

基于 Kinect 跑步机系统^①

黄 静¹, 郎 波¹, 张志稳¹, 梁延研²

¹(北京师范大学珠海分校 信息技术学院, 珠海 519087)

²(澳门科技大学 资讯科技学院, 澳门 氹仔)

摘 要: 研发了一种基于 Kinect 的跑步机系统, 并提出了跑步系列动作识别算法. 该系统基于 Unity 游戏引擎、3DSMax、Maya、Photoshop 建模和平面设计软件开发, 运用微软 Kinect 体感设备和个人电脑获取人体跑步时各种动作的骨骼点数据, 结合运动特征分析研发了基于骨骼绑定的跑步、挥手、跳跃、蹲下各种动作的识别算法, 通过对人体动作的识别从而实现人机交互的跑步健身游戏娱乐运动. 实验数据表明基于骨骼绑定的动作识别算法的有效性, 该跑步机系统硬件设备体积小, 它通过人的肢体动作而不是鼠标键盘来操作跑步机软件, 同时结合了跑步健身和游戏娱乐等功能, 部分代替了传统跑步机的作用, 具有很好的体感交互效果和实用价值, 研究成果可以用于更多的人机互动应用领域.

关键词: Kinect; 跑步机; 动作识别; 骨骼绑定

Treadmill System Based on Kinect

HUANG Jing¹, LANG Bo¹, ZHANG Zhi-Wen¹, LIANG Yan-Yan²

¹(Department of Information Technology, Beijing Normal University, Zhuhai 519087, China)

²(Faculty of Information Technology, Macau University of Science and Technology, Macao Taipa, China)

Abstract: In this paper, a new kind treadmill system based on Kinect is developed, and running action recognition algorithms are presented. This system is under the development of Unity game engine, 3DSMax, Maya, Photoshop modeling and graphic design software, it obtains various skeletal data of human running action by using Kinect-Microsoft somatosensory equipment and personal computer, skeletal binding based recognition algorithms of running, waving, jumping and squat were given under analysis of movement feature. Interactive running fitness entertainment sports can be implemented in this system through the recognition of human actions. The experimental data shows the effectiveness of action recognition algorithms based on skeletal binding, the treadmill system has the advantages with smaller volume hardware equipment, better software operating method by using human body action instead of mouse and keyboard, and also combines function with the running fitness and entertainment, replaces the traditional treadmill effect in some parts it has the very good somatosensory interaction effect and practical value, the research results can be used for more human-computer interaction application areas.

Key words: Kinect; the treadmill system; action recognition; skeletal binding

1 引言

随着人们生活质量提高, 体感跑步机这一结合了虚拟现实和模式识别等计算机技术的新型设备随之流行起来. 它基于体感游戏这一形式, 摒弃了传统的键盘鼠标操作, 让玩家可以用自然的人性表达方式来进

行游戏, 同时达到锻炼身体的目的. 体感跑步机比文献[1-4]开发的在实体健身器材基础上添加了虚拟现实场景的跑步机更具魅力和市场前景. 文献[5]开发的跑步机是基于深度图与彩色图像的跑步机游戏交互系统, 动作识别主要基于对深度图进行阈值分割得到前景目

① 基金项目: 国家自然科学基金项目(61272364); 珠海市公共技术服务平台科技项目(2013D0501990014)

收稿时间: 2016-01-13; 收到修改稿时间: 2016-02-25 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005332]

标的二值掩码实现,但是由于没有更深入地用到人体跑步运动时骨骼点的数据,操作具有较大局限性.文献[6]首次提出用 Kinect 骨骼点数据来识别人的动作,但实验的动作并不是针对跑步运动,方法不适合跑步动作识别.

本文根据 Kinect 的人体骨骼数据和人体运动特征分析,提出跑步序列动作识别算法,并利用这个识别算法设计了一款全新概念的虚拟交互跑步机系统,结合了游戏情节使得用户更具有虚拟现实的沉浸感.本系统既是学术上的尝试,也是对市场需求的积极响应,具有较高的现实意义和市场价值.同时该项体感技术能够继续拓展推广,可用于家庭室内其他健身游戏娱乐系统的开发.

