

6-5-2020

Design and Implementation of Virtual Treadmill System Supporting Natural Interaction

Zhigeng Pan

1. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China;;

Congjin Liu

1. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China;;

Yingying Ge

2. Jilin Animation Institute, Changchun 130012, China;

Qingshu Yuan

1. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design and Implementation of Virtual Treadmill System Supporting Natural Interaction

Abstract

Abstract: By virtually displaying outdoor sports scene, virtual treadmill system can make running more interesting. How to interact naturally and effectively during running is an important issue in system design. Based on the gesture interaction region partition and analysis of Kinect data, we designed a gesture interaction protocol. The protocol supports menu interaction and content switch without interruption of human running process. We also designed and implemented a virtual treadmill system which utilizes OSG library and Unity3D for scene modeling. Serial port and Socket is used for status or sports data transmission. The system can displayed on a large monitor or a projector system. Experiments show that the system can greatly improve interaction friendliness, usability and interests.

Keywords

treadmill, natural interaction, Kinect, OSG

Recommended Citation

Pan Zhigeng, Liu Congjin, Ge Yingying, Yuan Qingshu. Design and Implementation of Virtual Treadmill System Supporting Natural Interaction[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2753-2759.

支持自然交互的虚拟跑步机系统的设计和实现

潘志庚¹, 刘从晋¹, 葛莹莹², 袁庆曙¹

(1. 杭州师范大学数字媒体与人机交互研究中心, 杭州 311121; 2. 吉林动画学院, 长春 130012)

摘要: 虚拟跑步机系统通过虚拟呈现户外运动场景, 提高了跑步机的趣味性。如何在跑步过程中实现人机的自然、有效交互是系统设计中需要考虑的重要问题。基于 Kinect 体感设备, 通过对手势交互区域的合理划分及分析, 设计了一种手势交互协议, 该协议在不中断跑步过程的前提下, 实现了跑步机系统的菜单交互、内容切换等交互功能。开发了一套虚拟跑步机系统, 利用 OSG 三维图形库和 Unity3D 引擎搭建三维虚拟场景, 并运用串口及 Socket 通信实现跑步机状态数据、虚拟人运动数据的实时传输, 最终通过大屏幕或投影呈现虚拟运动场景。实验表明, 本文设计的虚拟跑步机系统能有效提升跑步机系统的交互友好性、易用性与趣味性。

关键词: 跑步机; 自然交互; Kinect; OSG

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 11-2753-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201711022

Design and Implementation of Virtual Treadmill System Supporting Natural Interaction

Pan Zhigeng¹, Liu Congjin¹, Ge Yingying², Yuan Qingshu¹

(1. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China;

2. Jilin Animation Institute, Changchun 130012, China)

Abstract: By virtually displaying outdoor sports scene, virtual treadmill system can make running more interesting. How to interact naturally and effectively during running is an important issue in system design. Based on the gesture interaction region partition and analysis of Kinect data, we designed a gesture interaction protocol. The protocol supports menu interaction and content switch without interruption of human running process. We also designed and implemented a virtual treadmill system which utilizes OSG library and Unity3D for scene modeling. Serial port and Socket is used for status or sports data transmission. The system can displayed on a large monitor or a projector system. Experiments show that the system can greatly improve interaction friendliness, usability and interests.

Keywords: treadmill; natural interaction; Kinect; OSG

引言¹

人的健康离不开体育锻炼, 而跑步是最重要的体育锻炼方式之一。城市生活节奏加快和室外空气



收稿日期: 2016-08-01 修回日期: 2016-07-11;
基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAK04B05), 浙江省自然科学基金(LY13F020050);
作者简介: 潘志庚(1965-), 男, 江苏淮安, 博士, 教授, 研究方向为虚拟现实、数字媒体; 刘从晋(1990-), 男, 江苏淮安, 硕士, 研究方向为虚拟现实、人机交互。

污染, 使得室内的跑步机运动广受欢迎。传统跑步机的使用相对比较乏味, 对近几年来家用跑步机使用情况的研究表明, 跑步机的闲置率较高^[1]。同时, 对基于跑步机的激励机制的研究表明^[2], 自然交互的方式, 可以显著降低跑步机的闲置率, 激励人们更多地使用跑步机, 从而养成良好的运动习惯。

