

# Выделение контуров человеческого тела в ортопедических исследованиях

В.Н. Цибанов, А.С. Крылов

Кафедра математической физики, факультет ВМиК МГУ

## Аннотация

В работе представлены результаты разработки алгоритмического и программного обеспечения для автоматического выделения контура человеческого тела на фотографиях пациентов, сделанных в ходе ортопедического обследования.

**Ключевые слова:** выделение контуров, нечеткая морфологическая фильтрация, выделение кожи, ортопедия.

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

В последнее время в медицине все большее значение приобретает компьютерная диагностика, сочетающая в себе точность диагноза, и вместе с тем небольшую продолжительность обследования. Особенно перспективными являются неинвазивные методы, не оказывающие в то же время вредного воздействия на организм (как это происходит, например, при рентгеновском обследовании). Одним из таких методов является метод моделирования трехмерной модели человеческого скелета по цветной фотографии пациента, сделанной со спины и последующего анализа искривлений позвоночника. При этом, для формирования трехмерной модели на тело человека с помощью проектора наносятся полосы, что, наряду с получением дополнительной 3D информации, создает дополнительные сложности при обработке изображений. Работа проводилась совместно со специалистами специализированного ортопедического предприятия "Супер-М".

В данной статье описывается первый этап программы: выделение и сегментация тела человека. Алгоритм выделения человеческого тела основывается на двух основных процедурах: цветовой сегментации [1] и выделении контуров [2-4].

В докладе приведены только основные операции по выделению контура. Ряд процедур (таких, как учет симметрии человеческого тела при выделении внутренних контуров, байесовское уточнение для цветовой сегментации сильно засвеченных фотографий, операции сглаживания выделенного контура и др.) либо только упомянуты, либо вообще остались за рамками статьи.

## 2. АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА.

Основными осуществляемыми операциями обработки являются:

- Выделение внешнего контура.

- Цветовая сегментация.
- Выделение внутреннего контура.
  - Морфологическая фильтрация изображения.
  - Выделение контуров с помощью фильтра Канни.
- Анализ и обработка контуров.
- Аппроксимация головы.
- Выделения приближенного контура ног.

## 3. ВЫДЕЛЕНИЕ ВНЕШНЕГО КОНТУРА.

Поиск внешнего контура основывается на выделении области кожи соответствующей человеческому телу с помощью цветовой сегментации [1], и состоит из двух основных процедур:

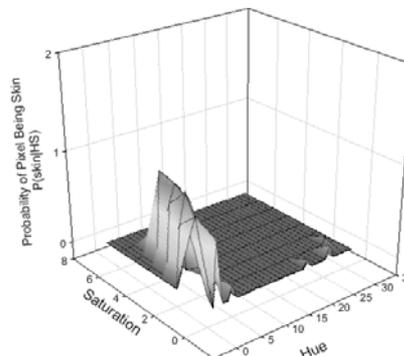
- Первичная цветовая сегментация в пространстве RGB
- Более точная пороговая сегментация в пространстве HSB

### 3.1 Сегментация в пространстве RGB

Кожа человека пронизана кровеносными сосудами, поэтому пиксель, принадлежащий коже, должен иметь преобладающий красный цвет. Соответственно, на первом этапе мы оставляем только те пиксели, у которых значение интенсивности красного канала больше интенсивности серого.

### 3.2 Сегментация в пространстве HSB

Критерий выбора области кожи, рассмотренный на первом этапе, дает много лишних точек, относящихся к фону. Поэтому необходимо добавить еще один фильтр, отсекающий ложные точки. Для более точной цветовой сегментации используются цветовые каналы – Hue и Saturation. Исходя из исследований Kapralos et al. [5] видно, что точки кожи образуют в этом пространстве плотный



кластер (рис. 1).

**Рис.1:** Вероятность принадлежности пикселя коже человека. Следовательно, самый простой вариант сегментации по порогу, учитывая, что фигура человека находится на синем или зеленом фоне, приводит к хорошим результатам. Как видно цвет кожи покрывает практически все значения канала S при ограниченном изменении канала H. Поэтому канал S используется в основном только для отсеечения сильно засвеченных и затемненных областей.

### 3.3 Получение связной области

На данном этапе удаляются все пиксели, удовлетворяющие двум предыдущим критериям, но лежащие вне фигуры человека. Для этого из точек, заведомо принадлежащих телу человека (в качестве таких точек берутся точки лежащие в окрестности центра фотографии), запускается алгоритм заливки Брезенхейма (волна), группирующий точки в 4-связную область. Все точки, не вошедшие в эту область, удаляются. При этом дополнительно задается количество пикселей, через которые волна может «перепрыгнуть» - для избежания эффекта отрезания частей тела из-за низкого разрешения.