2 骨骼绑定动作识别算法实现

跑步机系统主要针对室内环境开发,由于室内场景和感应设备受限,用户与跑步机体感设备距离一般控制在 1.5~2.5 米之间.人的肢体动作很复杂,运动时也有很多姿势.本文针对跑步机系统中使用的四种人体跑步动作进行分析:原地跑步、挥手、跳跃和蹲下,并抽取出人体骨骼动作的关键点.通过分析这些关键点可将人体跑步动作简化为骨骼动作.本文创新性地设计了一系列基于骨骼绑定的动作识别算法,实现了跑步运动动作的识别.

2.1 人体骨骼数据的提取

人体骨骼数据提取基于微软 Kinect^[7]体感交互设备实现(图 1). Kinect SDK 1.8^[8,9]提供了人体 20 个骨骼关节点数据,人体对应的骨骼关节名称和位置如图 2 所示.



图 1 Kinect 设备

Kinect 定义的空间三维坐标系如图 3 所示, Kinect 将垂直于视野的方向定义为 Z 轴,视野的高为 Y 轴,视野的宽为 X 轴,人体骨骼节点坐标数据基于此坐标系.由于人的体态差异及与 Kinect 的相对位置关系变化,使每个人提取的骨骼节点数据差异很大,这时,利用卡内基梅隆大学开发的 Kinect 的 Unity^[10]插件将 Kinect 识别的人体骨骼绑定到电脑中同一个跑步模

型当中,这样使得因人体差异带来的骨骼数据差异缩小到可以忽略的范围,图 4 反应不同的人体骨骼不同时间绑定到电脑同一个模型上.

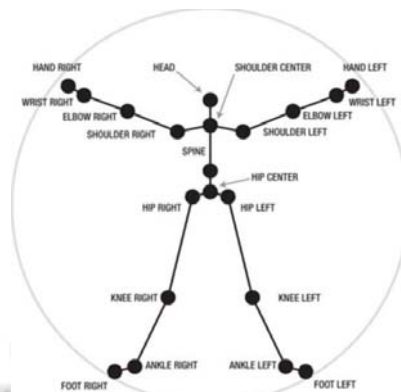


图 2 Kinect 提供 20 个人体骨骼点数据

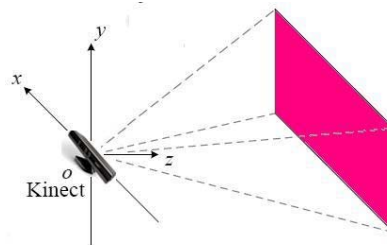


图 3 Kinect 传感器空间坐标系

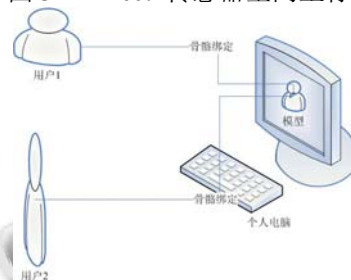


图 4 不同类型人体骨骼绑定到同一模型

2.2 原地跑步动作识别

原地跑步动作主要根据腿部膝盖骨骼节点的相对位置进行判断识别.如图 5(a)所示,假定人在原地跑步时相对 Kinect 摄像头的深度 z 值保持基本稳定,只需要考虑双腿膝盖关节高度值 y 的时间变化.设左右膝盖关节的坐标分别为 $KneeLeft(x,y,z)$ 和 $KneeRight(x,y,z)$, 当 $KneeLeft.y$ 大于 $KneeRight.y$ 时,触发左抬腿动作,反之触发右抬腿动作.