虚拟现实技术的发展成熟为跑步机系统的发展提供了新的契机, 通过虚拟呈现户外运动场景,

<http://www.china-simulation.com>

• 2753 •

虚拟跑步机系统可以有效地提升跑步机系统的趣味性。

如何在使用虚拟跑步机系统的过程中,实现人机的自然有效交互,是虚拟跑步机系统设计过程中的一个重要问题。其难点主要在于两个方面,一方面,由于人处于运动状态之中,传统的按键等非自然的交互方式会中断人的运动过程而影响运动本身;另一方面,运动过程中所能获得的交互数据的稳定性相对较差,不利于达到正确的交互效果。因此,设计一个支持有效、自然交互的虚拟跑步机系统,具有极大的研究与应用价值。

1 相关工作

得益于虚拟现实技术的发展,近年来基于虚拟现实的健身设备及健身系统发展迅速。早期的虚拟健身系统利用摄像头、传感器等设备,实现虚拟场景的实时更新并展示。虚拟网络马拉松系统^[3]用心率仪来监测用户在跑步机上的跑步状态,并实时更新虚拟场景中的数据。虚拟保龄球系统^[4]利用摄像头实时捕捉球的运动状态,模拟保龄球与虚拟瓶子的碰撞情况,类似的工作还有美国乔治亚理工大学开发的自行车模拟器^[5]。上述工作都未考虑人与设备的自然交互,也没有实现人和虚拟场景之间的互动,更多地只是在运动数据采集后对虚拟运动场景进行展示。

虚拟跑步机是虚拟健身系统中的典型代表,中国科学院、湖南大学、杭州电子科技大学等,都对虚拟跑步机系统进行了相关的研究。李春丽等利用 OpenGL 图形库,实现了跑步虚拟场景的绘制,并实时将速度、路程、心率等运动状态数据显示于三维场景中^[7]。钱克宠等人研究的虚拟跑步机系统^[8],基于 OSG^{[11][15]}(Open Scene Graph)图形库,利用传感器采样数据实时反馈跑步者的状态。上述系统在使用过程中都需要绑定一个传感器,有碍于人的正常运动,且人只是被动地输出身体的各项指标,而没有真正达到自然交互的效果。耿彬开发的跑步机体感游戏系统^[9],对跑步机硬件做了修改,对操作

界面做了优化设计,并加入 Google Earth 地图匹配游戏,增加了用户在跑步时的趣味性。其交互是通过屏幕的触碰来实现的,虽有互动性,但在跑步过程中使用触屏,会中断或影响跑步过程,交互的友好性不够。

本文设计开发的虚拟跑步机系统,具有支持自然交互的特点。通过体感交互设备 Kinect 捕获人的手势动作,在不中断跑步过程的情况下,实现系统的菜单控制、内容切换等功能。同时,结合大屏幕及投影显示设备,增添了跑步者现场感的体验。具体的系统演示效果如图 1 所示。



(a) 基于 OSG 创建的场景图 (b) Unity3D 创建的场景图

图 1 系统概要图

Fig. 1 System overview

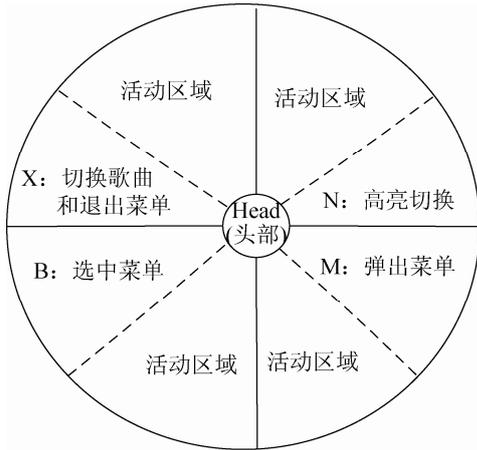
2 交互需求和交互协议设计

自然交互^[10],即在虚拟环境中人可以通过手势、眼睛、皮肤、耳朵和语言等与现实生活中相似的方式直接与系统交互,让人感到操作的真实化与智能化。自然的交互方式可以让跑步者专注于运动,提升运动体验,有助于其形成良好的运动习惯。

