

# 一种基于人体测量学的三维人体快速建模方法研究与实现

张宏铭<sup>1,2</sup>

(1.厦门大学 软件学院, 福建 厦门 361005, 2.福建龙岩烟草工业有限责任公司, 福建 厦门 364021)

**摘要:**常用的个性化三维人体建模方法存在数据量大, 处理过程复杂, 不适合 Web 应用的不足, 该文提出一种新的快速进行三维人体建模的方法, 该方法根据人体测量学和人体解剖学原理, 结合人体表面特征点和特征线分布规律, 应用超椭圆仿真人体各截面、采用层次参数驱动设计思想, 实现快速创建个性化三维人体模型。该方法具有满足实时要求、交互参数少, 易于控制, 误差小、模型真实感强等优点, 并可以准确地提供骨骼关节点和人体特征点, 适于三维仿真形象动态设计、人体运动模拟和虚拟服装试衣等多种应用。

**关键词:** 人体建模; 人体测量学; 曲面仿真; 参数设计

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3044(2008)34-1741-03

## A Real-time Method for Parameterized Human Body Modeling Based on Anthropometry

ZHANG Hong-ming<sup>1,2</sup>

(1. Software School, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Longyan Cigarette Factory, Xiamen 364021, China)

**Abstract:** The traditional individual 3D virtual human modeling method has drawbacks of mass data and complex post-processing. It does not suit the Web application. The research presented in this paper is to propose a novel real-time approach of 3D human parameterized modeling based on anthropometry. According to the principle in Anthropometry and Anatomy, the model surface are divided into several parts. The human cross-section of torso and limbs are simulated by super-ellipse curves. Some feature points are selected from super-ellipse curves to generate the Nurbs surfaces of torso and limbs. A hierarchy parameterization driven mechanism based on Anthropometry data is used to calculate parameter values during the human model generating. The experiment result indicates that the method is flexible, little data quantity, easy-control, realistic and exact, and fit for many Web applications such as virtual image-building, virtual human motion and virtual try-on.

**Key words:** human modeling; anthropometry; surface fitting; parameterization

## 1 引言

近年来, 随着网络技术的发展及服装销售模式向网络个性化消费模式的转变, 个性化的人体建模一直是人们研究的热点之一。当前获得个性化人体模型常用的方法是用三维激光扫描仪获得人体三维点云数据, 再对点云数据进行处理<sup>[1-4]</sup>。这种方法建立的模型通常有比较高的精度, 但建模速度慢、对场地和设备要求较高, 无法满足实时要求的个性化服装展示及定制的场所。如在网上订购服装或进行虚拟试衣的环境下, 应用激光扫描或其他需要复杂的处理程序的方法明显是不适合的。在网络服装销售和其他需要个性化形体展示的应用中, 快速、低成本的基于特征的个性化建模方法具有很好的发展前景。该文提出一种基于人体测量学数据的方法来创建个性化三维人体模型, 不仅使用简单并且具有快速便捷的优点, 非常适合网络应用。

## 2 人体测量学在人体建模中的应用研究

人体测量学是一门关于人体测量的生物学科学, 它系统的研究人体不同的面貌和身体形态。通过系统地收集人体测量数据, 人们对不同组群的人体进行多种统计学上的研究。在基于人体测量学参数化建模方面, 早期的工作见于 Grosso 的研究<sup>[5]</sup>, Grosso 用圆柱来表示身体模型。根据关节位置, 模型被分成几个部分, 每个部分参数化为三个主要的测量量: 高度、宽度和深度。根据预先存放好的人体测量度量改变模型的参数, 将产生不同的模型。1994 年 Azula 等人提出了人体测量学数据缩放系统 (Spreadsheet Anthropometry Scaling System)<sup>[6]</sup>, 这个系统依据人体测量统计数据生成虚拟人体模型, 主要用于人机工效学的应用。用户可以在这个名为“JACK”的系统中创建适当比例的人体模型, 并对模型进行控制调节。H.seo 随后将类似的方法应用于人脸的生成<sup>[7]</sup>。DeCarlo<sup>[8]</sup>借助变量模型技术, 将人脸建模的问题看作是生成一组人体测量学数据的问题, 使生成的人脸能尽可能的反映测量数据。王维等在 Jack 软件中建立了基于国标人体测量学数据的人体模型动态缩放子系统<sup>[9]</sup>。这些技术大多需要复杂的计算模型和模板, 不适合网络应用。

