИВНЫХ КОНТУРОВ

Решение задачи автоматизации определения ключевых цефалометрических характеристик основано на распознавании и анализе изображений. На сегодняшний день существует много различных способов сегментации изображений. Выбор алгоритма зависит от поставленной задачи и, как следствие, от необходимой степени точности выделения контура объекта. В случае определения ключевых цефалометрических признаков корректность и наибольшая точность выделения контура изображения играет значительную роль. Метод активных контуров является вариационным методом нахождения границ на заданном изображении [2]-[6]. Изначальный контур инициализируется как некоторая простая линия, состоящая из  $n$  точек. Контур деформируется итеративно до тех пор, пока его форма не будет достаточно близкой к форме изучаемого объекта. Для каждой точки  $v_i$  изменяемого контура значение энергии находится из уравнения:

$$E_i = \alpha \cdot E_{int}(v_i) + \beta \cdot E_{ext}(v_i)$$

$E_{int}(v_i)$  – это функция внутренней энергии, заданная как сумма функций сглаживающей энергии контура и распирающей энергии контура.  $E_{ext}(v_i)$  – это функция внешней энергии, являющаяся суммой функций энергии изображений и энергии градиента.

Весовые коэффициенты определяют вклад соответствующей энергии в общее уравнение критерия. При увеличении коэффициента сглаживающей энергии контура кривая будет сокращаться быстрее, при росте коэффициента распирающей энергии кривая будет более гладкой, коэффициент функции энергии градиента отвечает за изменение яркости изображения.

В большинстве случаев применения метода активных контуров изначально контур задается пользователем вручную. Одна из задач, решаемых в данной работе – это автоматическое выделение начального контура. Для автоматизации инициализации начального контура использовались результаты обнаружения лиц при помощи уже обученных моделей детектирования лиц на изображениях [7]-[10]. Так, например, для обнаружения лиц, изображенных в анфас или в профиль, можно воспользоваться обученной моделью каскадных

признаков Хаара. Тогда в качестве координат центра окружности изначального контура можно использовать координаты центра найденной прямоугольной области.

Ключевыми цефалометрическими точками профиля являются наиболее углубленные или наиболее выступающие точки профиля. Поэтому было предложено исследовать функцию контура профиля на экстремумы. Для этого после применения метода активных контуров была произведена развертка обнаруженного замкнутого контура профиля (путем перехода из полярных координат в декартовы).

При обратном переходе в полярные координаты Таким образом найдены координаты всех интересующих ключевых точек профиля. По ключевым точкам (наиболее выступающая точка лба, точка, соединяющая кожную перегородку носа с верхней губой, наиболее выступающая точка подбородка) были заданы уравнения прямых линий, их соединяющих, найдены углы между этими прямыми, определен тип профиля.

Через точку кончика носа и наиболее выступающую точку подбородка проведена эстетическая линия профиля лица по Ricketts, оценено положение относительно этой прямой точек верхней и нижней красной каймы губ, определена гармоничность профиля.

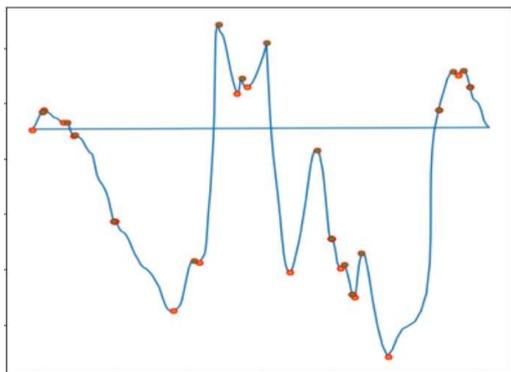


Рис. 2. Развертка контура, экстремумы

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментальных исследований использовался набор из 120 изображений. Для анализа результатов автоматической разметки изображения были сведены к одному размеру и подвергнуты предобработке согласно вышеописанному методу. Все изображения были размечены двумя способами: медицинским специалистом вручную и автоматически. Были обозначены ключевые цефалометрические точки профиля, определен тип профиля, определена гармоничность профиля. В качестве метрики точности использовалось среднее расстояние между точками, размеченными вручную и точками, полученными автоматически при различных весовых коэффициентах соответствующих энергий. В качестве оценки ошибочной вероятности использовалось отношение неверно детектированных типов профиля к общему количеству изображений в выборке.

Таблица I. АНАЛИЗ АТОМАТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

коэффициенты соответствующих функций	при	метрики качества	вероятность ошибочной автоматической
--------------------------------------	-----	------------------	--------------------------------------

энергии				классификации	
сглаживающая энергия контура	распирающая энергия контура	энергия градиента		тип профиля	гармоничность профиля
0,01	0,01	0,01	29,76	0,64	0,12
0,02	0,01	0,01	25,27	0,11	0,97
0,05	0,01	0,01	37,41	0,08	0,86
0,01	0,01	0,01	26,83	0,48	0,09
0,001	0,001	0,005	74,35	0,98	0,23
0,001	0,001	0,001	03,66	0,02	0,03

Лучшие результаты автоматической разметки данных получены при значениях весовых коэффициентов: 0,001 для сглаживающей энергии, 0,001 для распирающей энергии и 0,001 для энергии градиента. В этом случае отличие результатов детектирования ключевых точек автоматически и вручную не повлияло на результаты определения типа и гармоничности профиля.

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов автоматической разметки данных показал, что предложенный способ выделения контура профиля на основе метода активных контуров не обеспечивает точного совпадения цефалометрических точек, выделенных автоматически и вручную. Однако, при правильной установке весовых коэффициентов вероятность ошибки неверной классификации типа профиля и гармоничности профиля может быть снижена до 0,03.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FSSS-2023-0006.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Токаревич, И.В. Общая ортодонтия: учебное пособие для студ. выш. учеб. заведений / И.В. Токаревич. – Минск: БГМУ, 2015. – 219с.
- [2] Álvarez, L. Morphological snakes / L. Álvarez, L. Baumela, P. Henríquez, P. Márquez-Neila // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2010. – P. 2197–2202.
- [3] Kass, M. Snakes: Active Contour Models / M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos // International Journal of Computer Vision. – 1987. – Vol. 1. – P. 321-331.
- [4] Yu, C. Out-of-distribution detection for reliable face recognition / C. Yu, X. Zhu, Z. Lei, SZ. Li // IEEE Signal Process Lett. – 2020. – Vol. 27. – P. 710-714.
- [5] Hassan, A. An Efficient Detection Framework for Linear Skin Lesions with Pigmentary Disorders / A. Hassan, I. Tawfik // 2020 30th International Conference on Computer Theory and Applications (ICCTA). – 2020. – P. 128-133.
- [6] Hajer, W. Preprocessing Latent-Fingerprint Images For Improving Segmentation Using Morphological Snakes / W. Hajer, R.H. Lamia, M. Ahmed, E. Najoua // 2020 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). – 2020. – P. 1-6.
- [7] Jones, M. Robust Real-Time Face Detection / M. Jones, P. Viola // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 57(2). – P. 137-154.
- [8] Rudinskaya, E. Face detection accuracy study based on race and gender factor using haar cascades / E. Rudinskaya, R. Paringer // CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2667. – P. 238–242.
- [9] Hoang, V.T. Monitoring Employees Entering and Leaving the Office with Deep Learning Algorithms / V.T. Hoang, K.T. Minh, N.D. Hieu // Artificial Intelligence in Data and Big Data Processing. – 2022. – Vol. 124. – P. 641.
- [10] King, D. Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit / D.E. King // Journal of Machine Learning Research. – 2009. – Vol. 10. – P. 1755–1758.