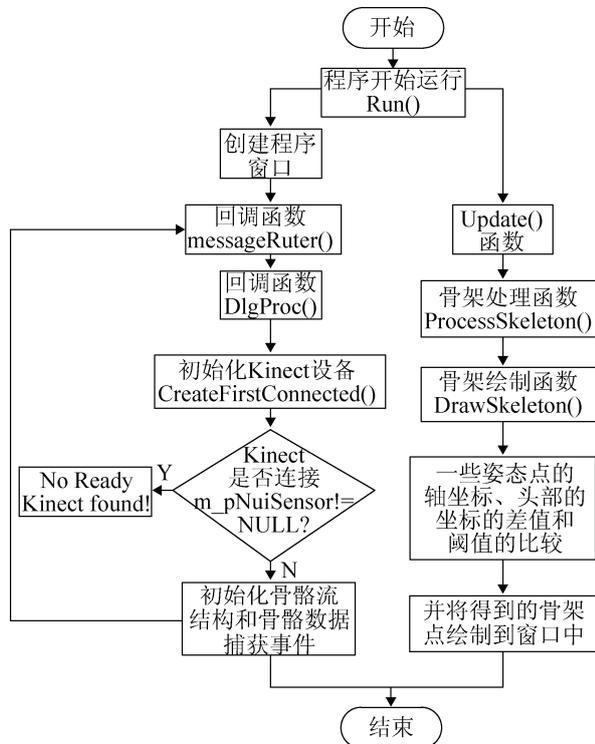
本文的交互协议是基于手势交互的,由于使用者在跑步机上运动时的原始交互数据会有一些的抖动,因此会影响交互数据的稳定性及最终的交互效果。本文通过对手势交互区域的合理划分及分析,实现了稳定有效的交互效果。

利用 Kinect 体感交互设备,可以捕获人的色彩信息、深度信息和骨架信息,上述信息经过处理和计算,可以作为交互的重要数据。随着 Kinect SDK^[6]新版本的发行,基于 Kinect 的交互已经越来越成熟,用户可以在不使用鼠标或者键盘等外设的情况下,“隔空”与计算机进行交互。

系统设计了 4 种手势交互语义, 如表 1 所示, 通过手势可以控制程序的菜单, 实现继续、退出、加速或减速等功能, 同时可以切换程序中播放的背景音乐。对手势运动区域的划分是以人的头部骨架 X、Y 坐标为基础的, 如图 2(a)所示, 通过这样的划分, 可以精确地捕获动作, 实现了用户与虚拟场景的实时交互, 具体的算法流程如 2(b)所示。



(a) 手势控制区域图



(b) 交互算法流程图

图 2 跑步机手势交互协议

Fig. 2 Gesture interaction protocol for treadmill

表 1 手势交互语义

Tab. 1 Gesture interaction semantics

手势动作	动作的语义
向右上方滑动(右手)	高亮切换菜单
向右下方滑动(右手)	弹出菜单
向左下方滑动(左手)	选中菜单
向左上方滑动(左手)	切换歌曲

3 系统设计与实现

支持自然交互的虚拟跑步机系统主要实现的功能有: (1) 用户通过跑步机实现三维虚拟场景的漫游; (2) 用户通过 Kinect 设备与三维虚拟场景进行基本的人机交互; (3) 为用户提供有现场感的三维虚拟场景展示, 系统同时提供了基于 OSG 的虚拟三维场景及基于 Unity3D 创建的虚拟三维场景。

用户在使用跑步机的时候, 跑步机内的计数器会实时地计算用户的跑步速度并生成跑步的路程, 程序负责将这些数据发送到数据接收器, 数据接收器将数据存储到一个数据缓存区中, 利用 Socket 通信, 对数据进行传递。应用程序会根据需要从数据缓存区中读取相应的数据, 获取跑步的速度值, 根据这一值, 实时地更新三维虚拟场景中虚拟人的速度。Kinect 体感设备通过对人的手势捕获与计算, 控制程序中的菜单操作, 并实现音乐的切换。具体的系统流程图, 如图 3 所示。