## 3 基于人体测量学的三维人体快速建模技术研究

本方法采用的人体测量学数据来源于采用美国 [TC]2 公司的三维人体测量仪测得的 78 项人体测量项目。该方法可以根据客户输入的几个测量尺寸参数如: 胸围、腰围、肩宽、等人体特征参数, 快速产生满足规定尺寸条件的人体模型。产生的模型为符合 VRML2.0 中的 H-Anim 标准的人体模型<sup>[10]</sup>。建模流程如图 1 所示: 首先用超椭圆或椭圆组合曲线仿真人体各部分横截面, 根据人体测量学和人体解剖学的统计规律推测建模所需的其他参数。然后根据参数和各特征点用多个 Nurbs 曲面进行拟合, 在对多个 Nurbs 曲面进行拼接后, 最终得到个性化三维人体模型。

### 3.1 模型分割和参数选取

收稿日期: 2008-10-10

作者简介: 张宏铭(1975-), 福建龙岩烟草工业有限责任公司工程师, 厦门大学软件学院在读研究生, 研究方向: 虚拟现实、决策支持、数据挖掘、信息管理技术。

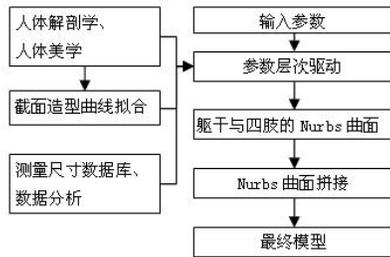


图1 建模流程

表1 人体特征的参数

序号	项目	备注
1	性别	男、女
2	年龄	年龄段
3	体重	Kg
4	身高	Cm
5	胸围	Cm
6	腰围	Cm
7	臀围	Cm
8	肩宽	Cm

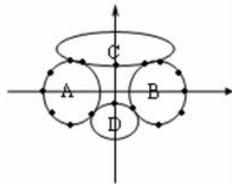
根据人体不同部位的解剖学的特点,将模型分成6个部分,分别是头、躯干、上肢、下肢、手、足。其中躯干是体现人体体型特征的主要部分,包括肩部、颈部、胸部、腰部、臀部。根据人体测量学选取8个代表人体特征的参数,如表1所示。这些参数为人们日常生活中所熟识,不但易于自身测量,而且容易记忆。人体建模将应用这些测量参数通过人体测量学统计数据及人体美学的比例推算出其他建模所需要的测量参数。头和手、足由于造型结构复杂,用三角网格模型通过变形得到。

3.2 造型曲线设计

人体的水平截面有类似于超椭圆的特点,应用椭圆进行人体建模,可以到很好的效果,本文应用超椭圆仿真人体各横切面轮廓曲线,超椭圆参数方程:

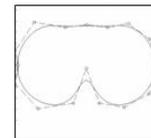
$$\begin{cases} x = \pm a(\cos \theta \cdot \cos \theta)^{\frac{1}{2s}} & (-\pi < \theta < \pi) \\ y = \pm b(\sin \theta \cdot \sin \theta)^{\frac{1}{2s}} \end{cases}$$

超椭圆具有表达式简单、控制参数少(a,b,s),对称性强,曲率变化连续,具有较强的覆盖特性等诸多优点<sup>[1]</sup>,我们应用超椭圆及超椭圆的组合完成胸围截面、腰围截面、臀围截面、及四肢截面的拟合来达到人体横截面造型的效果。举胸部为例。胸部是人体主干部位最为复杂的部分,因为前胸和后背具有二峰性,但峰值是不相等的,如图2所示,应用4个相切的椭圆A、B、C、D来仿真胸围截面。选取切点及其他特征点(如图用黑点表示),用Nurbs曲线拟合胸围如图3所示。