把原地跑步的动作分解成左右膝盖轮换抬起的动作序列,可用图 6(a)流程进行判断.由于 Kinect 获得的图像数据是运动中的图像,会使得获得的骨骼节点数据会产生一定的抖动.为了提高识别率,加入膝盖上下波动的阈值参数,可以根据 Kinect 传感器的个体差

异进行调整. 阈值的选取采取机器学习的方法. 设 threshold 为左右膝盖 y 坐标上下摆动范围的阈值, 当左右两腿膝盖 y 坐标差大于给定的阈值时则视为有抬腿跑步运动, 同过每帧左右膝盖轮换的频率快慢可以判断跑步速度的快慢.

2.3 挥手动作的识别

如图 5(b)所示在左挥手时, 手的前臂会往上举形成一个挥手向量, 本文算法是通过右肩膀关节点 $\text{ShoulderRight}(x,y,z)$ 与右手腕关节点 $\text{WristRight}(x,y,z)$ 的 x 轴向距离和 右肩膀关节点 $\text{ShoulderRight}(x,y,z)$ 与右手臂肘关节点 $\text{ElbowRight}(x,y,z)$ 的 x 轴向距离来进行判断, 在挥手时, 肩膀关节点与手腕关节点的距离一定大于肩膀关节点与手臂肘关节点的 x 轴向距离, 且手臂所有关节点的 y 坐标也在给定的阈值范围之内, 因此只要计算出肩膀、胳膊和手腕骨骼点的距离差的大小, 就可以判断有挥手动作. 根据几何关系, 两个距离差通过手臂各骨骼点的坐标计算出来, 如式(1),(2):

右手距离差 $\text{DistanceRight} =$

$$|\text{WristRight}.x - \text{ShoulderRight}.x| - |\text{ElbowRight}.x - \text{ShoulderRight}.x| \quad (1)$$

同样, 可求出右挥手时的距离差:

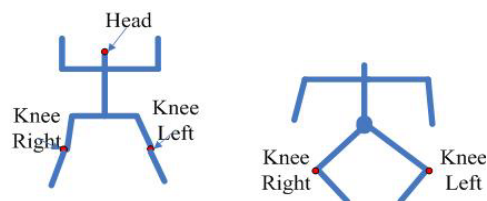
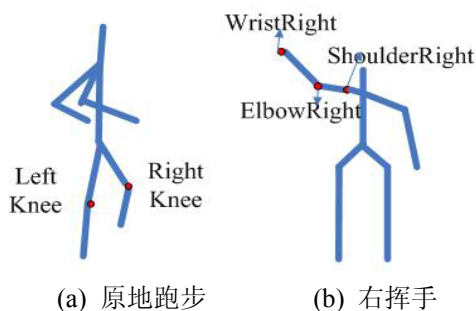
左手距离差 $\text{DistanceLeft} =$

$$|\text{WristLeft}.x - \text{ShoulderLeft}.x| - |\text{ElbowLeft}.x - \text{ShoulderLeft}.x| \quad (2)$$

挥手判断流程如图 6(b)所示, 输入手腕、手胳膊和手肩膀的 x 轴向坐标值, 分别判断是否为左挥手和右挥手再进行下一步处理.

2.4 跳跃动作的识别

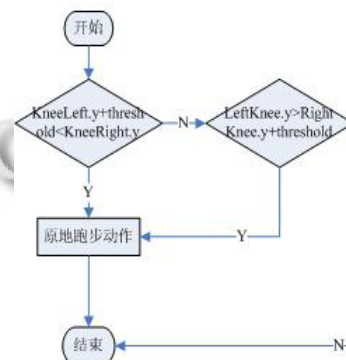
跳跃的特点是两腿都往上偏离了原来的位置, 整个人体骨骼数据都往上移, 所以可以根据头部的关节 y 坐标 $\text{Head}.y$ 和腿部左膝盖关节点 y 坐标 $\text{KneeLeft}.y$ 和右膝盖关节点 y 坐标 $\text{KneeRight}.y$ 是否同时往上偏离原来位置一个距离来判断. 图 5(c)表示了用户跳跃的人体骨架位置示意图. 图 6(c)表示了判断角色是否跳跃的流程.