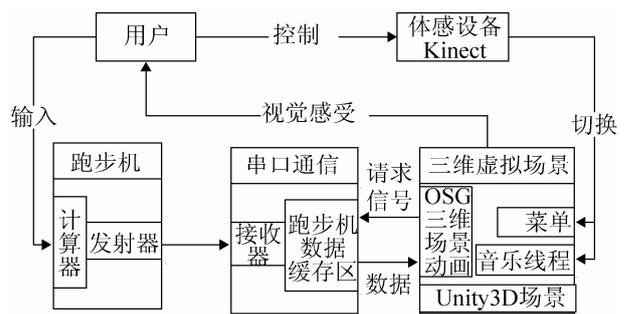


图 3 系统流程图

Fig. 3 System workflow chart

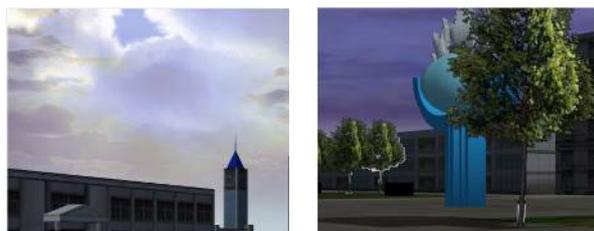
3.1 虚拟三维场景设计

本系统的三维场景渲染是通过 OSG 引擎实现的。为增加虚拟运动场景的真实感从而提升运动的趣味性, 我们给场景设计了几个特效, 这里的特效

主要包括动态天空盒、实时阴影效果、风吹树动等。

本文采用 OSG 中的 `osgHimmel` 开发包实现了动态天空盒的效果, 该开发包是做天空的轻量工具, 可实现动态的天空、云、星空等效果, 具体的天空效果如图 4(a) 所示。

本文采用 `Shadow Map` 方法实现实时阴影效果, 该方法是一种快速高效的阴影实现方法, 在游戏中被广泛使用。它通过在光源位置建一个摄像机(摄像机的观察方向为光的方向), 得到摄像机的深度信息, 并将深度信息保存到一张纹理中, 该纹理称为深度图; 最终进行二次渲染, 将当前点在深度图中的深度信息取出, 记为 d_1 , 计算当前点到光源点的距离 d_2 , 比较 d_1 和 d_2 , 如果 $d_1 < d_2$ 则说明该点在阴影区, 应该赋予阴影的颜色, 阴影效果如图 4(b) 所示。



(a) 天空效果图

(b) 阴影效果图

图 4 场景特效

Fig. 4 Scene special effect

本文在 GPU 中实现了风吹树动的效果^[12], 为了保证良好的视觉效果, 本文首先考虑了树的大小和数量分布, 使其尽量自然, 比如树的大小应该是大小不一的, 种类是多样化的。其次, 树的不同区域生成不同的运动轨迹, 比如随风摇晃的应该是树叶和树枝而不是树干和树根, 且树的摇晃程度随着树的高度变高而增强。同时, 考虑外界风力对树的运动轨迹的影响, 风越大, 摇晃也相应越剧烈。再次, 对不同的树的摇晃方向加入一个随机量, 使所有树不至于沿同一个方向摇晃, 那样会显得不真实。本文给出了一种随机分配树的运动状态的方法, 具体的运动公式如式(1)(2)所示。

$$X_{t+1} = X_t + \sin(t+r) * Z * W (Z > H, t > 0) \quad (1)$$

$$Y_{t+1} = Y_t + \cos(t+r) * Z * W (Z > H, t > 0) \quad (2)$$

其中: X 和 Y 为树上的任一顶点的 x 和 y 分量; t 为程序的运行时间, 会随着程序的运行不断变化; r 表示一棵树的运动状态, 开始时, 每棵树的状态都不一样, 所以 r 是一个随机数, r 初始化之后不再发生变化; Z 为树上任意顶点的 z 分量; H 为树干的高度; W 为控制参数, 表示风的强度, W 越大, 树的摇晃程度越大, 当 W 接近于 0 的时候, 树就成静止的了, 本文中 W 的取值范围为 $0 < W < 0.25$ 。

