

一种基于 Kinect 的角色骨骼动画技术研究

李红波, 冉光勇, 吴渝, 丁林建

(重庆邮电大学计算机科学与技术学院, 重庆 400065)

摘要: 针对骨骼动画常用制作方法中存在实时性差、抗光照干扰能力弱、角色模型运动误差大的问题, 提出了一种新的骨骼动画技术。采用微软 Kinect 设备获取人体三维骨骼坐标数据, 利用骨骼数据建立关节点虚拟坐标系, 对捕捉对象单帧姿态进行抽象空间的位形描述, 然后根据前后帧位形数据求解关节点骨骼矩阵, 并实时调节角色姿态, 形成骨骼动画。实验结果表明: 本文方法实时性强, 有效减小了环境光线对动作捕捉的影响, 提高了动画角色与捕捉对象动作之间的相似度。

关键词: 骨骼动画; 实时; Kinect; 骨骼数据

中图分类号: TP391.9

A Role Skeletal Animation Technology Research Based on Kinect

LI Hongbo, RAN Guangyong, WU Yu, DING Lingjian

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

Abstract: For the poor instantaneity, poor anti-interference ability and big error in role model motion of the common skeletal animation production methods; this paper proposes a new skeletal animation technology. Using Kinect of Microsoft to obtain three-dimensional human skeleton coordinate data and using the skeleton data to build joints virtual coordinate system, this paper obtains the steric shape description of a single frame pose of the captured object in abstract space, and then computes bone matrix of the joint based on the adjacent steric shape data of a frame, regulates the gesture of the role in real time to generate skeletal animation. Experimental results show that the proposed method has good instantaneity, effectively reduces the influence of ambient light on the motion capture, and improves the similarity of movements between the role model and the capture object.

Key words: Skeletal Animation; Kinect; Real-time; Skeletal Data

0 引言

随着计算机图形学的飞速发展, 角色动画在游戏娱乐、虚拟现实、军事训练等方面的应用越来越广泛^[1]。骨骼动画是角色动画的核心, 其制作技术除人工调整关键帧形成骨骼动画外, 主要有基于视频文件的方法和基于运动捕获数据的方法。

基于视频文件的方法^[2]一般流程是通过对包含人体运动序列的视频进行跟踪分析, 提取运动序列, 接着对运动序列进行条件约束等处理, 得到骨骼动画。比较有名的有 Gleicher^[3]提出的一种基于时空约束的方法, Pullen 和 Bregler^[4]提出的一种分割关键运动, 利用分割结果匹配运动数据库的方法, 此方法已在任天堂的体感网球游戏中进行应用^[5]。

但是, 基于视频文件的方法有许多不足之处, 主要体现在三方面: (1)利用二维数据生成三维运动数据存在信息缺失的问题^[6]; (2)人体运动序列的获取过程易受光照强度影响, 抗光照干扰能力弱^[7]; (3)提前按照需求录制视频文件, 而后进行处理的做法, 使此类方法不能

基金项目: “核高基”重大专项(2009ZX01038-002-002-2); 科技部“原创动漫软件开发技术人才”计划扶持项目(NO.2009-593)

作者简介: 李红波(1970-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为: 人机交互, 数字媒体. E-mail: lihongbo@cqupt.edu.cn

满足交互式环境对实时性的要求。

基于运动捕获数据的方法通常需要价格昂贵的动捕设备,捕捉对象在关节处需佩戴光学标记,动作获取成本高。微软公司于 2012 年推出了 Kinect 设备和 Developer Toolkit,用于捕捉和制作人体运动。在 Developer Toolkit 中提出了一种基于前向运动学的骨骼动画方法-Avateering^[8]。该方法以 Kinect 提取到的捕捉对象骨骼数据为基础,使用前向运动学求解角色模型关节的坐标数据,并对坐标数据进行平滑处理,使用处理后的数据调整模型,从而得到骨骼动画。此方法实时性强,缺点在于角色模型运动与真实运动之间差别大;固定运动参数降低了适用性。

