

三维人体的草绘建模方法^{*}

张尧焯, 孙正兴⁺, 李毅, 刘凯, 宋沫飞

(南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

A Method of Sketch-Based Human Body Modeling

ZHANG Yao-ye, SUN Zheng-Xing⁺, LI Yi, LIU Kai, SONG Mo-Fei

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

+ Corresponding author: szx@nju.edu.cn, http://cs.nju.edu.cn/szx

ZhanG YY, Sun ZX, Li Y, Liu K, Song MF. A method of sketch-based human body modeling. *Journal of Software*, 2010,21(Suppl.):149-157. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/10016.htm>

Abstract: This paper presents a method of sketch-based human body modeling, which allows users to rapidly construct human model by sketching human skeleton and contours separately. The are two main features of our method: firstly, a multi-layered cross-section based human template is used to construct the result model, and a distance-based descriptor is computed in the model retrieval process to find the template most consistent with user's sketch; secondly, a parameter-driven method of 3D human body modeling is used, it matches the sketch contour features and template contour features to compute 3D deformation parameters, by which the result model is constructed. The experiment result proves that the proposed method can rapidly construct 3D human body model which consistent with user's intent.

Key words: sketch-based; human body modeling; parameter driven; model retrieval

摘要: 提出了一种三维人体的草绘建模方法,允许用户分层次绘制人体骨架线和轮廓线草图,并快速生成三维人体模型.该方法的特征主要表现在两个方面:首先,采用层次化的人体截面模板进行形变,并使用基于距离的描述子在人体模板库中检索最符合用户绘制的模板,使结果模型更能体现人体草图特性;其次,采用参数驱动的三维人体模型生成方法,将草图轮廓特征与模板轮廓进行对应并计算三维形变参数,最后对人体模板进行形变生成三维人体模型.实验结果表明,该方法能够快速构建符合用户绘制意图的三维人体模型.

关键词: 草绘;人体建模;参数驱动;模型检索

随着三维虚拟人物在工业、军事、生物制药以及教育领域的广泛应用,三维人物建模技术在诸多领域起着越来越重要的作用.现有的虚拟人物构建方法大多为真实感人体建模方法,主要从所构造人体模型的真实感入手,以人体的骨架、肌肉、脂肪和皮肤等结构为基础,创建符合人体生理结构的多层次物理模型,并通过模拟其物理性质驱动人体模型运动,达到模拟仿真人体运动的目的.真实感人体建模方法主要分为创建^[1]、重构^[2]和插

^{*} Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.69903006, 60721002, 60373065 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2007AA01Z334 (国家高科技研究发展计划(863)); the Program for New Century Excellent Talents in University of China under Grant No.NCET-04-0460 (新世纪优秀人才资助计划); the Jiangsu Provincial Natural Science Foundation of China under Grant Nos.BK2009230, BK2010375 (江苏省自然科学基金); the Technology Support Program of Jiangsu Province of China under Grant No.BE2010072 (江苏省科技支撑计划).

Received 2010-07-20; Accepted 2010-11-03

值^[3]3类,这些方法能够创建具有高度真实感的人体模型,但是存在着以下问题:交互方式复杂,用户必须具备较高的专业技能,使用特殊的设备和专业软件;对数据来源有较高的要求,数据获取困难;建模过程复杂冗长,设计师难以参与到建模过程中.然而,在概念设计阶段,用户往往对结果模型的真实感并没有很高的要求,而主要关注其形状特征是否符合创作意图.因此,如何捕捉用户的创作意图才是概念设计的关键问题,而自然交互及快速反馈是用户进行创意设计的必要保证.因此,真实感人体建模方法并不适合用户在概念设计阶段表现其创造性思维,寻求自然而快速的三维人体建模方法成为一大趋势.