四个椭圆相切及特征点分布

图2 用椭圆相切仿真胸围线横截面



用 Nurbs 曲线拟合

图3 用 Nurbs 曲线拟合胸围

该模型的优点是胸围线的形状可以通过简单的参数灵活控制,如可以调整A、B、D的横轴来改变胸前乳沟的深度;调整A、B、C的横轴来改变胸背的平滑度;调整A、B的横轴来改变胸的宽度;调整A、B的纵轴来改变胸的厚度。与胸部形状相比,腰部、臀部和四肢截面形状简单。根据腰部截面和四肢截面前后弧度不同的特点,采用两个共横轴的超椭圆合并,进行仿真。图4为躯干部分三围造型曲线与实际成年女子躯干相应横截面轮廓对比。图5为根据躯干各造型曲线特征点用Nurbs曲面拟合的模型。

3.3 参数驱动设计

参数驱动设计目的是根据输入主要的参数,推测出其余人体建模需要的数据。参数驱动采用参数驱动树的形式,用层次的方法加以实现。根据人体测量学将建模所需要的参数分成四个层次。

第一层为输入参数,称为主动参数。第二层次为整体定位驱动。即由主动参数驱动各造型曲线在人体横截面中心的高度和位置。第三层次为局部造型驱动,即各造型曲线形状驱动。在整体定位的基础上,驱动决定各造型曲线形状的参数。如根据胸围长度、年龄、性别计算胸宽、胸厚即超椭圆的长短轴、权值等。第四层次特征点定位驱动,定位人体表面特征点,对模型进行调整。如根据如

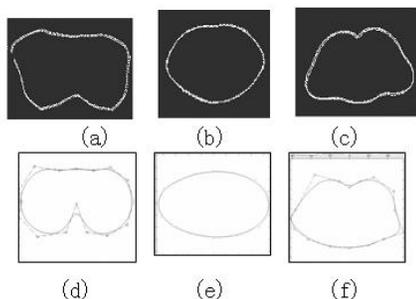


图4 为躯干部分三围造型曲线与实际成年女子躯干相应横截面轮廓对比

(a)、(b)、(c)分别为成年女子躯干胸围、腰围、臀围水平截面图  
(d)、(e)、(f)分别为对应的超椭圆拟合曲线

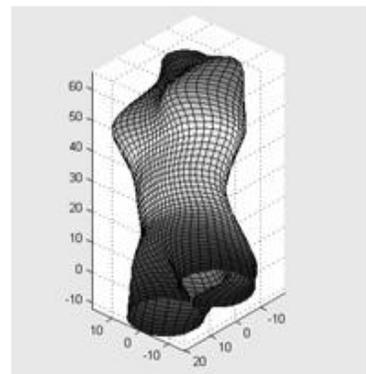


图5 根据造型曲线形成的躯干三次 Nurbs 曲面

局部造型计算肩胛股点、髂前上棘点等位置。

以上四个层次的驱动用两类技术实现。一类为通过人体比例学、美学驱动,如高度方面的参数,一类是通过对人体测量数据库的数据的分析,应用因子分析、相关分析和回归分析进行推算。

### 3.3.1 基于人体解剖学比例的参数驱动

根据人体各部份之间存在固有的比例关系进行整体定位参数驱动。根据“头高说”,人体各部分水平截面位置如图6所示。按比例可以迅速推算出胸围线高、腰围线高、臀围线高、肩高、以及上臂长、前臂长、大腿长、小腿长,等参数数值。应用“黄金分割律”可以推测局部关节点的位置。如肘关节是肩峰到中指中点之分割点。通过比例关系驱动可以大大降低参数驱动模型的复杂性,提高建模速度。

### 3.3.2 基于人体测量数据库的参数驱动

人体各部位的尺寸变化不是独立的,而是存在着相互的联系。通过对人体测量数据库测量数据的分析,可以确立各参数间的关系和推算规则。局部造型驱动依据这些关系和规则产生其他参数。如胸部的局部造型,给定的年龄段、性别、胸围长度,通过对数据进行因子分析,相关分析和回归分析可以推算出其他决定胸部造型的参数,如胸宽、乳间距、上下胸围长度等。

举胸部局部造型驱动部分为例:实验样本为成年女子200人,年龄段为20~30岁。测量项目为采用美国[TC]2公司的三维人体测量仪测得78项人体测量项目,经过因子分析,选取X1胸围;X2胸宽;X3上胸围;X4下胸围;X7乳间距为同一参数组。对各参数进行相关分析,选取显著性 $\alpha=0.05$ (可信度为95%),相关系数如表2。