针对上述问题,本文提出了一种新的解决方案,通过在 Kinect 骨骼模型的每个关节建立虚拟坐标系,对捕捉对象单帧姿态进行抽象空间位形描述,利用位形数据,同时根据关节逆向运动学原理求解关节骨骼旋转矩阵,使用骨骼旋转矩阵对角色模型进行从端到根的位形调节。实验结果表明,本文方法实时性、抗光照能力强,角色模型运动与真实运动相似度高。

1 相关技术基础

1.1 Kinect 虚拟人骨骼模型

Kinect 人体骨骼简化模型(图 1)包含了人体主要的 20 个关节节点,由 19 个骨骼段组成。任意两个关节之间,按照人体构造结构关系,建立 Kinect 关节父子关系,形成一个简化的最小人体骨骼-关节模型。其中臀部中心关节是整个人体骨骼模型的根节点,它的 3 维坐标数据完全决定了整个人体运动的移动轨迹。臀部中心关节有 6 个自由度,分别为 3 个平移参数与 3 个旋转参数,除去根节点外的节点仅仅包括 3 个旋转参数自由度。

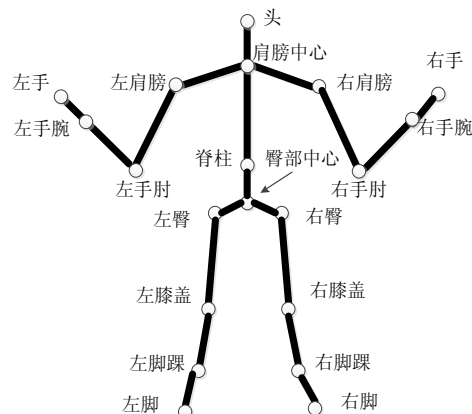


图 1 Kinect 骨骼模型

Fig. 1 Kinect skeleton model

1.2 骨骼动画基本原理

从人体解剖学的角度,人体被抽象为表面皮肤和内部骨骼。皮肤主要是由辅以纹理的多边形片组成,骨骼则是根据静态网格的拓扑而构建的关节链结构。皮肤和骨骼之间通过线性蒙皮权重来联系,在动画过程中,骨骼的变化被映射到皮肤上,从而产生皮肤形变,而角色模型运动过程中的骨骼运动,即为骨骼动画。

为了对骨骼动画原理进行描述,设 $p(j)$ 代表骨骼节点 j 的父节点, $R(j)$ 代表从父节点 $p(j)$ 的局部坐标系到子节点 j 的局部坐标系的变化矩阵,则对于任意的骨骼关节点 j ,从根节点局部坐标系转化到 j 的局部坐标系可以用矩阵 $F(j)$ 表示^[9]:

$$F(j) = R(0) \dots R(p(j))R(j) \quad (1)$$

75 当人体姿态发生变化时, 我们用 $T(j)$ 表示某一帧骨骼节点 j 的骨骼旋转矩阵, 则 j 在这一帧的变化矩阵为:

$$F'(j) = F'(p(j))R(j)T(j) \quad (2)$$

假设网格节点 v 附着于骨骼关节点 j , v' 为人体姿态发生变化后 v 在骨骼关节点 j 下的新位置, 则新位置的计算公式如下:

$$v' = F'(j)F(j)^{-1}v \quad (3)$$

80 以上为骨骼动画基本原理, 在帧渲染时, 通过以上计算公式便可得到皮肤顶点的新位置。

2 Kinect 骨骼动画方法

2.1 问题提出和总体思路

基于视频文件生成骨骼动画的方法虽然与实际运动比较符合, 但缺乏实时性, 同时该方法需要较为严格的光照条件。基于运动捕获数据的方法需要价格高昂的设备, 且额外佩戴的光学设备降低了捕捉对象运动的灵活性, 文献[8]中提出的基于前向运动学的方法, 虽然克服了此问题且具备较强实时性, 但角色模型骨骼-关节运动与实际运动之间存在较大偏差。针对以上问题, 本文提出了一种新的骨骼动画方法。具体思路如下: 利用 Kinect 设备捕获的骨骼数据, 建模描述人体任意时刻的运动姿态, 利用人体前后帧之间的运动关系, 确定角色模型关节点的骨骼旋转矩阵, 在额外的对根节点进行位移处理, 体现出模型的位移变化。按照上述描述, 本文提出的骨骼动画方法具体流程如图 2 所示。