为了满足概念设计中自然而快速的交互性要求,提出了三维人体的草绘建模方法.在人体建模过程中引入手绘草图交互方式,允许设计师使用类似于传统的设计方法绘制人体草图,能够令用户快速而直观地构造三维人体模型,自然地表现其创作意图.现有的采用手绘草图创建三维人体模型的方法主要有以下两类:第1类是采用通用的自由形体建模方法,通过分块绘制策略首先生成人体各部分的网格模型,然后进行混合得到完整的人体模型.如 Igarashi 提出的一种通过绘制轮廓物轮廓创建膨胀体模型的通用方法^[4]以及 Araujo 等人提出的使用变分隐式曲面构建自由形体的方法^[5],上述方法可以被用来快速创建人体模型:分别绘制人体模型的各个部分的轮廓线并生成相应部分的人体模型,然后将各部分模型进行混合得到完整的人体模型,用户可以通过切割、凸起以及网格合并等通用网格编辑方法对人体模型进行编辑.但是该类方法的膨胀参数以及曲面生成参数为固定值,所生成的人体模型并不能准确表现用户的绘制特性.更好的方法是基于模板的人体建模方法,用户分别绘制人体模型的不同层次形状和轮廓,并根据所绘特征对模板进行形变得到完整的三维人体模型.如 Chen 提出的一种基于手绘人体轮廓的三维人体模板形变方法^[6],该方法允许用户分层次绘制人体骨架线以及皮肤轮廓线,并根据轮廓线的二维特征对三维人体模板进行形变,以此构造简单的人体几何模型.该方法能够由用户手绘人物外形并快速得到人体模型,但是,由于该方法所使用的模板数据来源于人体切片扫描图片,需要复杂的图像识别过程来构建模板,同时数据获取的难度也限制了模板的多样性;此外,该方法通过指定的人体模板进行形变,所生成的人体模型无法体现用户的绘制特性.

本文面向创作流程的概念设计阶段提出了一种三维人体的草绘建模方法,该方法允许用户分层次绘制人体骨架线和轮廓线草图,并快速生成三维人体模型.该方法的特征主要表现在两个方面:首先,采用层次化的人体截面模板进行形变,并使用基于距离的描述子在人体模板库中检索最符合用户绘制的模板,使结果模型更能体现人体草图特性;其次,采用参数驱动的三维人体模型生成方法,将草图轮廓特征与模板轮廓进行对应并计算三维形变参数,最后对人体模板进行形变生成三维人体模型.实验结果证明该方法能够快速构建符合用户绘制意图的三维人体模型.

1 方法概述

本文提出的三维人体的草绘建模方法,允许用户通过草绘人体骨架线和轮廓线直接构建三维人体模型,其建模流程如图1所示,可以分为草绘处理、模板生成以及模型生成3个部分.

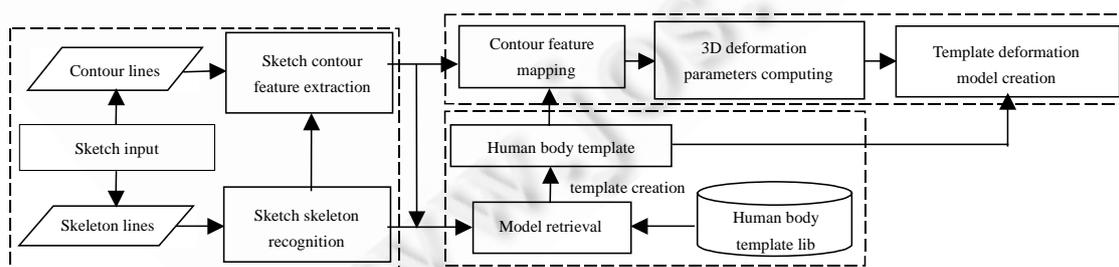


Fig.1 Main processing of sketch-based 3d human body modeling method

图1 基于草绘的三维人体建模方法流程

草绘处理部分的作用为将人体草图识别为人体骨架结构和对应的人体轮廓线,并从中提取草图人体的绘制特征.首先,对人体草图(包括骨架线和轮廓线两部分,如图2(a)所示)进行预处理,将各笔画重采样并去除冗余

点,并采用基于引力模型的笔划分割方法对骨架笔画进行分类^[7],在本文方法中,将用户绘制的骨架笔画分为椭圆和直线两类图元,根据骨架笔画的位置和连接关系将其识别为相应的骨架段图元,如图 2(b)所示.其次,将轮廓笔画与相应的骨架段进行对应:计算骨架笔画与轮廓笔画的闭包矩形,将该轮廓笔画与人体骨架结构中闭包重合度最大的骨架段相对应.最后,计算草图轮廓特征:在各骨架段上等距离采样得到若干骨架采样点,作垂直于骨架段的直线与轮廓笔画相交,交点到对应骨架采样点的距离即为草图轮廓特征,如图 2(c)所示,将所有轮廓笔画采样点到骨架段的半径集合,定义为草图轮廓特征集合.

