

基于 Kinect 深度相机的实时三维人体动画^{*}

陈 姝¹, 梁文章², 伍 靛¹

(1. 湘潭大学信息工程学院, 湖南 湘潭 411105; 2. 广西卡斯特动漫有限公司, 广西 南宁 530003)

摘 要:研究了一种基于 H-Anim 标准的实时人体三维动画方法, 首先对 H-Anim 中人体肢体层次结构进行研究和分析, 给出了进行人体动画的坐标变换方法; 其次, 基于 OpenNI 对 Kinect 获取的数据进行重新处理, 采用逆运动学计算非根关节旋转矩阵; 最后给出了系统流程及具体实验方法, 采用 OpenGL 由实时获取的关节旋转矩阵驱动虚拟人实现了人体动画。实验结果表明, 该算法可以较精确地提取人体三维姿态, 实时重构人体运动。

关键词:人体动画; Kinect; 逆运动学; H-Anim

中图分类号:TP391.41

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2014.08.021

Real-time 3D human motion animation based on Kinect

CHEN Shu¹, LIANG Wen-zhang², WU Liang¹

(1. College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105;

2. Guangxi Cast Animation Co., Ltd., Nanning 530003, China)

Abstract: An approach to animating 3D human motion based on H-Anim standard is proposed. Firstly, the human body hierarchical structure in H-Anim is studied and analyzed, and a coordinate transform strategy is given based on the analysis. Secondly, based on OpenNI, the data received from the Kinect is re-processed, and the rotational matrix of non-root joint is obtained by inverse kinematics. Finally, the entire data flow and the concrete implementation are described, and the human body animation is achieved by using OpenGL to retarget the real-time human pose to the virtual human model. The experimental results show that the proposed approach can accurately extract the human pose, and reconstructs real-time human body movement.

Key words: human motion animation; Kinect; inverse kinematics; H-Anim

1 引言

三维动画是计算机图形学中的一个研究领域, 它涉及到心理学、运动学等学科。计算机三维动画本质上是一系列连续的图像按一定的速率显示后, 给人以动画的感觉^[1]。人体由于结构和运动过程都较为复杂, 因此也成为了三维动画制作其中的一个难点。但是因为人体的姿态能够表达较为丰富的含义, 所以对于人体动画的研究制作具有较强的

实际意义。

人体动画根据角色控制方式不同可以分为两种: 基于传统计算机动画技术的方法^[2, 3]和基于动作捕获系统进行数据驱动的方法。传统计算机动画技术方法通过对人体运动进行数学建模来产生各种人体动作的动画效果, 从本质上而言是一种基于模型的动画制作方法, 包括关键帧动画方法、运动学方法、动力学方法、刺激响应法以及行为规则方法等^[4]。运动捕捉技术是一种新的动画制作方法, 是通过分析人体运动序列图像来提取人体关节

^{*} 收稿日期: 2012-11-26; 修回日期: 2013-03-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61100139, 61040009); 科技部科技型中小企业技术创新基金资助项目(国科发计[2011]242号); 广西千亿元产业重点攻关工程资助项目(桂科攻 11107006-13 号)

通信地址: 411105 湖南省湘潭市湘潭大学工科楼北栋 302

Address: Room 302, North Wing, Engineering Building, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan, P. R. China

点的三维坐标,从而得到人体的运动参数,因此能够获得完全真实的人体动画。

现有商用运动捕获设备(如光学运动捕获系统)具有成本较高、操作过程专业性较强等不足,研究者致力于研究成本较低、操作简单的基于视觉方法的三维人体运动捕获技术^[5~7]与角色动画控制技术。但是,实际上由于人体关节的高维性以及人体运动的随机性,目前基于 RGB 视频处理的人体运动跟踪方法难以实时生成逼真的人体动画。为了可以实时生成逼真的人体运动动画,我们提出了一种基于 Kinect 深度相机数据基础的实时人体三维动画制作方法。该方法在跟踪到的二维关节的基础上采用逆运动学方法获得人体三维姿态,并重新定向到符合 H-Anim 标准的虚拟人上,形成连续的人体动画。

2 虚拟人模型

虚拟人的几何模型建立常采用以下三种方法:棒模型、表面模型和体模型^[8]。目前国际标准 VRML 和 MPEG4 都制定了自己的虚拟人标准。本文采用 VRML 中的虚拟人标准 H-Anim 进行虚拟人几何建模,该标准将人体分成骨架层与部位层,部位层位于骨架层之上。这一分层建模方法符合人体拓扑结构,可以更精确地表达人体的信息。同时,通过调节骨架层各关节的位置可以驱动上层的部位层作相应的变化,可以比较方便地实现虚拟人的运动控制^[9]。

