

# Сжатие геометрической информации и оценка близости сложных объектов на основе порождающих моделей

Грудинин Сергей Николаевич, Фроловский Владимир Дмитриевич  
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия  
sn\_grudinin@mail.ru

## Аннотация

В статье рассматриваются вопросы моделирования компьютерных манекенов. Для моделирования сложных поверхностей используется каркасная модель с параметризацией по сечениям. В качестве параметров выступают продольные и поперечные диаметры. Рассмотрен метод извлечения и представления знаний о сложном геометрическом объекте.

**Ключевые слова:** параметризация, манекен, порождающие модели

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Под геометрической информацией моделируемого объекта понимается [3]: набор параметров  $\{\rho\}$ , характеризующих положение объекта в пространстве, набор параметров  $\{\mu\}$  – метрических характеристик формы объекта и метод формирования изображения объекта по параметрам  $\{\mu\}$ .

После определения геометрической информации, становится возможным построение множества моделей объекта, изменяя параметры  $\{\mu\}$  и  $\{\rho\}$  в установленных границах. Этот подход называется концепцией порождающих моделей [4], при этом геометрическую информацию объекта называют базовой моделью, а множество полученных моделей – производными моделями.

Определение базовой модели для объектов сложной формы, таких как манекен, проходит в два этапа: выбор топологии модели (например, каркасная, точечная, объемная и т.п.) и ее параметризация. При этом параметрическое описание базовой модели с одной стороны, должно наилучшим образом отражать особенности формы объекта, с другой стороны содержать разумное число легко определяемых параметров [5].

В связи с этим существует задача сжатия геометрической информации – наиболее компактного и удобного параметрического описания базовой модели.

Таким образом, для моделирования объектов методом порождающих моделей необходимо:

- 1) на основе данных о форме объекта разработать представление и параметризацию базовой модели;
- 2) заложить в параметризацию возможность деформации формы при изменении параметров для дальнейшего проектирования производных моделей;
- 3) для определения качества моделирования задать критерий сравнения моделей как по параметрам, так и с учетом особенностей формы.

В работе рассматривается модель женского манекена. Форма модели – портновский манекен – правильный торс без головы и конечностей.

## 2. БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ

### 2.1 Исходные данные

На старте процесса моделирования входными данными является трехмерная сканированная модель объекта. В качестве исходных сечений для моделирования базовой модели выставляются координаты сканированных точек на заданных уровнях  $l_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Выбор уровней сечений осуществляется экспертом на основе антропометрических стандартов или методов проектирования промышленных манекенов [2].

Так как по природе сканирование – автоматический процесс, возможен избыток или искажение информации, поэтому каждое сечение проходит предобработку: удаление повторных и лежащих на одной прямой точек, сглаживание В-сплайновой кривой.

### 2.2 Представление

Представлением базовой модели выбрана трехмерная каркасная модель с топологией: множество вершин  $\{v_{ij}\}$ , множество соединяющих их вертикальных  $\{(v_{ij}, v_{ij+1})\}$  и горизонтальных ребер  $\{(v_{ij}, v_{i+1j})\}$ ,  $j = \overline{1, M}$ ,  $M$  – количество точек в сечениях. Вершины располагаются на уровнях  $l_i$ . Множество вершин одного уровня образуют сечение  $h_i = \{v_i\}$ . Сечение содержит одинаковые количества вершин, отсортированных по полярному углу и равноотстоящих друг от друга.

Выбранное представление накладывает два ограничения. Во-первых, параметризация базовой модели сводится к параметризации отдельных сечений. Во-вторых, для получения в любой момент моделирования равноотстоящих друг от друга вершин целесообразнее рассматривать сечение в параметризованном виде, как зависимость от суммарной длины. То есть табличную функцию  $y(x)$ , описывающую сечение, выразить как  $x(s)$  и  $y(s)$ , где  $s$  выступает накопленная (суммарная) длина, то есть при  $s_1 = 0$ ,

$$s_j = s_{j-1} + \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2}, j = \overline{2, M}$$

Далее под  $f(s)$  понимается одна из функций  $x(s)$  и  $y(s)$ .