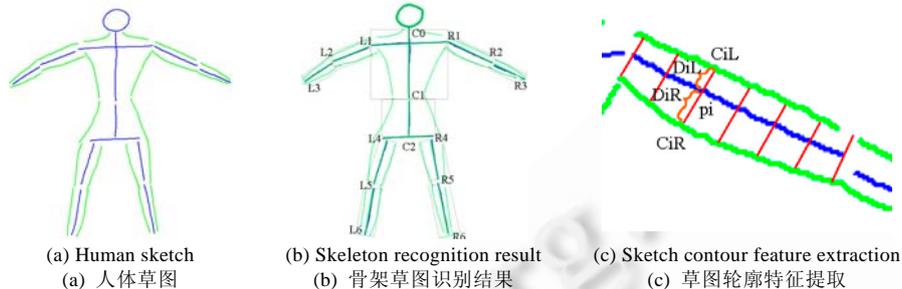


Fig.2 Sketch input and process

图 2 草图输入与处理

模板生成部分的主要目的是,根据人体草图的结构及外形特征,在人体模板库中检索特征最接近的模板进行形变,避免使用固定模板而导致结果模型无法准确体现用户的绘制特性.首先,对于模板库中的各人体模板提取基础特征值并计算模板特征向量;其次,根据人体身高归一化草图并从草图骨架线与轮廓线中提取基础特征值,计算草图特征向量;最后,计算模板特征向量与草图特征向量之间的相似度,在模板库的所有模板中,选取与草图绘制的人体特征相似度最大的人体模板作为建模过程的形变基础.

模型生成部分的作用为,将人体草图的二维特征映射到模板的三维特征,并使其通过模板形变的方法在结果模型中进行体现.首先,根据人体骨架结构将草图轮廓特征对应到人体截面模板的轮廓线;其次,计算所有对应参数之间的缩放比例作为轮廓形变参数,并对轮廓形变参数进行插值得到三维形变参数;最后,对各骨架段对应肢体的网格模型进行形变,并将不同部分的网格模型混合得到最终的人体模型.

2 基于模型检索的模板生成

本文方法为基于模板形变的建模方法,其核心问题在于所使用模板对模型形状特征的表现能力.现有的人体模型表示方式主要有表面模型(通过局部表面形变^[8]、皮肤表面形变^[9]、横截面形变^[10]等方法生成模型)、体模型(通过隐式曲面^[11]、碰撞模型^[12]等方法表示人体模型)以及多层次结构模型(根据人体生理结构进行分层^[13]),其中多层次模型是目前使用最广泛的人体模型表示方法,其生成的人体模型具有较高的真实感,但是相比于表面模型和体模型,其计算速度较慢,不能满足手绘草图快速交互的目的.在基于草绘的人体建模方法中,所使用的人体模板必须在计算速度与模型真实感之间得到平衡,在满足建模过程实时性的基础上使结果模型具有尽可能高的真实度.因此,本文方法结合多层次模型与表面模型的优点,在建模过程中使用层次化的人体截面模板进行形变.

2.1 层次化人体截面模板定义

层次化人体截面模板包括骨架模板和轮廓截面模板两个层次:通过三维线架模型表现人体骨架结构以及通过横截面采样方法表现人体外形特征.该模板能够在保证用户通过草图进行快速建模,同时提供了模型一定的真实感.而且,用户可通过交互式方法从一般三维人体网格模型中抽取对应的三维人体截面模板,使模板的获取更为便捷.

2.1.1 骨架模板定义

骨架模板部分为三维线架模型,用以表示标准人体骨架结构.本文定义的标准人体骨架结构 $G_{HS} = \{V_j, E_B\}$

如图 3(a)所示,其中 V_j 为人体关节点集合,包含了 15 个人体关节点的三维坐标; E_B 为人体骨架段集合,包含了 12 个人体骨架段的连接情况.该骨架结构基于人体生理结构以及人体运动驱动的要求,其目的在于表现人体关节和骨架的基本关系,并能够添加姿态和运动数据.