2.1 H-Anim 标准中的人体层次结构分析

H-Anim 标准通过 Joint 节点将整个身体组织成树型结构,如图 1 所示^[10]。人体由一定数量的肢体段(Segments)构成,比如前臂、手或脚,这些段再由关节(Joints)连接在一起,比如肘、手腕或踝关节。除了根节点 HumanoidRoot,每个 Joint 节点是另外一个 Joint 节点的子节点。作为 Joint 原型的典型实现,可以是一个 Translation 节点,这样,可以对 Joint 通过平移和转动等操作来改变作为身体段的 Segment 节点以及该 Joint 节点的 Joint 子节点,实现人物动画。

2.2 虚拟人动画的坐标变换

根据 H-Anim 标准,节点分为两类:一类是关节节点,另一类是骨骼段。通过各关节节点可以对各骨骼段进行旋转,骨骼段再通过平移完成相应的肢体动作,最后依附于骨骼段来绘制相应的几何模

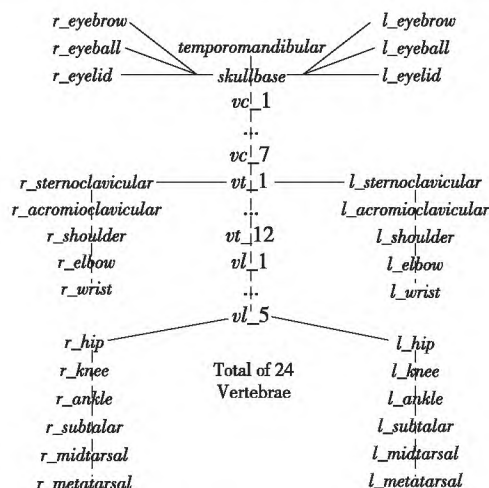


Figure 1 Topology of H-Anim model

图 1 H-Anim 模型拓扑结构

型^[11],并显示出来。

描述一个肢体绕关节旋转后的坐标位置可以根据以下变换方程得到:

$$\mathbf{x}' = \mathbf{R}\mathbf{x} \quad (1)$$

其中, \mathbf{x} 是该肢体中某一像素点在模型中的初始局部坐标(以该肢体所依附的关节为局部坐标系的原点), \mathbf{x}' 为旋转后在局部坐标系中的三维坐标, \mathbf{R} 为旋转矩阵。

由于整个人体以树型结构表示,因而非根关节点依附的肢体在进行动画时,式(1)的 \mathbf{R} 为一个旋转矩阵链(根据树的拓扑结构从该关节到根关节的旋转矩阵乘积),即 $\mathbf{R} = \mathbf{R}_1\mathbf{R}_2\cdots\mathbf{R}_n$, 其中 \mathbf{R}_n 为该肢体依附关节的旋转矩阵, \mathbf{R}_1 为根关节的旋转矩阵。例如,对于右前臂的旋转矩阵计算为: $\mathbf{R}_{re} = \mathbf{R}_{vt1}\mathbf{R}_{rs}$, 其中 \mathbf{R}_{vt1} 和 \mathbf{R}_{rs} 分别为关节 vt_1 和 $r_shoulder$ 关节的旋转矩阵。虽然 H-Anim 在上半身定义了很多关节以便进行灵活的上半身运动显示,但是在实际上大部分虚拟人只采用了一到两个关节。

3 基于 Kinect 的关节三维姿态提取

3.1 关节三维坐标获取

我们采用微软的 Kinect 作为系统的输入设备, Kinect 是一款深度摄像机,共有三个镜头,可以获得 RGB 图像及深度图像。Kinect 的数据信息可以采用 OpenNI 开发包获取,另外, OpenNI 还具有骨架跟踪功能,可以实时跟踪每帧中人体关节。在 OpenNI 中共定义了 24 个关节,但是进行骨架分析时, NITE 部件只能识别 15 个关节,如图

