

文章编号:0253-9721(2010)11-0140-05

基于骨架重合的真实人体模型动态仿真

李 端^{1,2}, 钟跃崎^{1,2}

(1. 东华大学 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620; 2. 东华大学 纺织学院, 上海 201620)

摘 要 在虚拟试衣系统中,生动的人体动画能够更好地表现服装的特性。本文提供的算法将捕捉到的人体运动数据(记录为 BVH 格式)嵌入到三维人体模型中,并驱动三维人体进行仿真运动。三维人体模型的骨架通过自动人体测量进行提取。驱动骨架和三维人体模型之间的姿态差异通过仿射变换得到补偿,其中皮肤层的变形通过计算分配给依附在骨架节点上的顶点的权重值予以实现。为使权重分配更加精确,使用骨架节点和肢体分界点作为权重边界的划分依据。实验结果表明,该方法能有效地使用动作捕捉文件来实现着装模拟效果。

关键词 骨架嵌入; 动作捕捉; 三维虚拟人体; 姿态同步; 动态仿真

中图分类号: TS 941.17

文献标志码: A

Dynamic simulation of three-dimensional avatar based on skeleton coincidence

LI Duan^{1,2}, ZHONG Yueqi^{1,2}

(1. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In the 3D virtual try on system, the characteristics of clothing will be better displayed if the clothing is simulated via vivid animation. In this paper, a method was proposed to embed the captured motions (recorded as BVH format) into a three-dimensional avatar, and to drive it with the same movement. The skeleton of the avatar is extracted via automatic body measurement. The pose difference between the template model and the avatar is compensated via affine transformations. The skeleton-driven skin deformation is reached by assigning weight values to the vertices attached with the bones. To enhance the accuracy of weight distribution, the bones and the joints are employed to constrain the weight boundaries. Experimental results validate that the method is an effective approach in reusing the motion captured files for dressing simulation.

Key words skeleton embedding; motion capture; three-dimensional avatar; attitude synchronization; dynamic simulation

随着虚拟试衣系统研究的深入及其应用的推广,对真实人体动态仿真的简便性和真实感的要求也越来越高。动作捕捉(motion capture)技术记录了大量真实人体运动数据^[1-3],三维人体扫描技术^[4-5]提供了1:1的真实人体三维模型,利用动作捕捉技术记录的人体运动数据作为骨架,驱动真实人体三维模型,就能简化动作编辑,提高真实感。

本文提出了一种基于骨架重合的人体动态仿真

方法,能够利用已有的运动数据记录和真实的人体三维扫描模型,快速准确地生成多样的人体动画。其操作步骤为:第1步,利用动作捕捉文件中记录的骨架信息生成一个人体骨架,称为驱动骨架,用来驱动三维人体模型;第2步,驱动骨架姿态与三维模型的原始姿态同步。在这步中,首先提取三维人体的姿态骨架,称为原始姿态骨架。然后将驱动骨架与原始姿态骨架进行骨架重合,骨架重合程序分为骨

收稿日期:2009-11-26

修回日期:2010-03-08

作者简介:李端(1981—),男,硕士生。主要研究方向为数字化纺织服装。钟跃崎,通讯作者,E-mail:zhyq@dhu.edu.cn。

架肢体长度匹配和骨架姿态重合。第 3 步,将三维人体按驱动骨架节点影响区域进行分割,以进行权重的分配。为使权重分配准确,各区域的分界线通过三维人体测量程序得到。

1 算法实现

1.1 动作捕捉文件简介

动作捕捉技术有多种记录格式,其基本构成分为有继承关系的骨架(skeleton)以及每个关节点在动画序列中的运动数据。以 BVH 文件格式^[6]为例,使用 BVH 文件中骨架信息生成的驱动骨架与驱动骨架节点的树形结构如图 1~2 所示,使用 BVH 文件中每个关节点的运动数据生成骨架运动序列,如图 3 所示。