После предобработки происходит размещение в пространстве исходных сечений, представления их в параметризованном виде и симметризация.

### 2.3 Размещение в пространстве

Сечение  $h_i$  располагается в плоскости  $x'_i O_i y'_i$  параллельной плоскости  $xOy$  глобальной системы координат. Положение сечения определяется полюсом  $O_i(x_i, y_i, z_i)$  и углом  $\theta_i$  между проекцией оси абсцисс собственной системы координат  $x'_i O_i y'_i$  на плоскость  $xOy$ , и осью абсцисс системы координат  $xOy$  (см. рисунок 1). За полюс принимается проекция шейной

точки (основание шеи сзади) на плоскость сечения  $h_i, z_i$  равен высоте соответствующего сечения. Исходные сечения подвергаются преобразованиям поворота и переноса так, что  $\theta_i = x_i = y_i = z_i = 0$ .

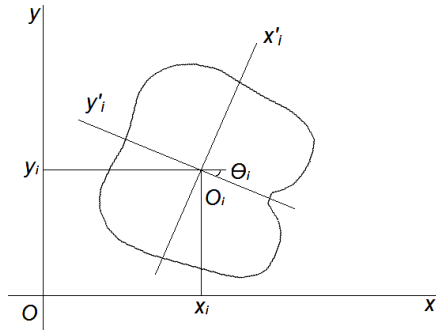


Рисунок 1: Положение сечения на плоскости

Таким образом, параметрами, характеризующими форму объекта, являются значения координат  $z_i$  и  $x_i$  для каждого сечения.

### 2.4 Симметризация

Одним из базовых свойств манекена является симметричность относительно плоскости  $xOz$ . Оно позволяет рассматривать полусечения, что сокращает расчеты вдвое, однако исходные сечения несимметричны, поэтому они подвергаются симметризации – определению средних значений между левыми и правыми половинами. Для этого правые части зеркально отображаются относительно  $Ox_i$ . Значения симметричного сечения рассчитываются как средние кусочно-линейной функции  $f(s)$  левой и правой стороны, вычисленной по всей длине с заданным интервалом  $\Delta s$  (см. рисунок 2).

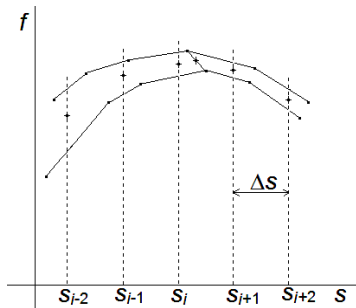


Рисунок 2: Определение симметричного сечения

Вершины, в которых  $f_{i-1} < f_i$  и  $f_{i+1} < f_i$ , называются характерными, они важны при параметризации. Средние значения характерных вершин определяются как середина отрезка, соединяющего соответствующие характерные вершины левой и правой стороны (см. рисунок 2). Предполагается, что левая и правая сторона сечения достаточно близки по форме, поэтому количество характерных вершин в них совпадает.

### 3. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ

После симметризации исходные сечения подвергаются параметризации. В качестве метрических характеристик формы сечения, рассматриваются продольные и поперечные диаметры, на рисунке 3 это отрезки  $a, b, c, d$ .

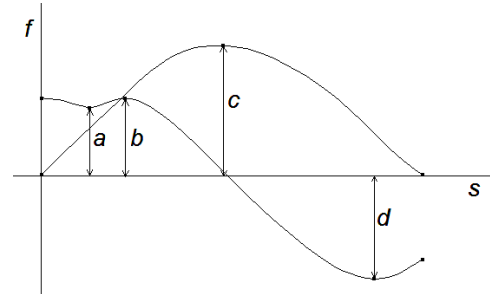


Рисунок 3: Пример метрических характеристик половины сечения

Сегменты сечений между характерными вершинами представляются в виде полинома третьей степени [1]:

$$f(s) = C_1 + C_2(s - s_1) + C_3(s - s_1)^2 + C_4(s - s_1)^3,$$

$$C_1 = f_1, C_2 = a_1, C_3 = (\Delta f - a_1)/\Delta s - C_4\Delta s,$$

$$C_4 = (a_1 + a_2 - 2\Delta f)/\Delta s^2, \Delta f = (f_2 - f_1)/\Delta s, \Delta s = s_2 - s_1,$$

где  $a_1, a_2$  – угловые коэффициенты в начальной и конечной точках сегмента соответственно,  $(f_1, s_1), (f_2, s_2)$  – координаты начальной и конечной точек сегмента соответственно.