2 所示,其中坐标系方向符合右手坐标系准则。

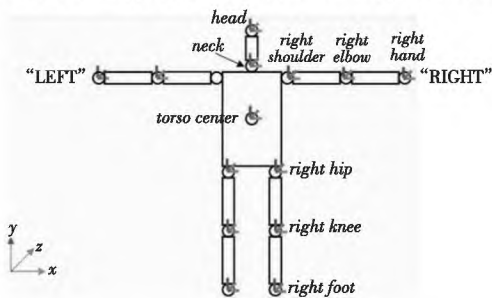


Figure 2 Recognizable joints in OpenNI

图2 OpenNI 中可识别关节模型

OpenNI 按照图 3 所示流程进行人体骨架跟踪,即先进行人体检测,然后进行特定姿态检测(双手上举的投降姿势),再进行姿态标定,标定正确就进行人体骨架跟踪。以上任一过程发生都会产生相应的事件,并通过回调函数来响应。在利用 VS2008 进行开发时,需设置相应的回调函数,在上一过程回调函数中启动下一过程,所有的回调函数都通过节点提供的成员函数 RegisterXXXCallbacks() 来注册。OpenNI 跟踪到的关节信息包括位置及方向,即关节的三维坐标及变换矩阵。

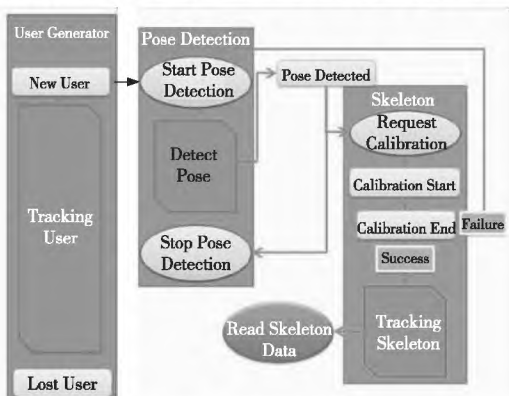


Figure 3 Diagram of tracking human body skeleton in OpenNI

图3 OpenNI 进行人体骨架跟踪流程图

3.2 肢体旋转矩阵计算

OpenNI 提取的关节姿态通过函数 GetSkeletonJointOrientation() 可以得到,该变换矩阵为当前帧关节坐标系相对于世界坐标系的旋转矩阵。由 2.1 节可知,要动态显示人体运动姿态需要得到相邻两关节坐标系之间的旋转矩阵,可采用以下方法得到,以计算右肘关节与右肩关节之间的旋转矩阵为例。根据多刚体运动学知识可得:

$$\mathbf{R}_{re} = \mathbf{R}_{rs} \mathbf{R}_{es} \quad (2)$$

其中, \mathbf{R}_{re} 和 \mathbf{R}_{rs} 分别为 OpenNI 得到的右肘及右肩关节的旋转矩阵, \mathbf{R}_{es} 为待求两关节间的旋转矩阵。因此,由式(2)有 $\mathbf{R}_{es} = \mathbf{R}_{rs}^{-1} \mathbf{R}_{re}$ 。

实验中发现 OpenNI 得到的旋转矩阵除了根关节外,别的关节旋转姿态并不太准确,因此我们采用文献[7]所述逆运动学方法来提取非根关节坐标系间的相对旋转角度。

我们将关节按照 Z-Y-X 顺序旋转欧拉角,绕 Z 轴旋转的角度以 α 表示,绕 Y 轴旋转的角度以 β 表示,绕 X 轴旋转的角度以 γ 表示。由于三维数据没有考虑扭矩的作用,可认为在 Y 轴上旋转分量为零,因此相邻两关节间的旋转矩阵为:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma \\ \sin \alpha & \cos \alpha \cos \gamma & -\cos \alpha \sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

根据多关节的级连变换原理,建立待求关节中某一像素局部坐标与世界坐标之间的变换方程为:

$$\mathbf{P}' = \mathbf{R}_i \mathbf{R} \mathbf{P} \quad (3)$$

其中, \mathbf{P} 为 OpenNI 检测到特定姿态时得到该像素在关节局部坐标系中的坐标,在这里以运动链中该关节的孩子关节来代表。例如计算右肩关节旋转欧拉角,则 \mathbf{P} 为检测到特定姿态时右肘关节在右肩关节坐标系中的坐标,按照下式计算:

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_{re} - \mathbf{P}_{rs} \quad (4)$$