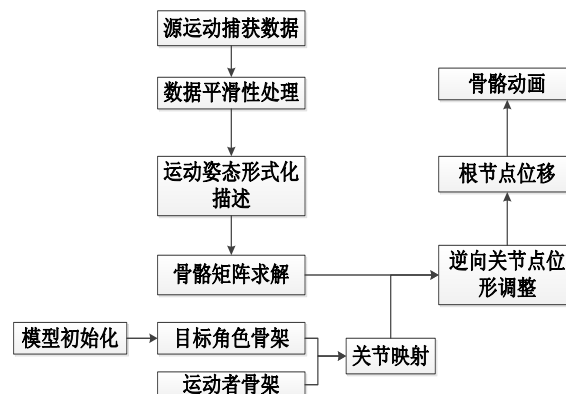


图 2 本文方法总体流程

Fig.2 The overall flow of the proposed method

95 依据图 2, 本文方法可以概括为以下 4 个阶段: (1)初始姿态假定: 对角色模型初始姿态进行固定; (2)单帧姿态建模描述: 利用 Kinect SDK 应用程序接口, 获取骨骼状态、提取骨骼关节点三维坐标数据, 利用骨骼数据对关节点位形进行数学描述, 将人体运动姿态变化问题转化为旋转平移问题; (3)骨骼旋转矩阵求解: 以骨骼关节点单位方向基向量为基础构建骨骼旋转矩阵 $T(j)$, 利用骨骼旋转矩阵对关节点方向进行调节; (4)根节点位移: 更新根节点位置, 体现角色模型水平、上下运动, 得到最终结果。以上为本人主要工作。

2.2 初始姿态假定

由于不同美工制作的模型形态各不相同, 因此模型间必定存在骨骼长短不一致, 关节点旋转角度不相等, 各个关节点相对于其父节点的相对位置不同等问题。这些问题将导致即使对不同角色模型应用相同的骨骼数据也无法生成一致的骨骼动画。因此, 为了生成符合

105 特定角色模型的骨骼动画,就需统一角色模型的初始姿态,本文中角色模型的初始姿态均设定为直立。

2.3 单帧姿态建模描述

Kinect 骨骼数据是非层次、非树形的数据,由于各数据之间不存在任何的相关联系,因此无法直接利用 Kinect 骨骼数据来对角色模型运动姿态进行调整。为了提取蕴含于骨骼数据中的运动者旋转平移信息,本文运用刚体运动学中关于刚体方位的定义来对单帧人体运动姿态进行描述。

任意时刻关节点方位可由某个固接于此关节点的坐标系 $\{B\}$ 的三个单位主矢量 $[x,y,z]$ 相对于参考坐标系 $\{S\}$ 的方向余弦组成的 3×3 矩阵描述,记为 T_S^B 。关节点坐标系的建立步骤如下:

115 (1) 选择在垂直切面上与离待建立坐标系的关节点最近关节点为向量末端,待建立坐标系关节点为首端,建立 Y 轴,若垂直切面无最近关节点,则选正 Y 轴方向作为关节点 Y 轴方向;
(2) 在水平切面上选择与待建立坐标系的关节点最近关节点为向量末端,待建立坐标系关节点为首端,建立向量 \overrightarrow{AB} ,若无则设 $\overrightarrow{AB}=(1,0,0)$;

(3) 根据空间解析几何相关知识可知, X 轴垂直于 Y 轴和 \overrightarrow{AB} ,那么 X 轴的方向可由下式求得:

$$120 \quad X = Y \times \overrightarrow{AB} \quad (4)$$

(4) 由于 Z 轴垂直于以 X 和 Y 轴为方向的平面,故 Z 轴方向可按下式求得:

$$Z = X \times Y \quad (5)$$

右手系,方向为从 X 轴逆时针绕到 Y 轴。

由于本文中,参考坐标系为世界坐标系,所以任意关节点的方位矩阵为:

$$125 \quad T_S^B = \begin{bmatrix} \vec{x} & \vec{y} & \vec{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