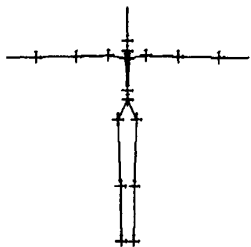


图 1 BVH 文件中的骨架示意图

Fig. 1 Skeleton view in BVH file

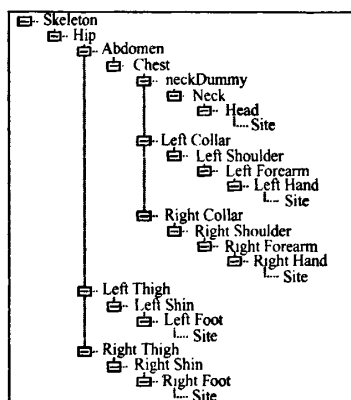


图 2 骨架节点的树形结构

Fig. 2 Tree-structure of skeleton

有了驱动骨架及其相应的运动数据,就可得到每帧中每个骨架节点的仿射矩阵,用其驱动三维人体模型,从而产生三维人体模型的动态仿真运动。

1.2 真实人体模型的骨架重合

为使驱动骨架对三维人体模型的驱动不产生断裂、扭曲,由 BVH 生成的驱动骨架需要与三维人体

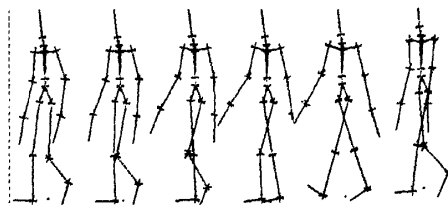


图 3 骨架运动序列

Fig. 3 Skeletal animation sequence

的原始姿态同步,其实质为骨架系统的初始仿射矩阵的统一,可通过 2 个步骤来实现姿态同步:1)生成原始姿态骨架;2)调整驱动骨架,使其主要骨架节点与原始姿态骨架节点重合。

为生成原始姿态骨架^[7-8],对三维扫描人体模型进行自动测量,以获得能够代表人体姿态的骨架。首先将人体按照生理特征分为 6 个部分:左腿、右腿、左臂、右臂、头部和躯干^[9]。在人体分割之后,通过确定各部分分界处轮廓的几何中心,就可方便地确定骨架节点的位置,如图 4 所示。

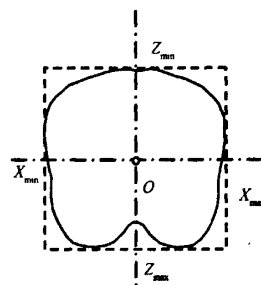


图 4 骨架节点的确定

Fig. 4 Calculating joint as center of contour at anthropometric position

连接点 O 的坐标为:

$$O_x = (X_{\min} + X_{\max})/2,$$

$$O_y = y,$$

$$O_z = (Z_{\min} + Z_{\max})/2.$$

其中 y 为该位置轮廓的高度。当所需要的骨架节点确定以后,就能够构建一个具有继承关系的骨架。以手臂链接为例,其父节点为肩关节,子节点为肘关节,孙子节点为腕关节,各肢体最末端用“End site”表示,以此类推(如图 5 所示)。

BVH 文件中驱动骨架与原始姿态骨架重合分为 2 步:第 1 步,骨架肢体长度重合;第 2 步,骨架肢体姿态重合。

对于第 1 步,由于在三维人体测量中,人体各肢体的长度都已经有了准确的测量,所以,可直接将相

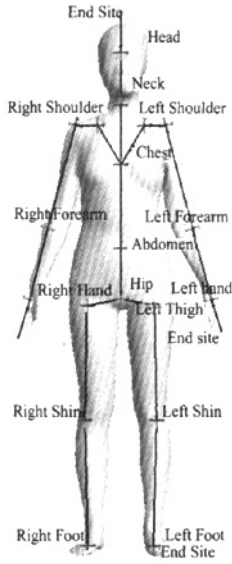


图 5 三维人体生成的骨架

Fig.5 Skeleton of 3D avatar

应的肢体长度赋值给驱动骨架,这样就得到与三维人体大小比例一致的骨架结构,如图 6 所示。图中 a 为驱动骨架,b 为原始姿态骨架。

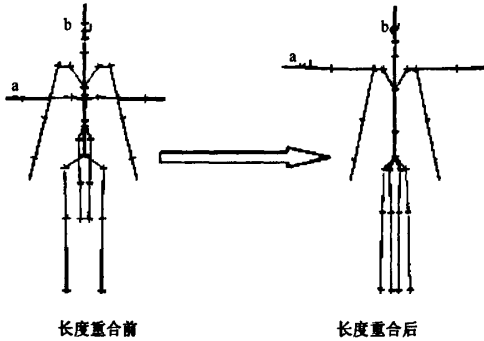


图 6 驱动骨架与人体原始姿态骨架的长度重合

Fig.6 Length coincidence of drive-skeleton and body skeleton

驱动骨架与原始姿态骨架肢体长度重合以后,骨架肢体姿态重合可用递归仿射变换实现。有 2 种类型的仿射变换,如图 7 所示,变换类型 I 用于只有 1 个父节点和多个子节点的链接结构中。变换类型 II 用于符合变换类型 I 的关节点的子节点中,在这些子节点中只有 1 个父节点和 1 个子节点(或者 1 个子节点也没有,如末节点)。