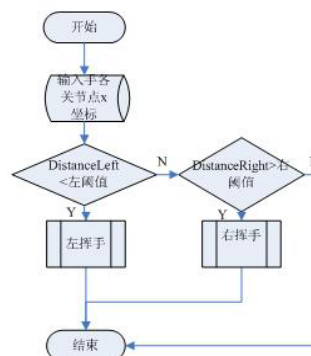
(c) 跳跃

(d) 蹲下

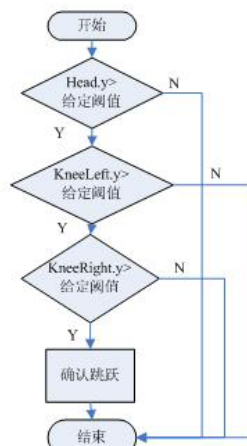
图 5 跑步序列动作骨架示意图



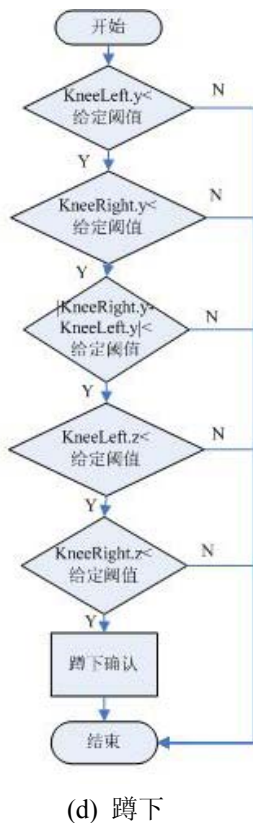
(a) 原地跑步



(b) 挥手



(c) 跳跃



(d) 蹲下

图6 跑步序列动作识别流程

2.5 蹲下动作的识别

蹲下的动作是躲避跑步过程中的高拱型障碍物。蹲下的特点是两腿膝盖都往下偏离了原来的位置，腿膝盖也往下偏离几乎同样的距离，这样左右腿膝盖 KneeRight 和 KneeLeft 的 y 坐标几乎保持在同样的水平位置，并且腿膝盖往前突出，说明腿膝盖 KneeRight 和 KneeLeft 的 z 坐标值减少了一个距离。所以也可以根据腿膝盖 KneeRight 和 KneeLeft 的 y 坐标和 z 坐标是否都小于设定的阈值范围之内来判断。图 5d)表示了用户蹲下的骨架位置示意图。图 6d)描述了蹲下动作识别的流程。

2.6 阈值学习

通过具体用户的动作采集，用学习方法得到合理的阈值。本文通过 10 名用户进行上述 4 个基本动作的数据采集，得到了不同用户的不同跑步姿势的数据。由此得到用户输入骨骼节点坐标数据 x_i 和带标签的数据 $y_i \in \{1, -1\}$ ，这里用 1 和 -1 表示是否触发动作识别条件。我们希望设计的系统根据用户输入的数据 x_i 得到正确的触发判断 y_i 。由此我们采用简单的统计来学习得到最佳分离阈值器。一个合理的阈值 t 满足以下条件：

$y_i(\text{sign}(x_i - t)) = 1$ 。通过采集大量的用户数据，我们得到了较合理的阈值，能满足本文的识别算法的需求。

3 系统设计方案

3.1 系统组成

将以上动作识别算法运动到研发的跑步机系统，如图 7 所示，Kinect 体感设备用于获取人体跑步的各种动作，PC 电脑用于支撑跑步机系统软件，并实现跑步角色动作仿真、跑步场景变更和跑步游戏互动娱乐。人的肢体动作通过 Kinect 设备和本文研究的人体动作识别算法得以识别，并传到 PC 电脑中基于 Unity 游戏引擎开发的跑步机系统跑步游戏软件中，进一步地通过骨骼绑定，再传给场景中的三维人体角色模型，从而达到控制跑步娱乐系统的目的。