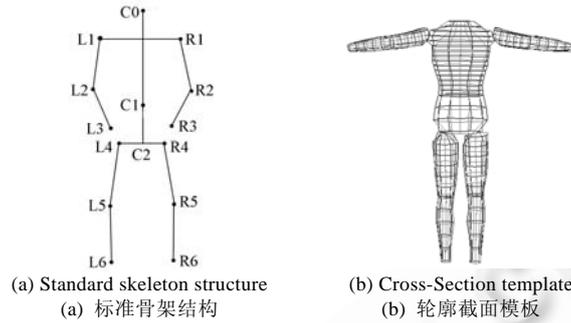


Fig.3 Multi-Layered human cross-section template

图 3 层次化人体截面模板

抽取骨架模板时,按照如下步骤进行:

- 1) 用户在人体网格模型的正视图上进行标定,得到人体各关节点的二维位置;
- 2) 计算正视图下人体网格模型在该点坐标的深度均值(即过该点并与视平面垂直的直线与人体模型相交的所有交点的平均深度)作为关节点的深度值;
- 3) 将对应关节点之间进行连接作为骨架模板中的骨架段,关节点及骨架段数据构成人体骨架模板.

2.1.2 轮廓截面模板定义

轮廓截面模板部分为人体轮廓外形的横截面采样数据,其定义为各肢体网格的横截面半径参数的集合.在得到人体模型的骨架结构后,该部分数据可通过对三维人体模型进行采样得到,采样过程分为以下步骤:

- 1) 在人体模型正视图中由用户在人体肩部和胯部绘制单笔画 S_i ,作过 S_i 且垂直于视平面的曲面 P_{S_i} 将人体模型进行分割;在本文模板提取过程中共使用 3 条笔画将人体划分为四肢和躯干 5 部分网格模型.
- 2) 将分割得到的各部分网格模型与骨架结构中的对应骨架段进行绑定.
- 3) 对各骨架段进行等距离采样,骨架采样点数在标准人体骨架结构 G_{HS} 中进行手动设置(本文方法中对不同部位的骨架段的采样点数,根据人体模型局部的复杂程度进行设定).
- 4) 在骨架采样点处作垂直于各骨架段的平面,取该平面与对应部分人体网格模型的交线作为该处的人体截面轮廓线,并在截面轮廓线上以骨架采样点为圆心对其进行等角度采样(本文方法中为 30° ,即每个横截面采样 12 个点),即可得各骨架段的轮廓截面半径参数.

所有骨架段 B_1, B_2, \dots, B_{15} 的截面曲线采样点到中心点的距离 $d_{11}, d_{12}, \dots, d_{15m}$ 构成轮廓截面半径集合 S^{CSD} .所得到的人体截面模板如图 3(b)所示.

2.2 模型检索

模型检索过程采用基于距离的描述子表征人体外形特征,根据草图中提取的人体特征向量在人体模板库中检索与人体草图最为接近的三维人体模板用于形变.

在三维人体模型检索中,人体外形特征主要分为基于距离的描述子和基于轮廓的描述子两类^[14].基于距离的描述子通过人体骨架以及若干个特征部位的长度描述三维人体形状特征,而基于轮廓的描述子通过人体模型在多视角下的投影轮廓形状描述三维人体形状特征.两者都能够表现人体模型的主要外形特性,但是后者受人体姿态和朝向影响较大,不适用于人体建模应用.因此,本文使用基于距离的描述子表现人体外形特征,通过 13 个基础特征值 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{13}\}$ 表现人体的外形特征(如图 4 所示),并在此基础上提取人体生理学参数作为模型检索的特征向量:

$$u_{2d} = \{WHR, UHR, LHR, HWR, UFRL, UFRR, TCRL, TCRR\}.$$

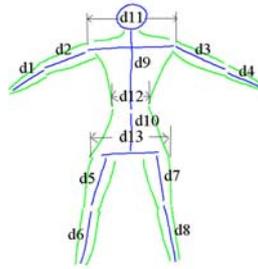


Fig.4 Basic human feature of human sketch
图4 人体外形基础特征(以人体草图为例)

各元素定义见表 1.

Table 1 Human feature vector
表 1 人体特征向量

WHR	d_{12}/d_{13}
UHR	$d_9/(d_9 + d_{10} + d_5 + d_6)$
LHR	$d_{10}/(d_9 + d_{10} + d_5 + d_6)$
UFRL	d_2/d_1
UFRR	d_3/d_4
HWR	$(d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_{11})/(d_9 + d_{10} + d_5 + d_6)$
TCRL	d_5/d_6
TCRR	d_7/d_8

模型检索的算法如下:

- 1) 对于模板库中的各人体模板提取相同的基础特征值,并计算模板特征向量 u_{3d} .
- 2) 根据人体身高归一化草图并从草图骨架线与轮廓线中提取基础特征值,计算草图特征向量 u_{2d} .
- 3) 计算 u_{2d} 与 u_{3d} 间的欧氏距离:

$$\eta = \sum_{i=1}^8 w_i (u_{i3d} - u_{i2d}),$$

取 η 的倒数作为人体草图与人体模板的相似度.