为了便于后续处理,将上述方位矩阵按照下述公式转化为四元素表示。

$$w = \frac{\sqrt{x_1 + y_2 + z_3 + 1}}{2} \quad (7)$$

$$x = \frac{\sqrt{x_1 - y_2 - z_3 + 1}}{2} \quad (8)$$

$$y = \frac{\sqrt{-x_1 + y_2 - z_3 + 1}}{2} \quad (9)$$

$$130 \quad z = \frac{\sqrt{-x_1 - y_2 + z_3 + 1}}{2} \quad (10)$$

$$T_S^B = \begin{bmatrix} x & y & z & w \end{bmatrix} \quad (11)$$

2.4 骨骼旋转矩阵求解

考虑捕捉对象姿态发生变化后的情形,以左臂手腕关节点向上微微抬起,其他关节相对位置无变化为例(图 4),其他运动变化同理。

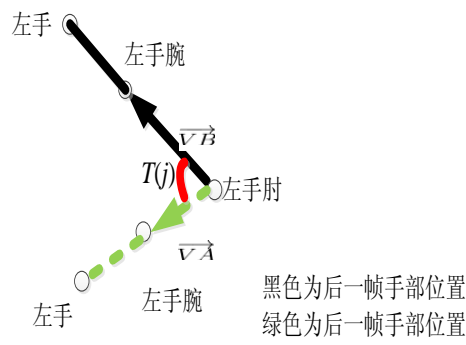


图 3 左手腕向上抬起

Fig.3 Lift up the left wrist

任意运动时刻，人体任意关节前后两帧姿态之间的运动满足如下关系式：

$$T(j) = \overline{VB}^{-1} \times \overline{VA} \tag{12}$$

其中 \overline{VA} 代表后一帧关节的方位， $T(j)$ 表示关节左手肘的骨骼旋转矩阵， \overline{VB} 代表后一帧关节的方位。利用表达式(12)可得关节骨骼旋转矩阵。

2.5 根节点调整

在运动数据处理阶段，忽略了角色模型根节点在世界坐标系下的平移与纵向运动，因此需要对根节点做额外的位移处理。由于 Kinect 坐标系与游戏引擎坐标系在基本度量单位的长度定义上存在不同，导致直接应用捕捉对象根节点运动数据到游戏引擎中会产生失真现象，故需对根节点数据进行处理。设 Kinect 与游戏引擎基本度量单位的长度差距为 n ，若在 Kinect 世界坐标系中，运动捕捉对象根节点在前后帧之间的位移为 $offset = (m_x, m_y, m_z)$ ，则在游戏引擎中角色模型根节点的位移为：

$$realoffset = (m_x/n, m_y/n, m_z/n) \tag{13}$$

2.6 算法描述

假设角色模型关节总数为 n 。根据前文描述，本文方法可归纳为以下步骤，如表 1 所示。

表 1 方法描述

Tab.1 Method description

名称：骨骼动画方法
输入：Kinect 骨骼关节数据
输出： $T(j)$
方法：执行以下步骤
(1) 检测骨骼状态，若检测到骨骼则进入 2,否则继续检测；
(2) 置 i 为 0，如果 $i < 20$ ，则进入 3，否则转到 6；
(3) 求解虚拟局部坐标系 x 轴， y 轴， z 轴，构建 T_s^B ，利用公式(7)-(10)将 T_s^B 转化为四元素表示；
(4) 利用公式(12)求解相应关节骨骼旋转矩阵 $T(j)$ ；
(5) $i = i + 1$ ，返回 2；
(6) 利用骨骼旋转矩阵调节关节点；
(7) 利用式(13)调整根节点
(8) 结束，重新进入步骤 1。