Значения  $a_1$  и  $a_2$  рассчитываются для каждого сегмента в отдельности по формуле:

$$a = (f_{j-1} - f_j)/(s_{j-1} - s_{j+1}),$$

если характерная вершина крайняя справа (слева), то по формуле:

$$a = (f_j - f_{j-1})/(s_j - s_{j-1}),$$

где  $(f_i, y_i)$  – координаты соответствующей характерной вершины,  $(f_{i-1}, y_{i-1}), (f_{i+1}, y_{i+1})$  – координаты вершин, соседствующих с характерной.

Для уменьшения погрешности восстановленных по параметрам сечений для каждого сегмента определяются оптимальные значения  $a_1$  и  $a_2$ . Эта задача решается методом градиентного спуска, в качестве условия остановки используется среднеквадратичное отклонение  $E$  расстояний между исходным и восстановленным сечением.

Алгоритм поиска оптимальных угловых коэффициентов выглядит следующим образом:

- 1) задается начальное приближение  $a$ , шаг  $step$  и ошибка  $\zeta$ ;
- 2) задается  $a_{j+1} = a_j + step$ ;
- 2) определяется  $E_{j+1}, E_j$ ;
- 3) если  $(E_{j+1} - E_j) < \zeta$ , то остановка, иначе переход к шагу 4;
- 4) определяется  $grad = (E_{j+1} - E_j)/(a_{j+1} - a_j)$ . Если  $E_{j+1} > E_j$ , то  $\lambda = -\lambda/2$ ;
- 5) определяется шаг  $step = \lambda \cdot grad$ . Переход к шагу 2,  $j = j + 1$ .

На рисунке 4 представлено сечение на уровне наиболее выступающей точки живота до (сплошная линия) и после (пунктирная линия) оптимизации, параметры оптимизации:  $\zeta = 0.0001$ ,  $step = 0.1$ ,  $\lambda = 0.01$ .

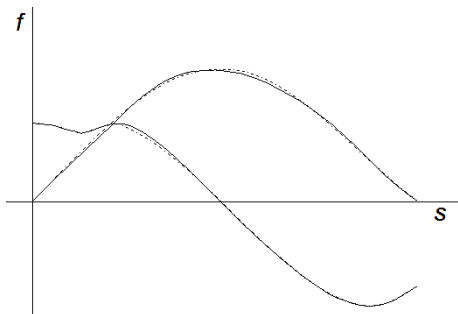


Рисунок 4: Половина сечения до оптимизации и после

Оптимизации угловых коэффициентов – заключительный этап параметризации базовых сечений. Описанная параметризация позволяет деформировать сечения, изменяя продольные или поперечные диаметры. Это приводит к изменению координат характерных вершин, на основе которых происходит перерасчет сегментов, т.е. деформация всего сечения. На рисунке 5 представлен пример деформации полусечения путем изменения одного продольного и трех поперечных диаметров.

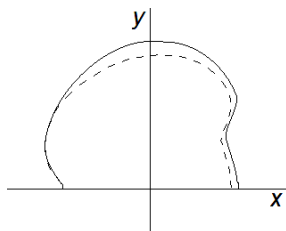


Рисунок 5: Пример деформации полусечения

#### 4. СРАВНЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

Набор параметров характеризующих  $i$ -ое полусечение включает:

- координаторы  $z_i$  и  $x_i$  полюса  $O_i$ ;
- наибольший продольный  $L_i$  и поперечный  $T_i$  диаметры полусечения.