- 4) 在模板库的所有模板中,选择与草图绘制的人体特征相似度最大的人体模板作为形变模板.

3 参数驱动的三维人体模型生成

模型生成分为轮廓特征对应,三维形变参数计算以及模型形变 3 个阶段:首先根据草图解析得到的人体骨架结构将草图轮廓特征对应到人体截面模板的轮廓线,即将草图轮廓特征参数中的两个半径数值与轮廓截面特征中的截面半径数值进行对应;其次,计算所有对应参数之间的缩放比例作为轮廓形变参数,并对轮廓形变参数进行插值得到三维形变参数;最后,对各骨架段对应肢体的网格模型进行形变,并将不同部分的网格模型混合得到最终的人体模型.通过模型生成过程,草图人体特征被映射到三维人体模板的对应部位,使生成的结果模型符合用户的绘制意图.

3.1 轮廓特征对应

根据草图解析得到的人体骨架结构将草图轮廓特征对应到人体截面模板的轮廓线,即将草图轮廓特征参数中的两个半径数值与轮廓截面特征中的截面半径数值进行对应过程从根节点开始,遍历整个人体骨架结构,确定各骨架的旋转方向并找到对应的轮廓特征:

- 1) 上身/下身的对应关系根据肩膀/胯部的旋转角度确定.

以上身为例,设左肩膀 $L_1 = (x_1, y_1, z_1)$ 和右肩膀 $R_1 = (x_2, y_2, z_2)$, 计算肩膀骨架段 L_1R_1 与 x 轴的夹角:

$$\gamma = \arctg(\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} / (x_2 - x_1)) \quad (1)$$

将上身的草图轮廓特征分别对应到截面轮廓特征中 C_0C_1 的第 $i = \lfloor 6\gamma/\pi \rfloor$ 和第 $j = i + 6$ 组特征参数. 下身 C_1C_2 的对应关系同理可得.

2) 四肢上段的对应关系根据其下段的角度确定.

以左上臂为例, 设左肘 $L_2 = (x_1, y_1, z_1)$ 和左腕 $L_3 = (x_2, y_2, z_2)$, 计算左小臂骨架段 L_2L_3 与 x 轴的夹角:

$$\gamma = \arctg(\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} / (x_2 - x_1)) \quad (2)$$

将左上臂的草图轮廓特征分别对应到截面轮廓特征中 L_1L_2 的第 $i = \lfloor 6\gamma/\pi \rfloor$ 和第 $j = i + 6$ 组特征参数.

3) 在四肢下段骨架段中, 将草图轮廓特征截面轮廓特征中第 1 组和第 7 组参数分别对应.

3.2 三维形变参数计算

将草图轮廓半径与截面轮廓模板半径对应之后, 计算各横截面半径的缩放比例, 将此作为模板形变的三维形变参数:

1) 计算轮廓特征比值 $rate_j = D_{ikL} / d_{jk}$, 其中 D_{ikL} 为草图轮廓特征参数的半径, d_{jk} 为对应的模板截面轮廓特征, 同理计算 $rate_{j+6} = D_{ikR} / d_{(j+6)k}$, 如图 5(a) 和图 5(b) 所示.

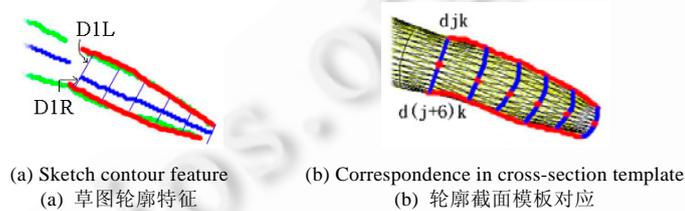


Fig.5 Human 3D deformation parameters computing
图 5 人体三维形变参数计算

2) 对 $rate_j$ 和 $rate_{j+6}$ 按下式进行线性插值:

$$\begin{cases} rate_i = rate_0 + (rate_{n/2} - rate_0) \times i, & i \leq n/2 \\ rate_i = rate_0 + (rate_{n/2} - rate_0) \times (n - i), & i > n/2 \end{cases} \quad (3)$$

得到缩放比例序列 $rate_1, rate_2, \dots, rate_n$, 并将插值结果与截面轮廓特征中的参数进行对应. 得到的所有骨架段对应的轮廓截面参数之间的缩放比例, 作为人体三维形变参数.