После этого происходит заливка пустых областей, образовавшихся на фигуре после цветовой сегментации, при этом заливаются только области, имеющие небольшую площадь. При подсчете площади учитываются характеристики точек, принадлежащих области. Так пиксель, удаленный в ходе первичной сегментации в пространстве RGB имеет больший вес, чем точки удаленные после сегментации в пространстве HSB. Это необходимо для того, чтобы не заливались области между рукой и телом.

На выходе этого этапа мы получаем маску, задающую фигуру человека. По данной двухцветной маске определяется внешний контур человека.

Выделив фигуру человека, с помощью автокорреляционной функции, мы также находим линию симметрии человека.

## 4. ВЫДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО КОНТУРА.

На предыдущем этапе был получен внешний контур человека. На данном этапе решается задача определения внутренних контуров (подмышки, складки и т.д.).

### 4.1 Фильтрация изображения.

Перед выделением внутренних контуров необходимо убрать шум (в первую очередь – полосы, наносимые проектором).

Устранение шума реализуется с помощью морфологических фильтров: Сужения (Erosion) и Расширения (Dilation).

В случае изображения в градациях серого применяется метод нечеткой морфологической (Fuzzy Morphology) фильтрации основанный на операциях над нечеткими множествами [6].

Операции сужение и расширение вводятся аналогично соответствующим операциям, предложенным Массароне [6], с учетом специфики шума и объекта.

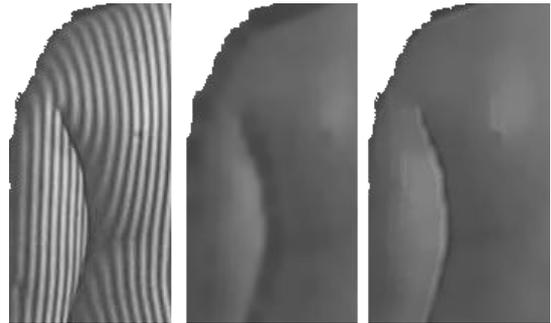
Рассмотрим алгоритмы их выполнения. Для обеих операций задается структурный элемент, который называют маской морфологического фильтра. Ненулевые значения в маске определяют, какие из соседних пикселей следует учитывать при осуществлении операции.

- Сужение: При сужении изображения в градациях серого пиксель исходного изображения принимает минимальное

значение среди пикселей окрестности, соответствующих ненулевым элементам маски.

- Расширение: Операция расширения определяется как операция сужения над множеством дополнительным к объекту. При расширении изображения в градациях серого пиксель исходного изображения принимает максимальное значение среди пикселей окрестности, соответствующих ненулевым элементам маски.

Так как расстояния между полосами, наносимыми проектором, приблизительно равны, то последовательное применение операций сужения и расширения с квадратным структурным элементом определенного размера, позволяет убрать полосы, но в тоже время почти не затронуть контур между рукой и телом (рис.2).



**Рис. 2:** Результат последовательного применения морфологических фильтров расширения и сжатия

В отфильтрованном изображении мы затем усиливаем контуры с помощью фильтра нерезкого маскирования (UnsharpMask.)

### 4.2 Выделение контуров (Edge detection)

После устранения шума к изображению применяется фильтр Канни [7] для выделения точек внутреннего контура.

Условием контура является равенство нулю второй производной интенсивности по направлению  $\vec{n}$ :

$$\frac{\partial^2}{\partial \vec{n}^2} I = 0,$$

где  $I$  —сглаженное изображение, а вектор  $\vec{n}$  должен быть ориентирован в направлении перпендикулярном контуру. Поскольку это направление не известно *a priori*, оно аппроксимируется направлением градиента.

$$\vec{n} \approx \frac{\nabla(I)}{|\nabla(I)|}, \text{ где } \nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right).$$

В качестве точек контура будем выбирать только граничные точки, в которых значение интенсивности контура  $|\nabla I|$  (модуль градиента) больше некоторого порога, задаваемого вручную. Так как подсветка проектора расположена под углом, то контуры, получаемые с правой и левой стороны от линии симметрии, имеют разную величину модуля градиента. Поэтому в каждой из областей выставляется свое значение порога.

Для большей устойчивости производных к шуму, их аппроксимации производятся с помощью метода Собеля: т.е.

производные считаются, как свертки изображения со следующими ядрами:

Vertical Kernel				Horizontal Kernel			
-1	0	+1	- для $\frac{\partial}{\partial x}$	-1	-2	-1	-для $\frac{\partial}{\partial y}$
-2	0	+2		0	0	0	
-1	0	+1		+1	+2	+1	

В программе также можно использовать в качестве ядер свертки матрицы 5x5 и 7x7.

