

# Сжатие геометрической информации сложных объектов на основе порождающих моделей

П. К. Абдулин, В. Д. Фроловский  
Новосибирский Государственный Технический Университет, Новосибирск, Россия  
frolovsky@asu.cs.nstu.ru, pabdulin@mail.ru

## Аннотация

В работе рассматривается задача генерирования верных, в антропометрическом смысле, манекенов с разными параметрами (разных размеров), на основе деформаций базовой модели, т.е. с использованием метода порождающих моделей.

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

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Параметрическое представление сложных геометрических объектов имеет значительные преимущества и преследует две цели: 1) сжатие большого объема геометрической информации; 2) возможность быстрой генерации моделей с заданными индивидуальными параметрами минуя сложный и трудоемкий процесс поэтапного моделирования стандартными средствами универсальных графических систем. Кроме того, внесение в модель семантической информации об исследуемом реальном объекте позволяет значительно упростить модель, сократив количество независимых параметров и, в то же время, предоставляет возможность идентификации параметризованного объекта в заданном классе объектов, что также является актуальным.

В работе рассматривается антропометрическая параметризация компьютерных манекенов. Проблема создания антропометрически верных моделей людей является достаточно актуальной. В настоящее время не существует доступных программных пакетов предоставляющих такие возможности, в то время как потребность в таких моделях велика во многих областях, например в швейной промышленности, в дизайне [2, 5], а также для использования в более сложных системах [1]. В [5] приведён обзор современных подходов к решению этой задачи. В [2] для генерации моделей используется методика подобная рассматриваемой в работе.

Рассмотрение вопросов параметрического моделирования манекенов преследует следующие цели: 1) возможность построения манекенов, соответствующих типовым размерам; 2) возможность построения модели, по антропометрическим данным конкретного человека.

Решение этих вопросов осуществляется в рамках концепции порождающих моделей. Это предполагает построение базовой модели (прототипа заданного класса объектов) с заданной компонентой пространственной формы  $\{S\}$ , обеспечивающей семантическую целостность и узнаваемость проектируемого объекта, и необходимым набором метрических характеристик  $\{P\}$ , определяющих размеры

точечных множеств, имеющих формы из  $\{S\}$ . Затем эта базовая модель подвергается деформациям таким образом, чтобы выполнялся набор накладываемых ограничений и принимала минимальное значение целевая функция, которая представляет собой величину деформаций исходной модели. Таким образом задача сводится к оптимизационной.

## 2. БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ

В государственном стандарте [4] тремя размерными признаками (рост, обхват груди и обхват бёдер) определяются все стандартные типовые фигуры женщин. Но для построения манекена по этим параметрам необходимо помимо значений самих параметров манекена использовать дополнительную информацию — информацию о форме реального человеческого тела. В качестве такой информации может быть использована базовая модель манекена, которая «хранит» в себе структуру (форму) тела. В данной работе исходной информацией является триангулированная модель туловища женщины, которая была получена с помощью трёхмерного лазерного сканирования. Из этой модели была получена базовая сеточная модель, имеющая послойную структуру, при этом уровни слоёв выбирались с учётом антропометрических признаков [3]. Отметим, что использование сеточного разбиения с горизонтальными слоями характерно для большинства моделей [2, 5] и обусловлено особенностями строения тела человека. Слои манекена и будут той необходимой информацией о форме тела на различных уровнях высот. Под построением модели манекена понимается построение поверхности манекена. Так как в нашем случае используется сеточная (дискретная) базовая модель, то под построением манекена можно подразумевать определение новых координат точек сетки в пространстве. Полученная таким образом модель манекена будет представлять собой поверхность, построенную из полигонов. Для получения более гладкой поверхности по имеющейся сеточной поверхности, состоящей из ломаных кривых, существуют специальные методы, которые в данной работе не рассматриваются.