3.2 路径动画

3.2.1 路径的生成

跑步过程中的漫游路径, 需要根据地形离线生成, 本文实现了一个生成路径的工具, 借助该工具可以通过鼠标双击操作添加路径, 如图 5 所示。路径点的疏密程度可以根据路径的复杂程度适当调节, 并且可以添加多条路径。添加好的路径会存放至一个路径数据库中, 用户在跑步时可以选择感兴趣的运动路线。

手动添加的路径是相对比较粗糙的, 相邻路径点之间的间隔距离大且不均匀。要使虚拟人的路径动画看起来平滑, 还需要确保虚拟角色紧贴地面行进。此外, 虚拟角色在转弯时要尽量平滑, 还要避免跟随摄像机的抖动, 因此, 本文还给角色添加了对地碰撞检测和平滑处理的功能。



图 5 路径生成示例

Fig. 5 An example of path generation

3.2.2 路径动画中碰撞检测和碰撞避免

为了解决虚拟人在三维场景中可能发生的碰撞, 本文设计了一种基于射线的碰撞检测算法。首先, 为了确保虚拟人根据地形的变化紧贴地面运动, 创建一条垂直于地面的射线, 如图 6 中的射线 L0, 该射线时刻检测是否与地面有交点。如果有, 则求出该交点, 然后沿射线方向移动虚拟人, 使虚拟人脚底的位置正好位于该交点。

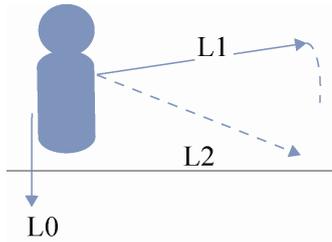


图 6 基于射线方向的碰撞避免
Fig. 6 Ray direction based collision avoidance

同时为了避免模型在运动过程中穿透其它物体, 为虚拟人设计了一个实时碰撞避免算法。首先给虚拟人添加一个感知范围, 线段 L1 的起点为虚拟人所在的位置, 方向为从虚拟人到目标点的方向, 长度为感知范围的半径。L1 的作用是判断其运动路径上是否有障碍物; 线段 L2 的起点为虚拟人的位置, L2 的长度与 L1 相同, 初始时, L2 与 L1 重合, L2 的作用是在角色遇到障碍物的时候, 寻找新的运动方向。

角色前进的过程中, 如果没有碰撞发生, L2 的方向与 L1 的方向相同, 此时, 角色沿着 L2 (或 L1) 的方向运动。如果 L1 检测到碰撞, 则 L2 在原来的基础上偏离一定角度 Δa , 分别检测 L1 的两侧是否有障碍物, 直到 L2 检测不到碰撞为止, 此时 L2 的方向就是新的运动方向, 具体的碰撞避免过程如图 7 所示。

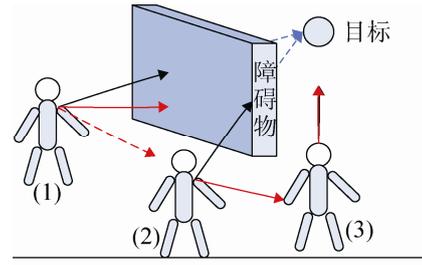


图 7 碰撞避免示意图
Fig. 7 Collision avoidance demonstration

3.2.3 平滑处理

为了不让虚拟人角色因为转弯动作过大而看起来不自然, 需要对虚拟人角色转弯时进行平滑处理和对跟随摄像机的平滑处理。虚拟人转弯时对角色的旋转角度的处理方法如式(3)所示:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + (\theta_{obj} - \theta_t) * m (t > 0) \quad (3)$$

其中, θ_{t+1} 为游戏角色在下一帧的转向; θ_t 为当前转向; θ_{obj} 为目标转向; m 是一个大于 0 的调节参数。从公式(3)可以看出, m 取值越大, 缓冲时间越短, 游戏角色转身越迅速, m 接近于 0 的时候, 游戏角色完全不会转身, 本文中 m 的取值为 0.1。