从表2中可看出,5个项目间的相关性都很强,相关系数都超过0.5。表3为应用一元回归分析由胸围推测胸部其他参数的回归方程:

$$S2=S1 \times 0.339 + 8.268; S3=S1 \times 0.847 + 0.791$$

$$S4=S1 \times 0.740 + 9.201; S5=S1 \times 0.158 + 4.422$$

我们可以应用一元或多元回归的方法得到更多的推算表达式,前提是人体测量数据库包含的人体测量记录必须足够大。

## 4 三维人体快速建模方法实现

我们用VC++6.0 OPENGL在windowXP系统上实现了一个三维人体模型快速定制系统,测量数据为采用美国[TC]2公司的三维人体测量仪测得78项人体测量项目(不包括体重)。数据库为sqlserver2000。如图7所示,根据用户输入的参数值(如表4)创建的三维人体模型。系统运行结果表明,该建模方法具有速度快、数据量小、控制灵活等特点。

## 5 结论及展望

基于人体测量学的建模方法可以实现快速创建个性化的人体模型,具有以下优点:1)数据量小、算法,简单适合Internet应用。建模前期准备工作主要是人体测量数据的分析,为一次性工作。2)模型控制性强,大小符合输入参数量的描述,并且形体美观的效果,适合于形体展示。3)模型可以较准确地提供骨骼关节位置(H-Anim标准)和特征点,有效支持运动模拟和虚拟试衣的碰撞检测。4)参数驱动机制灵活,通过增加输入参数项目可以得到更为精确的人体模型。

下一步的研究将在对测量数据的分析基础上,定位特征点,根据人体表面特征点对人体进行更精细的刻画,如胸窝、锁骨等,让模型更准确地反映不同体型、种族、地域的特点。随着我国人体测量尺寸数据库的不断丰富,基于人体测量学的建模方法的应用将会越来越广泛,具有对网上服装展示及其他形体展现的发展具有重要的意义。

### 参考文献:

[1] Allen B, Curless B, Popovic Z. Articulated body deformation from range scan data [C]// Proceedings SIGGRAPH, Addison-Wesley, 2002:612-619.

[2] Allen B, Curless B, Popovic Z. The space of all body shapes: reconstruction and parameterization

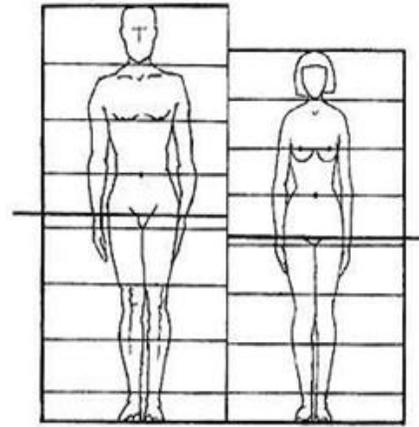


图6 人体头高比例示意图(7.5个头高)颈围线、胸围线、腰围线、臀围线位于3.5、4.5、5.5、6.5个头高处

表2 胸围与胸宽、上胸围、下胸围、乳间距相关系数表

	X2	X3	X4	X5
X1	0.544	0.943	0.658	0.672

表3 应用一元回归分析由胸围推测胸部其他参数的回归方程

因变量(y)	自变量(x)	Y=ax+b		相关系数(r)
		a	b	
胸宽	胸围	0.339	8.268	0.544
上胸围	胸围	0.847	0.791	0.943
下胸围	胸围	0.740	9.201	0.658
乳间距	胸围	0.158	4.422	0.672

表4 输入参数表

序号	项目	备注
1	性别	女
2	年龄	22
3	体重	47Kg
4	身高	161cm
5	胸围	84cm
6	腰围	64cm
7	臀围	85cm
8	肩宽	39cm