其中, \mathbf{P}_{re} 和 \mathbf{P}_{rs} 分别为 OpenNI 获得的右肘关节及右肩关节的三维坐标。

\mathbf{P}' 为当前帧下右肘关节在右肩关节坐标系中的坐标,计算同式(4)。 \mathbf{R}_i 为在运动链中该关节的父关节坐标系相对于世界坐标系的旋转矩阵,在这里则为 torso 关节(见图 2)。解式(3)则可以得到待求关节的旋转欧拉角及旋转矩阵。

4 人体动画实现

系统的整体执行过程如图 4 所示,系统首先进行 OpenNI 的初始化,包括节点 m_Context 的初始化,回调函数 User_NewUser、User_LostUser、UserPose_PoseDetected、UserCalibration_CalibrationStart、UserCalibration_CalibrationEnd 的设置。

虚拟人文件的导入及显示采用文献[3]的 VHASDK 开发包实现,OpenNI 检测到特定姿态进行正确标定后就进行骨架跟踪,如果跟踪结果可信度大于 0.6 则采用 3.2 节的方法进行关节旋转矩阵求解,并调用 VHASDK 的姿态改变函数进行旋转角度修改。最后刷新屏幕,通过调用 VHASDK 的 Update() 函数进行虚拟人重绘,这样连续进行就得到了实时可视的人体三维动画。

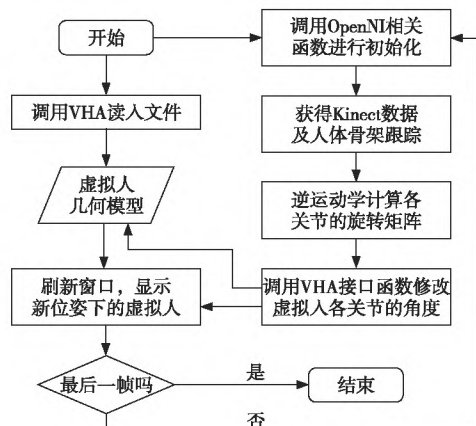


Figure 4 Data flow in our system

图 4 系统流程图

5 实验结果

演示程序采用 C++ 语言在 VS2008 环境下编写,并使用 Opencv 2.0+OpenNI+OpenGL 实现了上述算法。实验运行硬件环境配置如下: CPU 为 Intel i3-2310M,内存为 4 GB,显卡为 GeForce GT550M。实验显示一段人体进行散打过程的实时动画,系统能够以 30 帧/s 的速度进行人体动画演示。

图 5 为实验过程中前 100 帧右肩关节旋转欧拉角,实验前 200 帧部分中间结果如图 6 所示(间隔 20 帧),图 6 左边为分割出来的人体三维数据投影到图像上的结果,实线段为骨架跟踪结果,右边为提取的人体三维运动姿态重定向到虚拟人后的显示结果。实验结果表明,动画播放过程连续流畅,并且较好地跟踪到人体三维运动,能够真实模拟人体运动过程。

6 结束语

本文在获取 Kinect 深度数据的基础上,采用

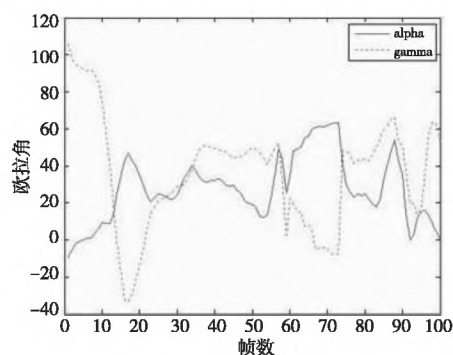


Figure 5 Estimated motion trajectory of left shoulder

图 5 右肩关节旋转欧拉角

OpenNI 进行人体姿态获取,并驱动 H-Anim 虚拟人实现了实时三维人体动画。该方法既可以捕获人体三维运动数据,又可以实时直观看到跟踪后的运动数据,容易确定是否为需要的动作。实验结果表明所述方法生成的人体动画真实流畅,能够较好地模拟人的动作。在此基础上可以进行运动数据重用、人体行为分析、手势识别等研究,这也将是作者今后进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] Wu Ling, Hou Jin, Xu Fang. The realization of 3D human animation by BVH[J]. Journal of Shenyang Ligong University, 2012, 31(1):52-56. (in Chinese)
- [2] Lü Zhi-guo, Li Yan, He Han-gen. Study on model-based hand posture reconstruction of virtual human[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(3):665-667. (in Chinese)
- [3] Chen Shu, Zou Bei-ji, Peng Xiao-ning. 3D virtual human animation based on captured motion data in key video frames [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(21): 5868-5873. (in Chinese)
- [4] Xiao Jun, Zhuang Yue-ting, Wu Fei. Computer vision and machine learning in 3D human animation: A survey [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(3):281-290. (in Chinese)
- [5] Yu Xue-song, Tang Xiang-long, Liu Jia-feng, et al. An algorithm for fast tracking of 3D arm motion based on hierar-