对属于变换类型 I 的骨架节点,仿射变换可直接从 $P_{driveroot}$ $P_{drivechild}$ 旋转到 $P_{bodyroot}$ $P_{bodychild}$ 。其中: $P_{driveroot}$ 与 $P_{drivechild}$ 分别为驱动骨架中的父节点和子

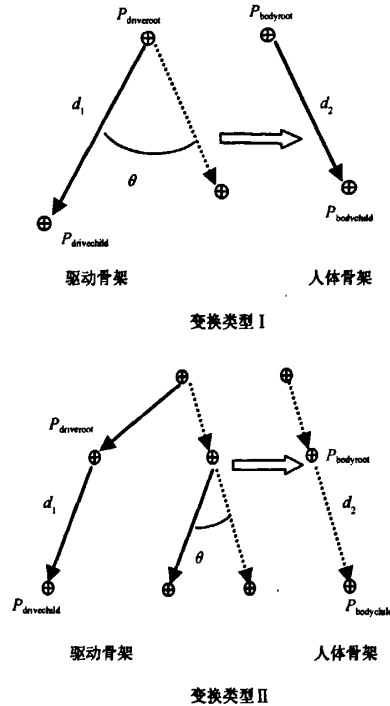


图 7 仿射变换

Fig.7 Affine transformation

节点; $P_{bodyroot}$ 与 $P_{bodychild}$ 分别为原始姿态骨架中的父节点和子节点; d_1 为驱动骨架; d_2 为人体骨架; θ 为驱动骨架与人体骨架的夹角。

第 1 步 计算 d_1 到 d_2 的倾斜角度,以得到 d_1 到 d_2 旋转矩阵 R 。

第 2 步 将 R 与 $P_{driveroot}$ 相乘,以得到平移矩阵 T 。

$$P'_{driveroot} = R \cdot P_{driveroot}$$

$$T = P_{driveroot} - P'_{driveroot}$$

第 3 步 将仿射变换矩阵应用。

$$M = TR$$

$$P'_{drivechild} = MP_{drivechild}$$

对于属于变换类型 II 的骨架节点,在其父节点应用仿射变换以后,子节点使用如上相同的仿射变换步骤,从 $P_{driveroot}$ $P_{drivechild}$ 旋转到 $P_{bodyroot}$ $P_{bodychild}$ 。

经过驱动骨架与原始姿态骨架重合以后,就得到了与人体姿态同步的驱动骨架,如图 8 所示。

1.3 权重分配与形变

姿态同步以后,就可将三维人体皮肤的顶点附着到影响它的驱动骨架节点上,并设置影响程度,即权重,进行皮肤变形。采用人体分割的办法,将人体皮肤根据驱动骨架节点的影响区域分成若干块,每

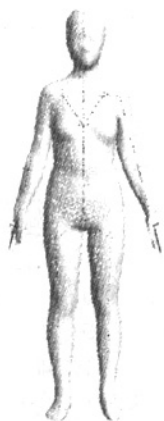


图 8 驱动骨架与原始姿态骨架的姿态重合

Fig. 8 Pose coincidence of drive-skeleton
and body skeleton

块皮肤受到相应骨架节点的权重影响之和为 1。可分 2 步实现权重的自动分配。

第 1 步 根据驱动骨架的骨架节点将人体分成不同的区域。

驱动骨架的骨架节点经过与原始姿态骨架重合以后,其位置与人体分割的关键点相同,因此可利用驱动骨架节点的坐标来划分人体。如图 9 所示,影响头部运动的关键点在脖子部位,因此,头部区域应该从位于颈部的骨架节点 Neck 开始,到人体最大高度结束。肩部的区域应该从肩部骨架节点 Right Shoulder 到 Neck 结束。左右上臂的区域,应分别从肩部节点 Right Shoulder、Left Shoulder 开始到小臂节点 Right Forearm、Left Forearm 结束。左右小臂部分分别从 Right Forearm、Left Forearm 开始到手臂截止点 End Site 结束。躯干区域部分从 Hip 开始到 Right Shoulder 结束。左右大腿区域,从 Hip 开始,分别到 Left Shin、Right Shin 结束。左右小腿分别从 Left Shin、Right Shin 开始,到 Left Foot、Right Foot 结束。左右脚应该分别从 Left Foot、Right Foot 到人体最低点结束。