图7 最终模型正面与背面截图

- from range scans[C]//Proceedings SIGGRAPH, Addison-Wesley, 2003.
- [3] Seo H, Cordier F, Thalmann N. M. Synthesizing Animatable Body Models with Parameterized Shape Modifications [C]. Proc ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, 2003.
- [4] Seo H, Thalmann M N. An Automatic Modelling of Human Bodies from Sizing Parameters [C]. Proceedings SIGGRAPH symposium on Interactive 3D Graphics, 2003:19-26, 234.
- [5] Grosso M, Quach R, Otani E, et al. Anthropometry for computer graphics human figures [Z]. 1987.
- [6] Azuola F, Badler N I, Ho P, et al. Building anthropometry based virtual human models [C]. Proc IMAGE VII Conf, Tuscon, AZ, June, 1994.
- [7] Seo H, Yahia-Cherif L, Goto T, et al. GENESIS: Generation of EPopulation Based on Statistical Information [C]. Proc. Computer Animation, IEEE Computer Society Press, 2002:81-85.
- [8] DeCarlo D, Metaxas D, Stone M. An anthropometric face model using variational techniques [C]. Proceedings SIGGRAPH '98, Addison-Wesley, 1998:67-74.
- [9] 王维, 李焱, 贺汉根. 基于国标人体测量学数据的虚拟人缩放方法 [J]. 计算机仿真, 2006(7).
- [10] H2Anim 200x specification [EB/OL]. <http://www1h2anim1.com>.
- [11] 袁渊, 肖正扬, 杨继新. 超椭圆曲线特性及其在曲面拟合中的应用 [J]. 大连轻工业学院学报, 2004, 23(4): 2287-2290.

(上接第 1710 页)

#### 4 实验结果与分析

仿真试验是以 JVT 提供的 JM10.1 算法<sup>[6]</sup>测试平台, 对其算法相关部分进行修改而进行的。为了检验本文提出的快速算法, 采用 4 个不同运动顺序的测试序列。Foreman、Claire、Coastguard、Bus。实验数据如下表 1(QP=16)和表 2(QP=38)。

表 1 QP=16 的实验结果对比

测试序列	算法对比	比特率对比 (kb/s)	耗时对比 (s/frame)	PSNR 变化
Foreman(QCIF)	JM 算法	2310.00	3.15	46.37
	本文算法	2354.01	2.30	46.25
Claire(QCIF)	JM 算法	1000.12	4.80	45.94
	本文算法	1011.53	3.71	46.16
Bus(CIF)	JM 算法	10103.04	7.32	45.21
	本文算法	10189.63	3.01	45.07
Coastguard(CIF)	JM 算法	8974.47	10.01	46.11
	本文算法	9003.25	7.5	45.78

表 2 QP=38 的实验结果对比

测试序列	算法对比	比特率对比 (kb/s)	耗时对比 (s/frame)	PSNR 变化
Foreman(QCIF)	JM 算法	263.77	1.17	30.41
	本文算法	280.24	0.69	30.40
Claire(QCIF)	JM 算法	137.78	0.99	34.17
	本文算法	144.70	0.72	33.41
Bus(CIF)	JM 算法	1307.53	3.24	30.01
	本文算法	1355.11	1.95	29.23
Coastguard(CIF)	JM 算法	796.15	3.11	29.14
	本文算法	801.21	1.64	28.47

仿真结果表明, 快速算法取得了很好的效果。和原遍历模式选择算法相比, 对应运行计算复杂度降低。而同时编码质量的降低也在可接受范围之内。

#### 参考文献:

- [1] Pan F, Lin X, Susanto R, et al. Fast mode decision algorithm for Intra prediction in JVT, Doc. JVT-G013 [C]. 7th JVT meeting, Pattaya, Thailand, 2003.
- [2] CHAN C C, CHANG T S. Fast Three Step Intra Prediction Algorithm for 4x4 Blocks in H.264 [C]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2005:1509-1512.
- [3] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H.264/AVC [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005:92-96.
- [4] 杨黎波, 唐慧明, 徐华根. H.264 快速帧内预测算法 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2006(2):42-46.
- [5] 刘中华, 刘阳. H.264 帧内预测快速算法 [J]. 科技信息: 学术研究, 2007(32):41-43.
- [6] JVT Reference Software JM10.1 [EB/OL]. <http://bs.hhi.de/sue2hring/tml/download/jm72.zip>, 2005.