Базовая модель  $S$  представлена массивом, организованным как трехмерный граф, топологически эквивалентный четырехугольным сеткам. Это означает, что в массиве  $P = \{P_{ij}\}$  точек базовой модели наряду с вершинами  $P_{i,j}$  учитываются еще и связывающие их ребра:  $P_{ij}P_{i+1,j}$ ,  $i = \overline{0, m}$ ;  $j = \overline{0, n-1}$ ,  $P_{ij}P_{i+1,j}$ ,  $i = \overline{0, m-1}$ ;  $j = \overline{0, n}$ , где  $i$  — номер горизонтального уровня сечения манекена, а  $j$  — номер точки в сечении. Задача заключается в построении формы

$S^* : P^* = \{P_{ij}^*\}$ , сохраняющей характеристики прототипа

$S$  и удовлетворяющей заданным индивидуальным параметрам, соответствующим ограниченному набору антропометрических измерений. В общем случае для частного набора точек модели  $(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{kl})$

антропометрическое измерение имеет вид:  $U_j(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{kl})$   $j \in \{1, \dots, M\}$ ,  $M$  — номер измерения. Построенная модель содержит два вида параметров: 1) линейные параметры, отражающие линейные размеры и пропорции модели:

- евклидово расстояние между двумя точками:  $U_{dist}(P_{ij}, P_{kl}) = \|P_{ij} - P_{kl}\|$ ;

- пропорции элементов модели:  $U_{jk} = \frac{1}{2} (U_j(x_1, \dots, x_n) - \varepsilon_{jk} \cdot U_k(x'_1, \dots, x'_n))^2$ ,

$\varepsilon_{jk}$  — пропорция между измерениями  $j$  и  $k$ ;

- высота рассматриваемого сечения:  $U_i(P) = z_i - U_{высота} = 0$ , и

2) объемные (величины обхватов на уровне шеи, груди, бедер и т.д.):

- минимальное расстояние между двумя точками на поверхности  $S$ :  $U_S(P_{ij}, P_{kl}) = \min \rho(P_{ij}, P_{kl})$ ;

- обхват рассматриваемого сечения (периметр выпуклой оболочки замкнутого контура):

$U_i(P) = \sum_{j \in \Omega} |P_{i,j} - P_{i,j+1}| - U_{обхват} = 0$ , где  $\Omega$  —

выпуклая оболочка рассматриваемого сечения манекена.

Таким образом, базовая модель представляет собой сеточную модель тела человека и набор определенных измерений [4], которые можно измерить на этой модели.

### 3. ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

Теперь нужно найти метод, который, используя информацию о выбранных параметрах и дополнительную информацию о структуре человеческого тела, позволял бы построить по входным параметрам новую модель манекена.

Целевая функция оценивается с позиции отличия от прототипной формы  $S$  (с контрольными точками  $U_j(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{kl})$ ), в результате минимизируется функция:

$$\Theta(P^*) = |P - P^*|^T |P - P^*| \rightarrow \min,$$

где  $P^* = D_\alpha [P]$ ,  $D_\alpha$  — обобщенная матрица аффинных геометрических преобразований масштабирования, переноса, сдвига, вращения.

Если ограничения представить в общем виде как:  $h(P^*) = 0$ , то целевую функцию можно записать следующим образом:

$$\Theta(P^*) = |P - D_\alpha|^T |P - D_\alpha(P)| + \sum_{i=1}^k r_i H_i(h(D_\alpha(P))) \rightarrow \min$$

где  $k$  — количество используемых ограничений,  $r_i \in [0, 1]$

— весовые коэффициенты, а  $H_i(h(P))$  — штрафная функция. После минимизации создаются формы, сохраняющие характеристики прототипа, и  $S^*$  является лучшей возможной поверхностью с заданными индивидуальными параметрами, а ограничения дают пользователю контроль над геометрией поверхности.

Таким образом, целевая функция пытается передать две основные цели — минимальные величины деформации и минимальное отклонение от требуемых значений антропометрических параметров выстраиваемого манекена.

В целях минимизации возможности возникновения артефактов в целевую функцию входит лишь несколько ключевых слоев, определяющих форму тела, коэффициенты деформации остальных слоев интерполируются.

### 4. МЕТОД ДЕФОРМАЦИИ

Выбор метода деформации, а именно аффинных преобразований масштабирования обусловлен в первую очередь желанием максимально точно сохранить исходную форму объекта, ведь целью является некоторая средняя, стандартная модель. В этом смысле построение новой модели и является скорее некоторым масштабированием нежели деформацией. Поэтому использование некоторых методик реалистичных локальных деформаций таких как, например, функции радиального базиса (RBF) [6], или шнуры (wires) [7] не представляется нужным, хотя и не отвергается.