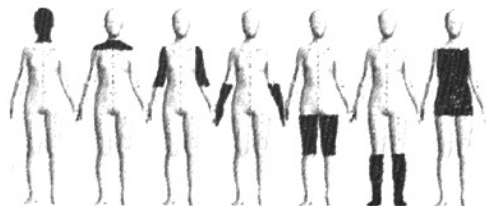


图 9 人体权重划分

Fig. 9 Weight partition of avatar

第 2 步 将不同区域内皮肤顶点的权重均分给影响它的骨架节点。

在把三维人体各区域按相应驱动骨架节点划分好以后,就可通过权重分配程序在驱动骨架节点属性中记录其影响到的皮肤顶点及权重值,为计算新姿态各顶点的位置做准备。

在试验中,权重值的计算公式为 $w = \frac{1}{n}$ ($n \leq 4$)。其中 n 为影响此顶点的驱动骨架节点个数, n 不超过 4。

计算形变新的姿态,需要涉及所有影响到皮肤顶点的骨架节点,然后混合权重求最后的变形位置^[10]。例如对顶点 P ,新的顶点位置的变形计算为

$$P_{\text{new}} = \sum_{i=1}^n w_i M_{i,\text{new}} M_{i,\text{original}}^{-1} P$$

式中: w_i 为仿射变换中的权重 ($0 < w_i \leq 1$); P 是初始位置; $M_{i,\text{new}}$ 是第 i 个骨架节点在新位置相关的变换矩阵; $M_{i,\text{original}}^{-1}$ 是第 i 个骨架节点在原始姿态时的相关逆矩阵。实际上, $M_{i,\text{original}}^{-1} P$ 就是 P 受到第 i 个骨架节点影响变换后的局部坐标。

2 结果与讨论

按照上文的算法,形成的人体动画如图 10 所示,图中驱动骨架与图 3 相同。图 11 示出了着装人体动画序列,着装人体为人体模型与裤子模型的结合。通过图 10~11 的展示可看出,三维人体以及三维服装能够很好地依照驱动骨架的轨迹进行移动变形。

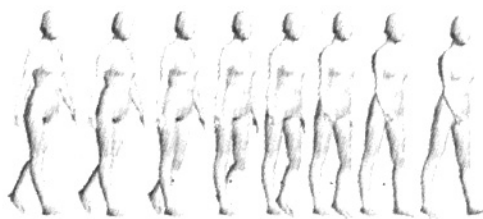


图 10 人体动画序列

Fig. 10 Avatar animation sequence

本文的算法能够使三维人体模型准确地按动作捕捉文件中的数据信息进行运动,从而实现人体的动态仿真。对于动作捕捉文件中记录的运动信息较为粗糙的 BVH 文件而言,直接使用会造成动作不连贯、骨架穿透皮肤、滑步等问题,因此需要对驱动骨架进行插值,约束处理,以便更好地满足视觉的逼真性,这将是未来的探索方向。

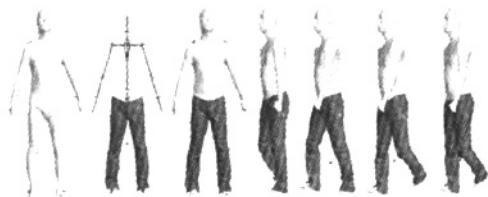


图 11 着装人体动画序列

Fig. 11 Dress avatar animation sequence

3 结 论

本文提供了一种实现人体动态仿真的方法,能够使用动作捕捉文件中记录的骨架运动数据,驱动不同的人体模型,实现人体动态仿真的多样性。由于动作捕捉技术记录人体运动的真实性以及人体三维扫描模型的逼真感,二者的结合产生出的动态仿真能更加接近真实的人体运动,所以,本文的方法能够实现真实、多样的人体动态仿真,以及着装人体的真实感动画,并为这方面的应用提供更好的用户体验和实践基础。

WZXB

参考文献:

- [1] 沈娟,李建微. 动作捕捉中的动画驱动及运动编辑技术综述[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(3): 103-106.
SHEN Juan, LI Jianwei. Survey of motion capture-driven and motion editing in the motion capture[J]. Computer & Digital Engineering, 2008, 36(3): 103-106.
- [2] WEN Gaojin, WANG Zhaoqi. From motion capture data to character[C]//Proceedings of the ACM symposium virtual reality software and technology. Limassol, Cyprus: [s. n.], 2006: 165-168.
- [3] SANG Park, JESSICA K Hodgins. Capturing and animating skin deformation in human motion[C]//International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Boston, Massachusetts: [s. n.], 2006: 881-889.
- [4] 朱洲. 三维人体信息获取及虚拟服装试穿技术研究[J]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
ZHU Zhou. Research on acquiring 3D information of human body and virtual try-on[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.
- [5] 李雪飞,周毅灵. 个性化三维人体 OBJ 模型文件的构建[J]. 纺织学报, 2008, 29(10): 127-131.
LI Xuefei, ZHOU Yiling. Building individuality 3-D manikin OBJ model document[J]. Journal of Textile Research, 2008, 29(10): 127-131.
- [6] JEFF Lander. Working with motion capture file formats[J]. Game Developer January, 1998(1): 32-34.
- [7] YU Yong, MAO Tianlu. A pose-independent method of animating scanned human bodies[C]//CGI 2008 Conference Proceedings. Jilin: Jilin University, 2008: 234-239.
- [8] YU Yong, WANG Zhaoqi. Automatic joints extraction of scanned human body[C]//DUFFY V G. Digital Human Modeling. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007: 286-293.
- [9] ZHONG Y Q, XU B X. Automatic segmenting and measurement on scanned human body[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2006, 18(1): 19-30.
- [10] 李东魁. 基于可硬件编程的骨架蒙皮动画的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2006: 55-56.
LI Dongkui. Programmable graphics hardware and real-time character animation[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2006: 55-56.

基于骨架重合的真实人体模型动态仿真

作者: [李端](#), [钟跃崎](#), [LI Duan](#), [ZHONG Yueqi](#)
作者单位: [东华大学纺织面料技术教育部重点实验室, 上海, 201620; 东华大学纺织学院, 上海, 201620](#)
刊名: [纺织学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF TEXTILE RESEARCH](#)
年, 卷(期): 2010, 31(11)

参考文献(10条)

1. [沈娟;李建微](#) [动作捕捉中的动画驱动及运动编辑技术综述](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#) 2008(03)
2. [WEN Gaojin;WANG Zhaoqi](#) [From motion capture data to character](#) 2006
3. [SANG Park;JESSICA K Hodgins](#) [Capturing and animating skin deformation in human motion](#) 2006
4. [朱洲](#) [三维人体信息获取及虚拟服装试穿技术研究](#)[学位论文] 2004
5. [李雪飞;周毅灵](#) [个性化三维人体OBJ模型文件的构建](#)[期刊论文]-[纺织学报](#) 2008(10)
6. [JEFF Lander](#) [Working with motion capture file formats](#) 1998(01)
7. [YU Yong;MAO Tianlu](#) [A pose-independent method of animating scanned human bodies](#) 2008
8. [YU Yong;WANG Zhaoqi](#) [Automatic joints extraction of scanned human body](#)[外文会议] 2007
9. [ZHONG Y Q;XU B X](#) [Automatic segmenting and measurement on scanned human body](#)[外文期刊] 2006(01)
10. [李东魁](#) [基于可硬件编程的骨架蒙皮动画的设计与实现](#) 2006

本文读者也读过(6条)

1. [胡晓雁](#). [梁晓辉](#). [赵沁平](#). [HU Xiao-Yan](#). [LIANG Xiao-Hui](#). [ZHAO Qin-Ping](#) [自动匹配虚拟人模型与运动数据](#)[期刊论文]-[软件学报](#)2006, 17(10)
2. [柏友良](#) [队列训练中的人体行为模拟技术研究](#)[学位论文]2007
3. [钟世镇](#). [原林](#) [数字化虚拟人体数据获取的现状和对策](#)[期刊论文]-[第一军医大学学报](#)2003, 23(6)
4. [李连东](#). [樊养余](#). [雷涛](#). [吕国云](#) [一种可编辑的三维人体蒙皮网格动画合成方法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2010, 27(3)
5. [王天树](#). [郑南宁](#). [李岩](#). [徐迎庆](#). [沈向洋](#) [用于人体运动合成的运动纹理模型](#)[会议论文]-2002
6. [杨宏凯](#) [数据驱动的动作模拟系统](#)[学位论文]2007

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_fzxb201011029.aspx