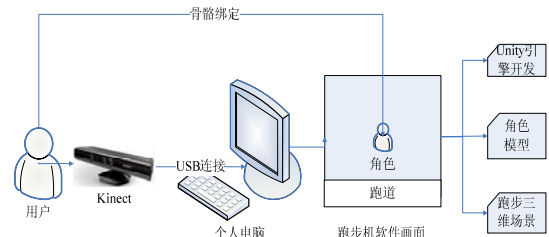


图7 系统组成

系统开发所使用的软件开发工具包括：Unity3D 游戏引擎、Maya3D 建模软件、3Dmax 建模软件、PhotoShop 图形处理软件、脚本编写工具 Visio Studio、脚本语言 C#。整个系统开发流程过程如图 8 所示。

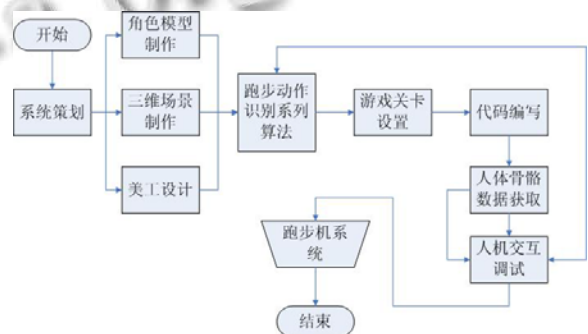


图8 系统开发流程

3.2 跑步机的软件游戏策划方案

本文研究了当前的一些运动捕捉技术^[11]，结合近年比较热门的跑酷游戏，创作了置于跑步机系统内的的体感游戏“酷跑达人”。该游戏通过系统的 Kinect 摄像头做出相应的跑步动作进行操作。在游戏中玩家通过

左右手挥动控制游戏角色变道来躲开障碍,通过跳跃和下蹲来躲避低矮和高拱型障碍物,这一设计增加了跑步的趣味性.整个跑步机运动的流程如图 9 所示.

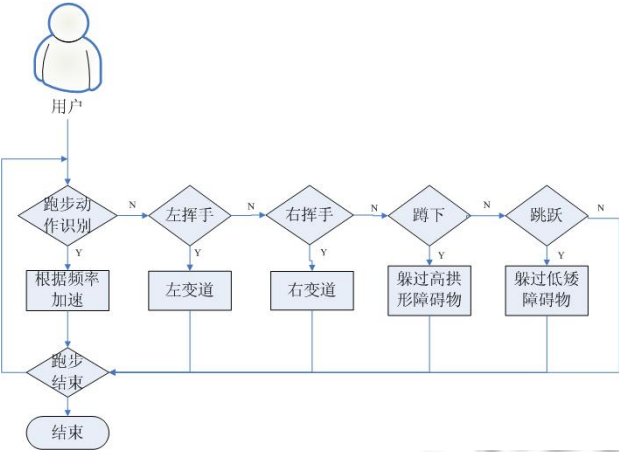


图 9 跑步机运动判断流程

4 用户体验与结果分析

图 10 为用户在本文研发的基于 kinect 的跑步机系统下进行原地连续跑步测试驱动游戏跑步角色响应的系统游戏画面和测试画面.测试时,用户站在离 Kinect 设备前大约 2 米左右原地连续跑步.



(a) 跑步游戏画面



(b) 用户测试

图 10 跑步机游戏画面和用户测试环境

实验时用户面向摄像头做指定的跑步各种动作,利用本文算法识别预先设定的“挥手”、“跑步”、“跳跃”、

“蹲下”等动作分别在理想条件(背景颜色单一、背景变化较缓慢、光照稳定)、苛刻环境(背景颜色复杂、背景变化快、光线偏暗)下的识别结果均随机抽取 100 次形成 100 个随机数据集,通过实验步骤进行实验,得出了测试结果.表 1 和表 2 分别表示跑步机系统中在理想条件和苛刻条件下抬手、跑步、跳跃和蹲下的测试结果,节点数为人体骨骼相关的节点数.