### 5. ОБЩИЙ АЛГОРИТМ

В общем виде алгоритм выглядит следующим образом:

1) задаются параметры нового манекена, по которым с помощью [4] высчитываются значения соответствующих им антропометрических параметров;

2) Слои манекена выстраиваются на свою конечную высоту (в соответствии с ростом выстраиваемого манекена);

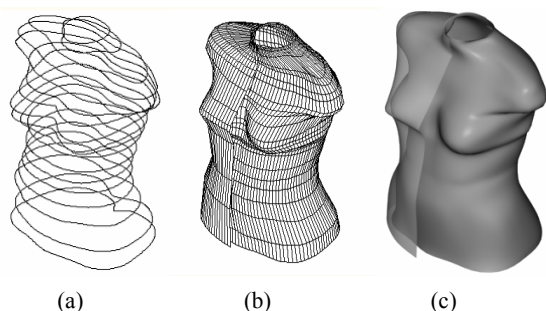
3) Решается оптимизационная задача целью которой является подбор таких коэффициентов деформации слоев, чтобы минимизировать отклонения от требуемых величин антропометрических параметров вычисленных на шаге 1).

Кроме этого на этапе 1) возможно указать любые индивидуальные параметры, на общий ход алгоритма это никак не влияет, таким образом возможна любая индивидуальная параметризация.

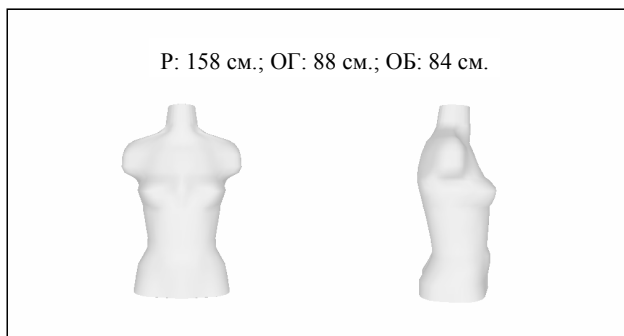
### 6. РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, для ряда стандартных фигур женщин, параметры которых приведены в межгосударственном стандарте, при помощи разработанного программного приложения были построены модели поверхности туловища

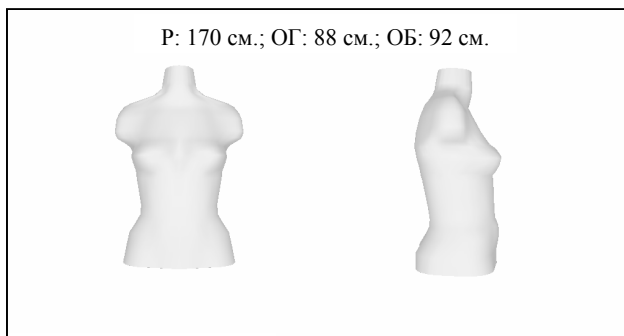
манекенов. Нижеприведённые рисунки иллюстрируют полученные результаты.



**Рисунок 1:** Горизонтальные сечения базовой модели (а), трехмерная сеть манекена и макета внешней формы, построенные посредством ТИС (б), визуализация поверхности тела и макета внешней формы (с)

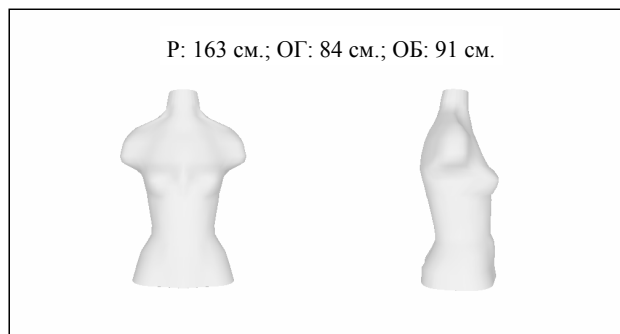


**Рисунок 2:** Модель манекена ростом 158 см.



**Рисунок 3:** Модель манекена ростом 170 см.

Помимо стандартных (типовых) может быть построена модель манекена по индивидуальным параметрам (при этом, однако, необходимо указать дополнительные параметры вручную). Рисунок иллюстрирует построенную модель.



**Рисунок 4:** Манекен построенный по индивидуальной параметризации.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы в соответствии с антропометрией человеческого тела и учётом используемых в государственном стандарте размерных признаков была построена базовая модель манекена. В базовой модели выделены основные сечения, для которых заданы стандартном значения высоты и обхвата, и вспомогательные сечения, для расчёта высот и обхватов которых использовалась линейная интерполяция. Разработана программа для построения произвольного манекена по имеющейся базовой модели. При этом использовалось оптимальное число входных, измеряемых вручную, параметров: рост, обхват груди, обхват бёдер. При моделировании женского манекена рассматривались два вида параметризации: стандартная и индивидуальная параметризация.