3.3 模板形变

在得到三维形变参数后, 模板形变过程根据草图人体骨架结构及三维形变参数对人体模板的各肢体部分进行形变, 并将不同肢体部分的网格模型进行混合, 得到最终的三维人体网格模型.

3.3.1 各肢体网格点计算

个肢体网格点计算过程如下:

1) 在各骨架段的局部坐标系下, 根据三维形变参数中对应截面的半径缩放比例计算各轮廓截面网格点在局部坐标系下的坐标.

2) 将骨架段中属于同一采样点的轮廓截面网格点首尾相连, 并与相邻采样点的对应轮廓截面网格点相连, 得到该部分骨架段的网格模型.

3) 根据三维形变参数中的人体骨架结构, 计算各骨架段的局部坐标转换矩阵 M_{Local} :

$$M_{Local} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi & \cos \theta \times \cos \varphi & -\sin \theta \times \cos \varphi \\ -\cos \varphi & -\cos \theta \times \sin \varphi & \sin \theta \times \sin \varphi \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, θ 为 B_k 与 xy 平面的夹角, φ 为 B_k 在 xy 平面的投影与 x 轴的夹角.

4) 计算 B_k 的轮廓截面网格点在世界坐标系中的坐标, 得到各部分网格模型坐标:

$$P'_i = P_i \times M_{Local} + P_0 \quad (5)$$

其中 P_0 为骨架段 B_k 起始关节在世界坐标系中的坐标。

3.3.2 网格混合

最后,根据三维形变参数中的人体骨架结构对各骨架段的网格模型进行混合.本文方法中将网格模型的几何混合根据关节类型的不同分为 3 种类型:

1) 肘和膝关节混合:即对上臂与小臂之间(左上臂与左小臂之间的关节点 L_2 ,右上臂与右小臂之间的关节点 R_2)以及大腿与小腿之间(左大腿与左小腿之间的关节点 L_5 ,右大腿与右小腿之间的关节点 R_5)的部分进行混合.由于肘部与膝关节部位的接合较为自然,因此采用简单的对应点插值进行混合,即在对应关节部位的上下段骨架的公共关节点部位,对相邻横截面上的对应点取平均值,并替代原来的点.

2) 肩部混合:即对上臂与上身之间(左上臂与上身之间的关节 L_1 ,右上臂与上身之间的关节 R_1)的部分进行混合.由于肩关节的形状主要基于上臂末端的截面形状及上臂的方向,因此首先对上臂末端截面的每一个轮廓网格点,在上身网格中找到距其最近的点进行对应,将这两点的中点作为该上身网格点的新位置;然后,根据上述网格点的位移对上身网格进行拉普拉斯形变,其具体算法参见文献[15,16].

3) 胯部混合:即对大腿与下身之间(左大腿与下身之间的关节 L_4 ,右大腿与下身之间的关节 R_4)的部分进行混合.本文方法中认为臀部的形状与下身以及大腿末端形状均有关系,因此采用如下方法进行混合:将人体下身最下方的横截面及两个大腿最上方的横截面寻找对应点进行插值,得到新的中间截面,然后将上下对应皮肤点连接起来,即完成胯部的混合.

将各肢体网格进行混合之后即得到完整的三维人体网格模型.

4 实验结果与分析

本文方法所使用的人体模板来源于 Poser6 的人体模型库,包括男女各 8 个人体模型,每组按照人的年龄层次进行分类,共分为婴儿(baby),幼儿(toddler),儿童(child),少年(adolescent),青年(juvenile),成年(adult),成年瘦高个(fashion),成年粗壮(heroic)8 类.

为验证基于轮廓截面模板的模板形变方法能够表现用户的手绘人体的特征,通过绘制不同外形特征的人体草图进行建模.如图 6 所示为用户手绘的两幅人体草图,图 6(a)为完整绘制人体骨架与所有轮廓笔画的人体草图,主要特征为腰部较细,其余肢体为正常外形;图 6(b)为完整绘制人体骨架与部分轮廓笔画的人体草图,主要特征为水桶腰,右臂细左臂粗,且左臂内侧有肌肉鼓起;人体草图绘制耗时约 2 分钟~5 分钟,建模过程为即时生成.从生成的人体模型看,通过本文方法得到的人体模型能够体现用户所绘人体的外形特征,并说明了基于轮廓截面模板的模型形变方法在人体建模中的有效性.