从上述方法描述可知，建立虚拟坐标系是本文方法的基本操作，根据系统的运行步骤可知，本文方法在一次完整的执行过程中基本操作的执行次数为 $O(n)$ 。

3 实验验证

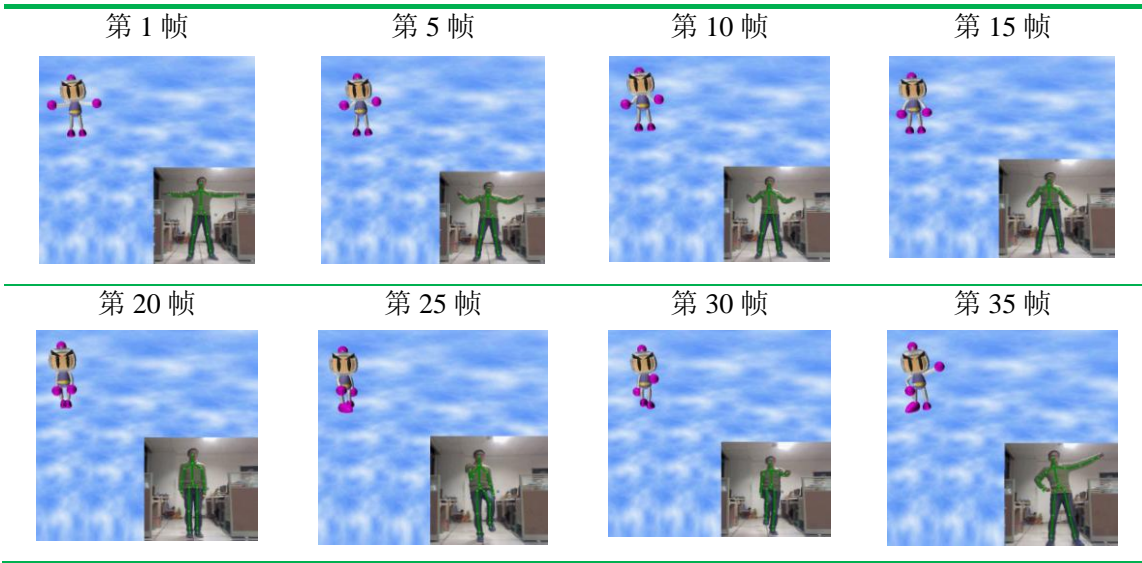
为了证明本文方法的有效性，本文组织了 3 组试验，第一组试验为运动实时性试验；第二组试验为模型运动精度对比试验，选取的对比对象为文献[8]中提出的方法；第三组试验为光照实验。

本文硬件实验环境为：Intel Core i3-2320 3.30GHz CPU，内存 4GB，操作系统为 Windows 7，开发环境为 Visual Studio 2010、OGRE 7.5 和 Kinect SDK1.6。

3.1 实时性实验

实验结果如表 2 所示，每一幅图中右下角方框用于显示实时人体运动情况，左上方为角色模型的实时运动情况。本文方法从提取骨骼数据到角色模型做出相应动作只需 0.007 秒，远小于 Kinect 提供数据的时间间隔 0.033 秒和人类眼睛的视觉停留时间 0.042 秒，因此本文方法能够实时处理 Kinect 提取到的骨骼数据，克服视频文件方法缺乏实时性的问题，且生成的骨骼动画平滑，连续性强。