Для устранения негладкости контура и объединения близких параллельных граней соответствующих одному исходному контуру (фильтр Канны, созданный для выделения ступенчатых контуров, выделяет линейный контур как две параллельные грани), полученные контуры расширяются с помощью бинарной морфологической операции расширения.

## 5. АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА КОНТУРОВ.

Несмотря на адаптивное выставление пороговых значений величины градиента, получаемый контур между руками и контур подмышек нередко разрывается, даже при применении операции гистерезиса фильтра Канны, поэтому необходимо продолжение полученного контура. При продолжении контура существенной является информация о величине модуля градиента (рассматриваются точки с максимальным значением величины градиента) и симметрия человеческого тела (рис.3).

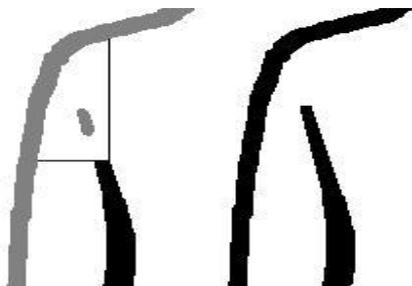


Рис.3: Продолжение контура (прямоугольником отмечена область поиска контура для продолжения)

## 6. ВЫДЕЛЕНИЕ ГОЛОВЫ И НОГ.

Вследствие плохой освещенности человеческого тела, с помощью цветовой сегментации, описанной в первой части, точно выделить голову (темную голову на темном фоне) и ноги (например, для случая штанов сливающихся с фоном) практически невозможно. Поэтому нам необходимо каким-то образом их аппроксимировать.

Блок выделения головы включает следующие этапы:

- Нахождение линии шеи.
- Аппроксимация головы.

### 6.1 Нахождение линии шеи.

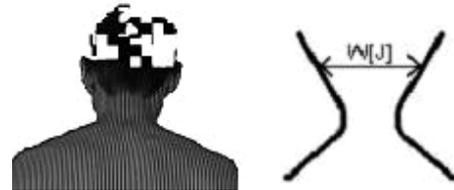
Выделение линии шеи основывается на следующих предположениях:

- $W[J-1] \geq W[J] \leq W[J+1]$ ,

где  $W[J]$  - ширина  $J$ -й строки выделенной области кожи.

- Ширина шеи не должна превышать трети ширины человека.

- Средняя интенсивность линии шеи должна быть примерно равна средней интенсивности тела (отсекаем темные волосы)



• Рис. 4: Модель шеи

### 6.2 Аппроксимация головы.

Для выделения головы анализируются точки, полученные в ходе цветовой сегментации, и при этом используется следующая модель приближения эллипсом.

#### 6.2.1 Алгоритм выделения эллипса.

У произвольного эллипса существует пять неизвестных параметров:  $(x_0, y_0)$  – координаты центра,  $\alpha$  – угол определяющий ориентацию,  $(a, b)$  – малая и большая полуоси. В нашем случае *a priori* известны:

- ориентация  $\alpha=90^\circ$  (голова пациента при съемке расположена вертикально).
- примерное положение центра  $(x_0, y_0)$ 
  - $x_0 \approx$  координата линии симметрии человека
  - $y_0 \approx$  линия шеи + b
- кроме того, требуется выполнение условия  $a \geq b$ .

Таким образом нам необходимо определить четыре параметра:

- $(a, b)$  – малая и большая полуось
- $(dx, dy)$  – смещение центра эллипса по оси x и y соответственно

Для нахождения параметров решается следующая задача

$$\text{максимизации: } F = \sum_{u \in E} f(u) \rightarrow \max,$$

где  $E$  - рассматриваемый эллипс,

$$f(u) = \begin{cases} d, & \text{если пиксель } u \text{ принадлежит телу} \\ -c, & \text{иначе} \end{cases},$$

где  $c, d$  - заданные положительные веса.

Так как наши параметры являются целыми числами, то задачу максимизации можно достаточно эффективно решать простым перебором.

### 6.3 Выделение ног.

Для выделения приближенного контура ног нам необходимо определить две линии: линию трусов (определяем с помощью выделенных внутренних контуров) и линию ступней. Для удобства, все люди снимались стоя на помосте с блестящей

железной пластинкой, совпадающей с линией ступней. Поэтому для нахождения линии ступней нам достаточно найти яркую горизонтальную полосу в нижней части изображения. Для этого применяется фильтр Glint [8].

Блестящий объект характеризуется резкими скачками яркости, которые легко определить, используя оператор Лапласа.

$$Glint(x, y) = (-\nabla I(x, y) \otimes h(x, y)),$$

где  $h(x, y)$  - низкочастотный фильтр,

Наибольший отклик оператора будет соответствовать областям, где находится блестящий объект.