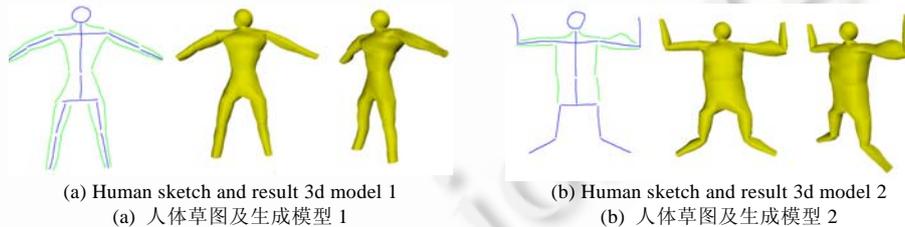


Fig.6 Human body modeling examples

图 6 人体建模示意

为了验证特征匹配过程的有效性,由用户根据某给定的人体模型正视图绘制草图,使用不同的模板生成多个结果模型,通过比较结果模型与原模型的差异比较不同相似度的模板对生成结果的影响.如图 7(a)所示为给定的人体模型在 3 视角(正视图、侧视图和俯视图)下的投影,图 7(b)为根据该模型正视图绘制的人体草图;计算采用不同模板进行形变所生成的人体模型在 3 视角下轮廓线的傅里叶描述子,并与原模型的对应轮廓的傅里叶描述子进行比较.由于本文方法仅考虑人体四肢及躯干的建模,因此在计算投影轮廓时将手脚及头部去除,再计算轮廓的傅里叶描述子并进行比较,结果如图 7(c)所示,菱形曲线为正视图结果,方形曲线为侧视图结果,三角

形曲线为俯视图结果。

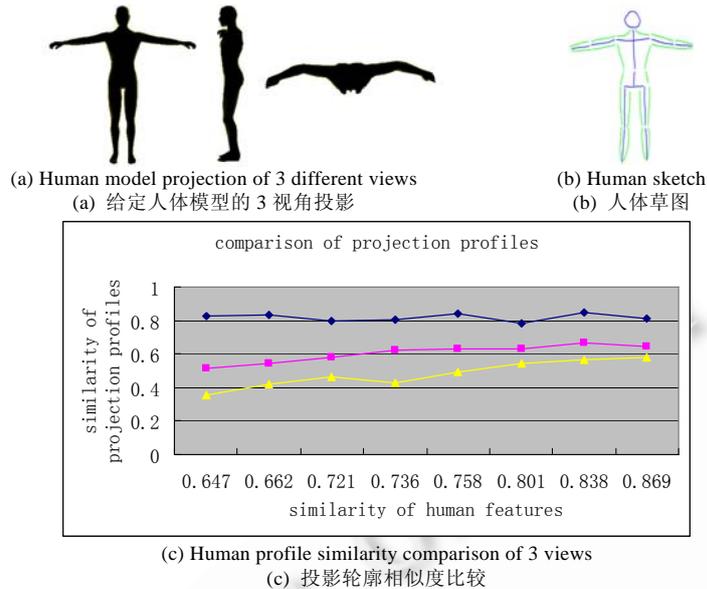


Fig.7 Validation of feature mapping

图 7 特征匹配有效性验证

由投影轮廓相似度比较可知:1) 结果模型的正视图轮廓外形与原模型最为相似,且与人体特征是否相似关系不大,这是由于用户绘制的人体草图为正视图轮廓线,因此结果模型的正视图轮廓线完全体现了用户的绘制,与选取哪一个人体模板无关;2) 结果模型的侧视图与俯视图轮廓外形与原模型的相似度相比正视图轮廓要小,但是随着所选取模板与人体草图的人体特征相似度增加,所生成的结果模型的侧视图与俯视图轮廓与原模型逐渐接近.该实验结果标明,特征匹配过程中所选取的人体特征向量能够表现不同结构人体模型的外形差距,而采用特征匹配过程得到的人体模板进行形变,能够生成最接近用户意图的三维人体模型。

5 结论与未来工作

本文提出了一种基于草绘的三维人体建模方法,该方法允许用户分层次绘制人体骨架线和轮廓线草图,并快速生成三维人体模型.该方法的特征主要表现在两个方面:首先,采用层次化的人体截面模板进行形变,并使用基于距离的描述子在人体模板库中检索最符合用户绘制的模板,使结果模型更能体现人体草图特性;其次,采用参数驱动的三维人体模型生成方法,将草图轮廓特征与模板轮廓进行对应并计算三维形变参数,最后对人体模板进行形变生成三维人体模型.实验结果证明该方法能够快速构建符合用户绘制意图的三维人体模型.下一步工作主要在于支持对单视图下透视视角绘制的人体草图进行建模,并在建模过程中能够绘制人体模型更多的细节,如胸腹部的凸起和臀部曲线等。