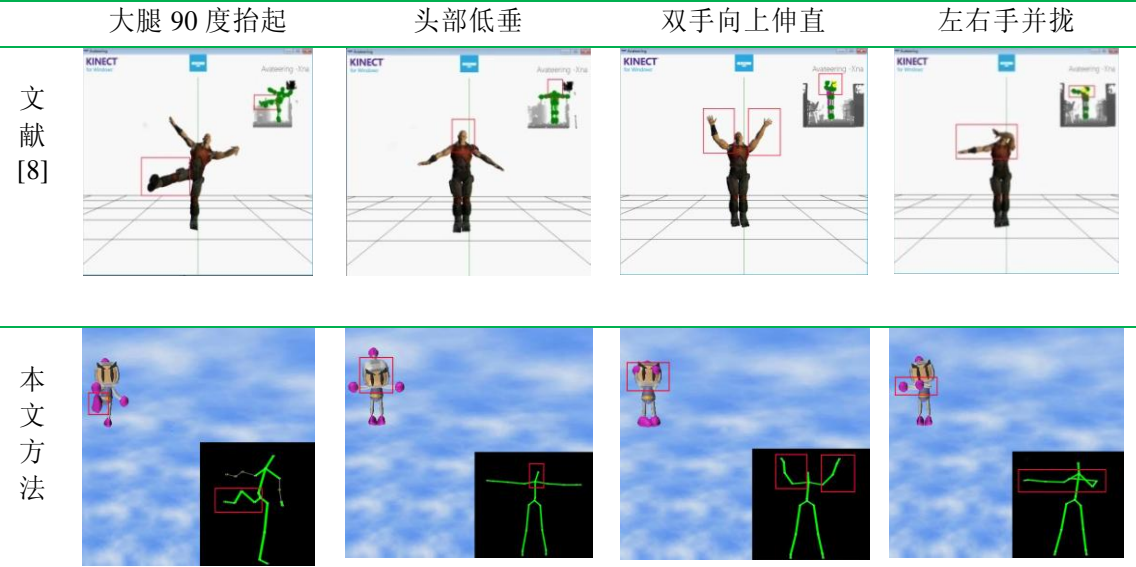
表 2 实时性效果
Tab.2 Real-time effects



3.2 模型运动精度对比实验

文献[8]以前向运动学方法为基础，通过前向运动学求解关节坐标数据，并对坐标数据进行平滑处理，使用处理后的数据调整模型，从而产生连贯且平滑的角色运动。表 3 展示了二种方法的运行效果。通过比较可以发现，本文方法中角色模型与捕捉对象的运动更加接近，模型运动精度更高

表 3 模型运动精度对比
Fig.3 The comparison of model motion accuracy



为了更好的说明以上结论，本文定义了运动姿态误差公式，如下所示：

$$m diff = \max \bigcup_{i=1}^n (t_{shape} - c_{shape}) \tag{14}$$

$$avg_{error} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(t_{shape} - c_{shape})}{m diff}}{n} \tag{15}$$

式中： avg_{error} 表示平均误差， n 代表关节点总数， t_{shape} 代表真实位形， c_{shape} 代表方法计算出的位形， $mdiff$ 代表最大旋转误差。

利用上述公式对每帧结果计算关节点平均误差，而后对所有帧的平均误差取均值，最终计算结果如表 4 所示。

表 4 模型运动误差对比
Tab.4 The comparison of method kinematic error

方法名称	模型运动误差
本文方法	4.2%
文献[8]	7.4%

从表 2 数据可知，本文方法生成的骨骼动画误差比文献[8]中方法低，得到的骨骼动画和实际情况更加相似。

3.3 抗光照干扰实验

表 2 展示了在正常光照条件下(320lux)的模型实时运动情况，表 5 展示了在弱光照条件下(10lux)的模型实时运动情况。文献[7]指出基于视频文件的方法在人体运动捕获中，常用的特征点跟踪提取算法对光照条件非常敏感。如表 5 所示，经过试验测试可知，鲁棒性较强的特征点跟踪提取算法-surf，在光照强度为 10lux 时失效，而本文方法在 10lux 时由于 Kinect 仍然能够准确地获取人体各个关节点的三维坐标，因此仍可以使用本文方法准确的计算关节点骨骼旋转矩阵，实现骨骼动画。且从表 5 还可知，本文方法相对于基于视频文件的方法，对捕捉对象所穿衣物与背景之间的颜色差别要求更低，更加能够克服背景色的干扰。