对跟随虚拟人摄像机的平滑处理: 摄像机的朝向始终对着游戏角色, 使摄像机能够平滑跟进, 从而不让虚拟场景画面抖动。这里对摄像机的位置变化采用了与式(3)类似的方法, 如式(4)所示:

$$P_{t+1} = P_t + (P_{obj} - P_t) * n (t > 0) \quad (4)$$

其中: t 为时间 P_{t+1} 为摄像机下一帧的位置; P_t 为当前位置; P_{obj} 为目标位置; n 为调节参数。从公式(4)可以看出, n 越大, 摄像机跟进也越迅速, 因此画面抖动感越强, n 越小, 摄像机跟进越慢, 画面抖动感越弱, 当 n 等于 0 的时候, 摄像机静止在原地不动, 本文中 n 的取值为 0.08, 需要说明的是这个数字是通过观察虚拟场景的运动是否有卡顿的多次实验后得出的经验值。

实验结果表明, 利用上述平滑处理方法, 虚拟人在转弯时, 动作自然且场景没有明显的抖动现象。

3.3 通信设计

3.3.1 串口通信

因为商业生产的跑步机不带有串口的接入端，本文在跑步机上安装了一个可以接收和发送数据的电路板。将跑步机中的速度和路程等值，从串口发送出去，PC 端串口程序接收此数据，并通过 Socket 实时与主程序进行通信，主程序使用速度值来控制虚拟人的运动速度。串口传递的数据格式是串行比特流，然后转化为字节流，通常一台电脑有多个串口，它在外设和计算机之间充当数据的传递者与解释者，当外部设备通过串口传递数据时，PC 端的串口就会将串行的比特数据流，转化为字节流。

3.3.2 Socket 通信

基于 MSComm 控件^[13]单独设计开发的串口小程序最通使用 Socket 实现与场景漫游程序的数据通信^[14]，通过在主程序中加入 Socket 接受数据的线程，实时地监听串口程序中发来的数据信号，一旦有数据发来，就更改变虚拟人的运动速度。

3.4 系统实现与结果

本文使用微软第一代的 Kinect 体感设备、领跑虎 525S 系列跑步机，电脑配置了 4G 内存、64 位 Windows 操作系统、英伟达 GeForce 820M 显卡。程序在运行时的 OSG 的三维虚拟场景图如图 8 所示。用户使用 Kinect 体感设备进行系统交互时的场景，如图 9 所示。

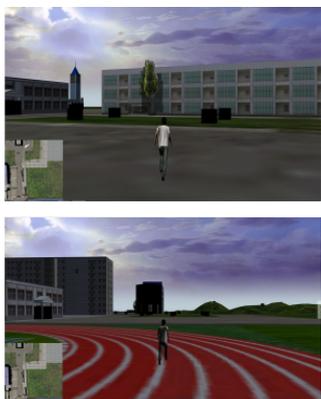


图 8 基于 OSG 的三维场景图
Fig. 8 OSG based 3D scene



图 9 使用 Kinect 进行手势交互
Fig. 9 Gesture interaction using Kinect

为增加虚拟跑步场景的多样性和逼真性，还用 Unity3D 创建了虚拟三维场景^[16]，同时开发了一个通信插件，使跑步机可以连接虚拟的三维场景，切换至第一视角漫游整个系统，具体场景图见图 10。



图 10 Unity3D 中的三维场景图
Fig. 10 3D scene in Unity3D

4 结论

本文分析了虚拟跑步机系统的交互需求，提出了一种自然交互协议，使得用户在不中断跑步过程的前提下，便可与系统进行自然地交互，提升了跑步机的使用趣味性。设计并开发了一种支持上述自然交互协议的虚拟跑步机系统，实现了菜单控制、音乐切换等功能，带给用户一种全新的室内运动体验。系统开发过程中，使用了路径生成、场景特效、碰撞检测及避免等算法，选择了 OSG 和 Unity3D 两种方式作为图形渲染库，分别创建了逼真的虚拟场景。此外，还实现了一个基于跑步机的串口通信插件，通过该插件，将跑步机采集到的运动数据传至系统中，控制三维虚拟场景的漫游速度。