Дальнейшее улучшение результатов состоит в более тонком учёте особенностей строения тела человека, в частности более точного определения точки центра деформации для каждого слоя базовой модели, т.к. это один из главных факторов влияющих на достоверность выстраиваемой модели. Так для туловища этот центр в первом приближении будет совпадать с центром позвоночника.

Предполагается также введение ещё одного дополнительного коэффициента для каждого слоя который будет представлять собой отношение глубинного и поперечного диаметров слоя  $k_{zn} = d_z/d_n$ . Дело в том, что этот коэффициент в некоторых слоях сильно различается у полных и худых людей. Таким образом при деформации для вычисления результирующего  $k_{zn}$  нужно принимать в расчёт некоторый

«коэффициент полноты»  $f$ , который в первом приближении равен отношению обхвата талии к росту:  $f = OT/P$ . В

итоге результирующий коэффициент  $i$ -го слоя

$$k_{zn\text{рез}i} = \frac{d_z}{d_n} \left( 1 + \alpha_i \cdot \frac{f_{\text{баз}}}{f_{\text{рез}}} \right), \text{ где } \alpha_i \text{ — некоторый}$$

коэффициент  $i$ -го слоя, который принимает значение 0 в случае если  $k_{zn}$  слоя  $i$  не зависит от коэффициента полноты

$f$ ,  $> 0$ , если слой вытягивается в глубину при увеличении

$f$ ,  $< 0$  если слой вытягивается в ширину при увеличении

$f$ . Таким образом каждому слою в дополнение к центру

деформации планируется введение дополнительного коэффициента  $\alpha$ , отвечающего за видоизменение слоя при изменении полноты модели.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] F. Azuola, N.I.Badler, P.Ho, I.Kakadiaris, D.Metaxas and B.Ting. "Building anthropometry based virtual human models", *Proc. IMAGE VII Conf.*, Tuscon, AZ, June, 1994.
- [2] D. Protosaltou, C. Luible, M. Arevalo, N. Magnenat-Thalmann. "A body and garment creation method for an Internet based virtual fitting room", *Proceedings of Computer Graphics International Conference*, Springer Verlag, pp. 105–122, July, 2002.
- [3] Антропометрический атлас. // Составители: Ермакова С. В., Подставкаина Т. П., Строкина А. Н. М.: ВНИИТЭ. 1977. – 321 с.
- [4] ГОСТ 17522-72 Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. М. Изд-во стандартов. 1972. –68 с.
- [5] N. Magnenat-Thalmann, H. Seo, F. Cordier Automatic Modeling of Virtual Humans and Body clothing // *Proceedings of 3-D Digital Imaging and Modeling*, IEEE Computer Society Press, pp. 2—10, October, 2003
- [6] М. А. Сенин, Н. Е. Кожекин, В. В. Савченко Деформация поверхностей на основе функций радиального базиса с компактным носителем // *Электронный журнал «Исследовано в России»* <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/186.pdf>
- [7] F. Lazarus, S. Coquillart, and P. Jancene. Axial deformations: an intuitive deformation technique. *Computer-Aided Design*, 26(8):607—613, August 1994.
- [8] Фроловский В. Д. *Параметрическое моделирование сложных поверхностей. Материалы 9-й и 10-й юбилейной Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам. Ч. 1. Н.-Новгород. НГТУ. 2000. С. 65—68.*
- [9] Хабаров В. И., Фроловский Д. В. *Объектно-ориентированный подход к 3D моделированию анатомических структур и идентификация трехмерных объектов. // Труды международной конференции по компьютерной геометрии и графике ГРАФИКОН-2001. 10-15 сентября 2001, Нижний Новгород. С217—220.*

## Об авторах

Абдулин Пётр Кимович, магистрант кафедры АСУ НГТУ.  
email: pabdulin@mail.ru

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

# Compression of the geometrical information of complex objects on the basis of generating models

## Abstract

The problem of generation of anthropometrically accurate mannequins with different parameters (sizes) is considered. Deformation of the generic model is used to achieve the result, i.e. method of generative deformational modeling is used.

**Keywords:** parameterization, mannequin, generative models.

## About the authors

Pyotr Abdulin is an undergraduate student at Novosibirsk State Technical University, Department of Automatic Control Systems. pabdulin@mail.ru

Vladimir Frolovsky is a Sc. D., professor at Novosibirsk State Technical University, director of Automatic Control Systems department. frolovsky@asu.cs.nstu.ru