В связи с этим в качестве критериев оценки близости двух моделей  $\Phi'$  и  $\Phi$  используются среднеквадратичные смещения по осям  $Oz$  и  $Ox$ :

$$S_z = \frac{1}{N} \sum_i \sqrt{(z'_i - z_i)^2}, S_x = \frac{1}{N} \sum_i \sqrt{(x'_i - x_i)^2}, i = \overline{1, N},$$

и средняя разность отношений продольного и поперечного диаметров.

$$R = \frac{1}{N} \sum_i \left( \frac{L'_i}{T'_i} - \frac{L_i}{T_i} \right), i = \overline{1, N},$$

Для оценки схожести форм полусечений вводятся дополнительные ограничения:

- 1)  $x$ -координата первой и последней вершин равна 0;
- 2) содержит не менее трех точек.

В качестве критерия оценки используется коэффициент  $k$ , характеризующий отличие формы от полуокружности, описанной вокруг полусечения (см. рисунок 6).

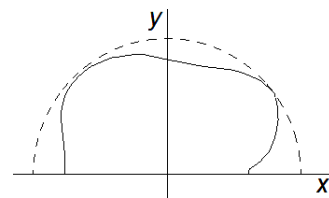


Рисунок 6: Пример описанной полуокружности

Полуокружности соответствуют всем описанным выше ограничениям полусечений, количество вершин в них совпадает с количеством вершин в полусечениях.

Коэффициент  $k$  определяется следующим образом:

$$k = \frac{1}{m} \sum_i \left( \frac{|A_i \cos \varphi_i|}{|B_i|} \right), i = \overline{1, m},$$

где  $m$  – количество вершин в полусечении,  $A_i$  – радиус-вектор с концом в  $i$ -ой вершине полусечения,  $B_i$  – радиус-вектор с концом в  $i$ -ой вершине полуокружности,  $\varphi_i$  – угол между  $A_i$  и  $B_i$ . Значение коэффициента  $k$  изменяется в интервале от 0 до 1. Для оценки близости двух моделей  $\Phi'$  и  $\Phi$  рассчитывается значение  $|k' - k|$ , также изменяющееся от 0 до 1, чем оно ближе к 0, тем более модели схожи между собой.

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описан алгоритм получения базовой модели заданной структуры по трехмерным сканам исходного объекта. Рассмотрена оригинальная параметризация модели трехмерного объекта со сложной структурой на основе диаметров поперечных сечений, сохраняющая геометрическую информацию об объекте. Такой подход позволяет, изменяя диаметры сечений, деформировать базовую модель. Авторами предложены критерии сравнения схожести каркасных моделей данного представления как по параметрам, так и по форме сечений.

Перспективным развитием рассмотренных решений является определение границ изменения параметров, характеризующих тело человека, и их взаимосвязь как между собой, так и с параметрами, определяющими форму сечений. Оптимизация критериев оценки схожести сечений. Определение параметров сечений по фотографиям. Построение патч-модели на основе базовой модели с использованием продольно-вертикальных и поперечно-вертикальных сечений, с заполнением четырехугольной сетки поверхностями определенного типа [6].

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Голованов Н. Н., Ильютко Д. П., Носовский Г. В. Компьютерная геометрия. М. Издательский центр «Академия». Сер. Прикладная математика и информатика. 2006. -512 с.

[2] Коблякова Е. Б. Т. Н. Дунаевская, Г. С. Ивлева, Р. В. Ивлева Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии. М. Мастерство. Издательский центр «Академия». 2001. – 288 с.

[3] Стоян Ю. Г., Яковлев С. В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев. Наук. Думка. 1986.- 268 с.

[4] Фроловский В. Д. Избранные задачи геометрического проектирования. Параметризация сложных поверхностей. Новосибирск. Изд-во «Прогресс-сервис». 2005. -165 с.

[5] Фроловский В. Д. Компьютерное проектирование манекенов и одежды. Трехмерные модели и математические методы. Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrucken, Germany. 2012. 269 с.

[6] Wang C C. L. Parameterization and parametric design of mannequins, Computer-Aided Design 37, pp. 83-98, 2005.

### **Об авторах**

Грудинин Сергей Николаевич, аспирант кафедры АСУ НГТУ.  
email: sn\_grudinin@mail.ru

Фроловский Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор  
кафедры АСУ НГТУ. email: frolovsky@asu.cs.nstu.ru