下一步工作将重点围绕沉浸性提升、渲染质量提升、交互效果扩充等方面展开。如用体感设备, 实现对多场景和多虚拟人角色的切换以及对 Unity3D 构建的场景的人称视角的切换; 提供多路径的虚拟人竞赛运动模式等。

参考文献:

- [1] 王磊. 家用跑步机消费者行为调查及锻炼坚持研究[D]. 曲阜师范大学, 2014.
Wang L. Consumer Behavior Survey and Exercise Sticking on Family Treadmill[D]. Qufu Normal University, 2014.
- [2] 尤志鹏, 赵斌. 基于跑步机上激励机制的设计研究[J]. 留学生, 2015, 1X: 156.
You Z, Zhao B. Design and Research on Incentive Mechanism of Treadmill[J]. Overseas Students, 2015, 1X: 156.
- [3] 李永青. 虚拟网络马拉松系统中关键技术的研究[D]. 浙江大学, 2008.
Li Y. Study of Key Techniques in Virtual Network Marathon[D]. Zhejiang University, 2008.
- [4] Pan Z, Xu W, Huang J, et al. Easybowling: a Small Bowling Machine Based on Virtual Simulation[J]. Computers & Graphics (S0097-8493), 2003, 27(2): 231-238.
- [5] Brogan D C, Metoyer R A, Hodgins J K. Dynamically Simulated Characters in Virtual Environments [J]. IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716), 1998, 18(5): 58-69.
- [6] Microsoft C. Microsoft Kinect for windows [EB/OL]. [2014]. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindowsdev/start.aspx>.
- [7] 李春丽, 窦少兵, 杨先军, 等. 智能跑步机上虚拟场景的设计与实现[J]. 仪表技术, 2012, 9: 46-48.
Li C, Dou S, Yang X, et al. Design and Implementation of an Intelligent Treadmill Based on Virtual Scene[J]. Instrumentation Technology, 2012, 9: 46-48.
- [8] 钱克宠, 胡维华. 虚拟现实技术在跑步机中的设计与实现[J]. 计算机仿真, 2009, 26(5): 259-261, 270.
Qian K, Hu W. Design and Implementation of a Treadmill Based on Virtual Reality[J]. Computer Simulation, 2009, 26(5): 259-261, 270.
- [9] 耿彬. 跑步机体感游戏的设计与实现[D]. 湖南大学, 2010.
Geng B. The Design and Implementation of Treadmill Somatosensory Games[D]. Hunan University, 2010.
- [10] 刘派. 体验式阅读——自然交互技术在传统出版领域的应用研究[J]. 科技与出版, 2014, 12: 104-107.
Liu P. Experiential Reading: Application of Natural Interaction in Field of Traditional Publication[J]. Science Technology and Publication, 2014, 12: 104-107.
- [11] Wang R, Qian X. OpenSceneGraph 3 Cookbook[M]. Packt Publishing Ltd, 2012.
- [12] Fernando R. GPU Gems: Programming Techniques, Tips and Tricks for Real-Time Graphics[M]. Pearson Higher Education, 2004.
- [13] 王正强. VC 中应用 MSComm 控件实现串口通信[J]. 电子测试, 2010, 5: 73-76.
Wang Z. Realization of Serial Port Communication by MSComm Control in the VC Environment[J]. Electronic Test, 2010, 5: 73-76.
- [14] 刘骏, 颜钢锋. 基于 Socket 的网络编程技术及其实现[J]. 江南大学学报, 2004, 3: 249-251.
Liu J, Yan G. Network Programming Technique and Its Realization Based on Socket[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2004, 3: 249-251.
- [15] 申闫春, 朱幼虹, 曹莉, 等. 基于 OSG 的三维仿真平台的设计与实现[J]. 计算机仿真, 2007, 24(6): 207-211.
Shen Y, Zhu Y, Cao L, et al. Design and Implementation of 3D Simulation Platform Based on OSG [J]. Computer Simulation, 2007, 24(6): 207-211.
- [16] 吴志达. 一个基于 Unity3D 游戏引擎的体感游戏研究与实现[D]. 中山大学, 2012.
Wu Z. Research and Implementation of a Somatic Game Based on the Unity3D Game Engine[D]. Zhongshan University, 2012.