表 1 测试结果(理想条件)

	挥手	跑步	跳跃	蹲下
样本数	100	100	100	100
定义节点数	3	2	3	2
识别数	92	100	87	85
误识别	8	0	13	15
拒识别数	0	0	0	0
成功率(%)	92	100	87	85

表 2 测试结果(苛刻条件)

	挥手	跑步	跳跃	蹲下
样本数	100	100	100	100
定义节点数	3	2	3	2
识别数	88	100	82	80
误识别	12	0	18	20
拒识别数	0	0	0	0
成功率(%)	88	100	82	80

从表 1 和表 2 中的数据分析来看,苛刻的识别环境和理想环境识别率差距不大.而不同动作的识别算法,待识别动作的复杂程度对识别率影响较大,苛刻条件下的识别率比理想环境下的识别率略有下降.

5 结语

本文独立创新提出了基于 Kinect 的人体跑步、挥手、跳跃和蹲下的动作识别算法,在系统中加入虚拟跑步场景、虚拟运动、角色骨骼绑定、人体动作识别等虚拟现实技术,能让使用者在虚拟环境中身临其境的感觉,增加跑步的真实感.

基于本文跑步动作序列算法而开发的跑步机游戏娱乐系统,主要涉及了 Kinect 进行图像捕捉、人体骨骼获取、人体动作捕捉、三维人体模型动作骨骼绑定、Unity 和 Kinect 数据通信和人机交互等关键技术.跑步机系统改变了以往单一乏味的跑步模式,取消了传统的跑步机笨重硬件设备,用 kinect 和电脑模拟实现室内跑步的环境,让用户用自然的人性表达方式进行跑步的同时开展娱乐游戏,实现了最初的目标.同时实

验数据分析验证了本文提出的系列动作识别算法的有效性,能够满足跑步机系统需求。该跑步机系统拟在娱乐性、人体体验感方面作进一步的改进,推向市场。

系统提出的相关算法可以拓展推广,而不是仅仅局限于跑步机游戏,可以用于更多的人机互动应用领域,如虚拟球类运动、虚拟康复运动、虚拟手术、虚拟驾驶、机器人控制、智能教学控制系统^[12-15]等场合。

参考文献

- 1 钱克宪,胡维华.虚拟现实技术在跑步机中的设计与实现.计算机仿真,2009,5:259-261,270.
- 2 李春丽,窦少兵,杨先军,姚志明,周旭,孙怡宁.智能跑步机上虚拟场景的设计与实现.仪表技术,2012,9:46-48.
- 3 王永强.基于虚拟现实技术的多功能跑步机系统的设计与实现.科技信息,2010,5:449-450.
- 4 Real-Time Classification of dance gestures from skeleton animation. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium of Computer Animation. 2011.
- 5 崔怡.基于深度图与彩色图像的跑步机游戏交互系统[硕士学位论文].武汉:华中科技大学,2011.
- 6 田国会,尹建芹,韩旭,于静.一种基于关节点信息的人体行为识别新方法.机器人,2014,3:285-292.
- 7 Diez CC, Melgar ER. Arduino and Kinect Projects Design, Apress L. P. 2012
- 8 余涛.Kinect 应用开发实战:用最自然的方式与机器对话.北京:机械工业出版社,2012.
- 9 Miles R. Learn Microsoft Kinect API. O'Reilly Media, 2012.
- 10 宣雨松.Unity 游戏开发.北京:人民邮电出版社,2016.
- 11 吴华蕾,李晓雯,李建微.运动捕捉技术的跑步运动损伤分析.龙岩学院学报,2013,2:64-67,73.
- 12 顾容,何益明,金丽燕.基于 Kinect 骨骼追踪技术的智能教学控制系统的设计与实现.计算机应用与软件,2013,6:276-280.
- 13 陆奎,周锋.Kinect 在家庭智能监控系统中的应用.微型机与应用,2014,13:13-15+19.
- 14 邱鹏,倪晨,张俊忠,曹慧.基于 Kinect 骨骼信息的中医正骨手法虚拟仿真.山东中医药大学学报,2014,3:202-204.
- 15 陈敬德,赵文丽,梁洪涛,王梓霖,张驰,毛晓波.基于 Kinect 的机器人控制系统.电子设计工程,2014,10:81-85.