Figure 6 Real time reconstructed human pose animated by an avatar

图 6 实时生成的动画序列

- chy joint model [J]. Chinese High Technology Letters, 2009, 19(6):596-602. (in Chinese)
- [6] Chen Jia, Wu Xiao-jun. 3D human body shape and motion tracking by LBS and Snake[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012, 24(3):357-371. (in Chinese)
- [7] Chen Shu, Zou Bei-ji, Peng Xiao-ning, et al. Markerless 3D human motion tracking for monocular video sequences [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(8):1047-1055. (in Chinese)
- [8] Wang Zhao-qi. Study on synthesis of virtual human[J]. Journal of the Graduate School Academia Sinica, 2000, 17(2):89-98. (in Chinese)
- [9] Shu Bo, Mao Tian-lu, Wang Zhao-qi. Motion display of virtual human based on D3D[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(11):1505-1510. (in Chinese)
- [10] Humanoid Animation Working Group. Specification for a standard humanoid[EB/OL]. [2003-03-16]. <http://www.h-anim.org>.
- [11] Wen G J, Wang Z Q, Xia S H, et al. From motion capture data to character animation[C]//Proc of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 2006: 165-168.
- [6] 陈加, 吴晓军. 联合 LBS 和 Snake 的 3D 人体外形和运动跟踪方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(3):357-371.
- [7] 邹北骥, 陈姝, 彭小宁, 等. 适用于单目视频的无标记三维人体运动跟踪[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(8):1047-1055.
- [8] 王兆其. 虚拟人合成研究综述[J]. 中国科学院研究生院学报, 2000, 17(2):89-98.
- [9] 束搏, 毛天露, 王兆其. 基于 D3D 的三维虚拟人运动显示[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(11):1505-1510.

附中文参考文献:

- [1] 吴玲, 侯进, 徐芳. BVH 文件驱动三维人体动画的实现[J]. 沈阳理工大学学报, 2012, 31(1):52-56.
- [2] 吕治国, 李焱, 贺汉根. 基于模型的虚拟人手势重构方法研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3):665-667.
- [3] 陈姝, 邹北骥, 彭小宁. 基于关键视频帧跟踪数据的三维虚拟人动画[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(21):5868-5873.
- [4] 肖俊, 庄越挺, 吴飞. 计算机视觉与机器学习技术在三维人体动画中的应用综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(3):281-290.
- [5] 于雪松, 唐降龙, 刘家峰, 等. 基于关节层次模型的 3D 手臂运动快速跟踪算法[J]. 高技术通讯, 2009, 19(6):596-602.

作者简介:



陈姝(1976-),男,湖南祁东人,博士,副教授,CCF 会员(E200016567M),研究方向为虚拟现实和计算机视觉。E-mail: csu_cs@163.com

CHEN Shu, born in 1976, PhD, associate professor, CCF member (E200016567M), his research interests include virtual reality, and computer vision.



梁文章(1964-),男,广西南宁人,工程师,研究方向为虚拟现实和计算机视觉。E-mail: ad-new@vip.163.com

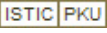
LIANG Wen-zhang, born in 1964, engineer, his research interests include virtual reality, and computer vision.



伍靓(1990-),男,湖南涟源人,硕士生,研究方向为虚拟现实和计算机视觉。E-mail: lsjwuliang@msn.com

WU Liang, born in 1990, MS candidate, his research interests include virtual reality, and computer vision.

基于Kinect深度相机的实时三维人体动画

作者: [陈姝](#), [梁文章](#), [伍靓](#), [CHEN Shu](#), [LIANG Wen-zhang](#), [WU Liang](#)
作者单位: [陈姝, 伍靓, CHEN Shu, WU Liang \(湘潭大学信息工程学院, 湖南湘潭, 411105\)](#), [梁文章, LIANG Wen-zhang \(广西卡斯特动漫有限公司, 广西南宁, 530003\)](#)
刊名: [计算机工程与科学](#) 
英文刊名: [Computer Engineering and Science](#)
年, 卷(期): 2014, 36 (8)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjgcykx201408021.aspx