References:

- [1] Wilhelms J, Van Gelder A. Anatomically based modeling. In: Proc. of the 24th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1997. 173-80.
- [2] Hilton A, Beresford D, Gentils T, Smith R, Sun W. Virtual people: Capturing human models to populate virtual worlds. In: Proc. of the Computer Animation. Washington: IEEE Computer Society Press, 1999. 174-185.
- [3] Seo H, Magnenat-Thalmann N. An examples-based approach to human body manipulation. Graphical Models, 2004,66(1):1-23.
- [4] Igarashi T, Matsuoka S, Tanaka H. Teddy: A sketching interface for 3D freeform design. In: Proc. of the Computer Graphics Proc., Annual Conf. Series. New York: ACM Press, 1999. 409-416.

- [5] Araujo B, Jorge P. BlobMaker: Free-Form modeling with variational implicit surfaces. In: Proc. of the 12th Portuguese Computer Graphics Meeting. Portugal: Eurographics Association Press, 2003. 17–26.
- [6] Chen M, Sheng FQ, Wright D. A sketch-based approach to human body modeling. *Computers & Graphics*, 2009,33(4):521–541.
- [7] Sun ZX, Xu XG, Sun JY, Jin XY. Sketch-Based graphic input tool for conceptual design. *Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics*, 2003,15(9):1145–1152 (in Chinese with English abstract).
- [8] Magnenat-Thalmann N, Laperrere R, Thalmann D. Joint-Dependent local deformations for hand animation and object grasping. In: Proc. on Graphics Interface'88. Toronto: Canadian Information Processing Society Press, 1988. 26–33.
- [9] John PL, Matt C, Nickson F. Pose space deformation: a unified approach to shape interpolation and skeleton-driven deformation. In: Proc. of the 27th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 2000. 165–172.
- [10] Wu Y, Kalra P, Magnenat-Thalmann N. Simulation of static and dynamic wrinkles of skin. In: Proc. of the Computer Animation. Washington: IEEE Computer Society Press, 1996. 90–97.
- [11] Leclercq A, Akkouche S, Galin E. Mixing triangle meshes and implicit surfaces in character animation. In: Proc. of the Eurographics Workshop on Animation and Simulation. New York: Springer-Verlag, 2001. 37–47.
- [12] Sarah F, Frisken G, Ronald P, Alyn R, Thouis J. Adaptively sampled distance fields: A general representation of shape for computer graphics. In: Proc. of the Computer Graphics, Annual Conf. Series, ACM SIGGRAPH 2000. New York: ACM Press, 2000. 249–254.
- [13] Chadwick JE, David H, Richard P. Layered construction for deformable animated characters. In: Proc. of the Computer Graphics, Annual Conf. Series, ACM SIGGRAPH'89. New York: ACM Press, 1989. 243–252.
- [14] Godil A, Ressler S. Similarity based retrieval from a 3D human database. In: Proc. of the Computer Graphics, Annual Conf. Series, ACM SIGGRAPH 2005. New York: ACM Press, 2005. Article No.79(Poster).
- [15] Sorkine O, Lipman Y, Cohen-Or D, *et al.* Laplacian surface editing. In: Proc. of the Eurographics/ACM SIGGRAPH Symp. on Geometry Processing. New York: ACM Press, 2004. 175–184.
- [16] Lipman Y, Sorkine O, Cohen-Or D, Levin D. Differential coordinates for interactive mesh editing. In: Proc. of the Shape Modeling Int'l. Washington: IEEE Computer Society Press, 2004. 181–190.

附中文参考文献:

- [7] 孙正兴,徐晓刚,孙建勇,金翔宇.支持方案设计的图形输入工具.计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(9):1145–1152.



张尧焯(1983—),男,江苏无锡人,博士生,主要研究领域为计算机图形学.



刘凯(1985—),男,博士生,主要研究领域为计算机图形学.



孙正兴(1964—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机图形学,计算机视觉,智能人机交互.



宋沫飞(1986—),男,硕士生,主要研究领域为计算机图形学.



李毅(1984—),男,博士生,主要研究领域为计算机图形学.