Результат использования описанных алгоритмов для оригинального изображения приведен на рис. 5.

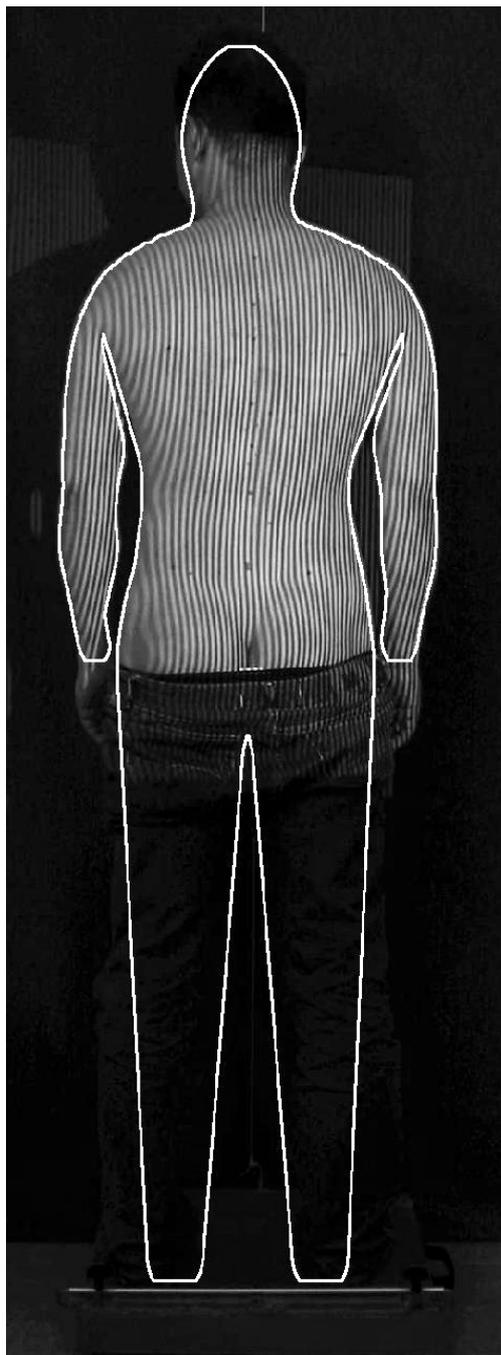
## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм был реализован на языке программирования C++ и протестирован на большом числе снимков, различного качества и освещенности. Программа позволяет с достаточно высокой точностью выделять, как четкие, так и размытые контуры на высоко и низко-контрастных изображениях. Результаты апробации системы показали 90% правильного выделения границ.

Как видно из приведенного описания, выделение контура при помощи указанного метода можно еще существенно улучшить, в первую очередь за счет добавления процедуры обучения (цветовая сегментация). Но в то же время простота использования, легкость и скорость распознавания (фотография 700x1600 обрабатывается ~ 5сек на P3-1000) и отсутствие необходимости обучения являются очень привлекательными.

## 8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

- [1]Cheng H.D.,Jiang X.H., Sun Y., Wang J. "Color image segmentation: advances and prospects" Pattern Recognition, Vol. 34, pp. 2259-2281, 2001.
- [2]Marr D., Hildreth E. "Theory of edge detection" Proceedings of the Royal society of London, Series B, Vol. 207, pp. 187-217, 1980.
- [3]Ziou D., Tabbone S. "Edge detection techniques-an overview", Int. J. of Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 8, No. 4, pp. 537-559, 1998.
- [4] Baker S. "Design and evaluation of feature detectors" doctoral dissertation, Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University, September, 1998
- [5]Kapralos B., Jenkin M., Miliotis E., Tsotsos J. K. "Eyes 'n Ears face detection" ICIP 2001. Thessaloniki, Greece, 2001.
- [6]Maccarone M.C. "Fuzzy Mathematical Morphology: Concepts and Applications", Vistas in Astronomy, Vol.40, Part 4, pp.469-477, 1996.
- [7]Canny J. "A Computational approach to edge detection" IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 8, No. 6, pp. 679-698, 1986.
- [8]Gaubatz M., Ulichney R. "Automatic Red-eye Detection And Correction" ICIP02, pp. 804-807, 2002.



**Рис.5:** Результат работы метода (отметим, что область кистей и пальцев, не требующаяся для дальнейшего 3D моделирования, была удалена в процессе обработки)

### Об авторах

Владимир Н. Цибанов - студент ф-та ВмиК МГУ, email: [tsibanov@mail.ru](mailto:tsibanov@mail.ru)

К.ф.-м.н. Андрей С. Крылов ведущий научный сотрудник МГУ, email: [kryl@cs.msu.su](mailto:kryl@cs.msu.su)