表 5 关节点识别情况

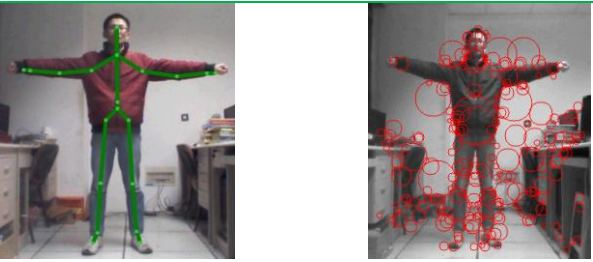
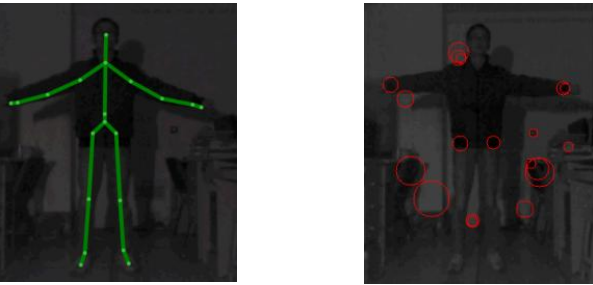
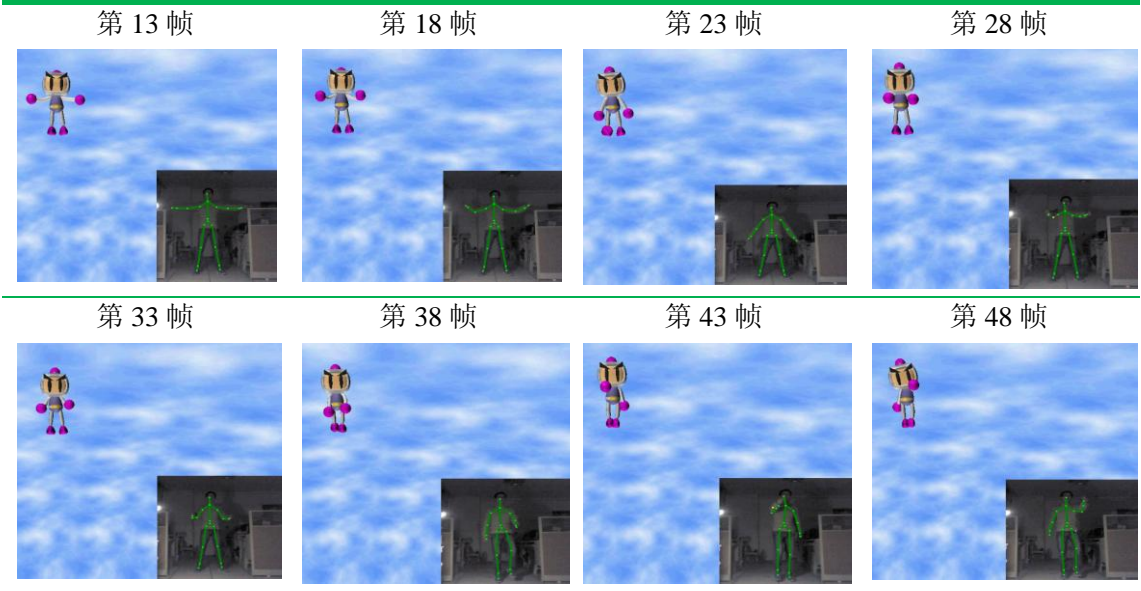
Tab.5 joints identify situations	
	Kinectsurf 算法
正常光照	
弱光照	

表 6 弱光照条件下实验效果

Fig.6 Experimental results under weak light conditions



4 结束语

本文利用 Kinect 设备获取的骨骼数据，提出了一种新的角色骨骼动画技术，此技术相比于以前的解决方案有更强的实时性，更好的抗光照干扰能力，更佳的运动精度。现代社会，随着社会节奏的加快，居住在城市中的人们越来越难有时间去专业健身场所进行运动，一款能

[参考文献] (References)

[1] 夏时洪, 王兆其. 虚拟人合成研究进展[J]. 中国科学 (F 辑): 信息科学, 2009, 39(5): 483-498.
[2] 李石磊, 梁加红, 吴冰, 等. 虚拟人运动生成与控制技术综述[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(9): 1758-1771.
[3] Gleicher M. Retargetting motion to new characters[C]//Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 1998: 33-42.

- [4] Pullen K, Bregler C. Motion capture assisted animation: Texturing and synthesis[C]//ACM Transactions on Graphics (TOG). ACM, 2002, 21(3): 501-508.
- 215 [5] 仲伟. 体感游戏中玩家的肢体动作对空间认知的作用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [6] 尚华强. 基于 Kinect 的虚拟人物动作仿真研究[D]. 杭州电子科技大学, 2013.
- [7] 罗忠祥, 庄越挺, 潘云鹤, 等. 视频中不完全运动特征的跟踪算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(6): 730-735.
- [8] Micorosoft. Avateering C# Sample.micorosoft[R]. New York: Micorosoft, 2014.
- 220 [9] 马永有. 人体几何建模与姿态仿真的关键技术研究[D]. 上海: 上海交通大学机械工程学院, 2004.