

6-6-2020

Application of Virtual Reality in PLC Gas-fired Boiler Training System

Dahu Wang

School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

Chen Xia

School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

Huizheng Gao

School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, 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.

Application of Virtual Reality in PLC Gas-fired Boiler Training System

Abstract

Abstract: In view of the problem that traditional training methods for PLC debugging can not show the running states of controlled objects in full angles, a PLC virtual simulation training platform is designed based on virtual reality technology. *The system is composed of upper computer and lower computer connected by RS232 bus. The upper computer uses 3ds Max to model and render facilities, and uses Unity3D to construct the complete virtual scene. The lower computer designs PLC control board to control the virtual gas-fired boiler, which transmits data between PLC and virtual scene through the communication module.* The test result indicates that the system operates successfully. The learners can write and debug programs safely and efficiently. What's more, they can directly feel the processes similar to production sites, which improves training efficiency, shortens training cycle and reduces the cost of same degree training.

Keywords

virtual reality, PLC, training system, gas-fired boiler, Unity3D

Recommended Citation

Wang Dahu, Chen Xia, Gao Huizheng. Application of Virtual Reality in PLC Gas-fired Boiler Training System[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(12): 3010-3015.

虚拟现实技术在 PLC 燃气锅炉培训系统中的应用

王大虎, 陈侠, 高会争

(河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003)

摘要: 针对 PLC 调试传统培训方式不能多方位展现被控对象运行状态的问题, 以典型的控制对象燃气锅炉为例, 基于虚拟现实技术开发了一个 PLC 虚拟仿真培训系统。系统由上位机和下位机组成, 通过 RS232 数据总线连接。上位机采用 3ds Max 对设备装置进行建模、渲染, 在 Unity3D 中构建完整地虚拟场景。下位机以 PLC 为控制核心设计控制板, 利用通信接口模块实现 PLC 与虚拟场景之间的数据传输, 完成对虚拟锅炉的控制。经测试系统可正常运行, 学员能够安全高效地编程并进行调试, 了解和生产现场相似的工艺流程, 提高培训效率, 缩短培训周期, 减少培训成本, 具有较高的经济性和安全性。

关键词: 虚拟现实; PLC; 培训系统; 燃气锅炉; Unity3D

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 12-3010-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712010

Application of Virtual Reality in PLC Gas-fired Boiler Training System

Wang Dahu, Chen Xia, Gao Huizheng

(School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: In view of the problem that traditional training methods for PLC debugging can not show the running states of controlled objects in full angles, a PLC virtual simulation training platform is designed based on virtual reality technology. The system is composed of upper computer and lower computer connected by RS232 bus. The upper computer uses 3ds Max to model and render facilities, and uses Unity3D to construct the complete virtual scene. The lower computer designs PLC control board to control the virtual gas-fired boiler, which transmits data between PLC and virtual scene through the communication module. The test result indicates that the system operates successfully. The learners can write and debug programs safely and efficiently. What's more, they can directly feel the processes similar to production sites, which improves training efficiency, shortens training cycle and reduces the cost of same degree training.

Keywords: virtual reality; PLC; training system; gas-fired boiler; Unity3D

引言

随着科学技术的不断发展, 可编程控制器

(Programmable Logic Controller, PLC)已广泛应用于各个控制领域^[1]。值得注意的是程序调试环节在 PLC 控制系统的设计与应用中至关重要。目前, PLC 调试的传统培训方式主要有 3 种: ①利用 PLC 编程软件自带的仿真调试功能模块来调试程序。学员编程后通过观察输入输出端口指示灯的状态来验证程序。因为缺少实际被控对象, 学员无法多方



收稿日期: 2016-04-14 修回日期: 2016-07-14;
基金项目: 国家自然科学基金(U1404612);
作者简介: 王大虎(1969-), 男, 江苏徐州, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实技术、测量仪器与仪表;
陈侠(1990-), 女, 河南焦作, 硕士, 研究方向为虚拟现实技术与 PLC。

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

• 3010 •

位观察系统的运行状态, 培训效果差。②现场实操, 直接在实际控制系统中调试程序, 效果显著。但具有很大的危险性, 倘若硬件设施不完备, 培训将不能正常开展。③目前已有不少 PLC 专用实验平台, 如韩国科技大学 Yoon Sang Kim^[2]提出的基于虚拟交互 PLC 的虚拟传感器和执行器的培训系统, 韩国亚洲大学 Chang Mok Park^[3]等人设计的虚拟 PLC 可视化仿真系统, 黄永飞^[4]提出的面向自动化生产线运行的虚拟 PLC 控制系统。这些平台控制模式多样, 但费用较高, 不便于更新设备, 需请专业人员进行维护^[5]。

针对 PLC 调试传统培训方式存在的问题, 基于虚拟现实技术设计了基于 Unity3D 的 PLC 燃气锅炉培训系统。该系统利用三维模型搭建、三维动画驱动、通信接口设计等技术为学员设计了一个直观、经济、安全、高效的 PLC 程序调试环境, 成本低、易维护、可扩展性强。学员可以实时编写程序并进行调试, 动态分析被控对象的运行状态。以锅炉现场环境音效为背景, 增强现场体验感, 激发学习兴趣, 提高培训效率, 同时人身安全也得到保障。此外, 避免了设备的损坏, 降低同程度下的培训成本。

1 仿真培训系统总体框架

1.1 虚拟现实技术

虚拟现实(Virtual Reality)又称灵境技术, 是一种计算机图形交互技术。VR 具有模拟性、沉浸性、交互性和构想性等特征, 利用计算机等技术模拟现实三维空间, 让用户从视觉、听觉、触觉等多方面感受虚拟场景^[6-7]。例如本系统中的上位机虚拟燃气锅炉, 利用动态环境建模技术、实时三维图形生成技术、立体显示和虚拟传感器技术、系统集成技术以及三维交互设计等来完成虚拟系统的构建。

1.2 系统总体设计

PLC 燃气锅炉虚拟仿真培训系统主要由上位机和下位机组成, 系统整体设计框图如图 1 所示。

Unity3D 具有方便的可视化创作环境, 提供渲染引擎、背景音效、脚本引擎等功能, 兼容多种操作系统, 故上位机采用 Unity3D 构建 PC 机虚拟场景, 模拟实际工艺流程。下位机包括控制板、PLC、通信接口模块。通信接口模块主要是虚拟现实数据接口, 本系统利用单片机来完成 PLC 与计算机之间数据的转换与传输。具体的数据流图如图 2 所示。控制板发出真实控制信号, PLC 对信号进行采集并经由通信接口模块传送给 PC 机虚拟场景。Unity3D 虚拟场景根据接收到的虚拟控制信号来模拟实际设备的运行效果。运行过程中, 温度、压力、氧等虚拟传感器的信号经通信接口模块传送给 PLC。PLC 接收到信号后检测虚拟设备的运行情况并发出控制信号进行相应调整, 实现虚拟锅炉系统的正常运行。

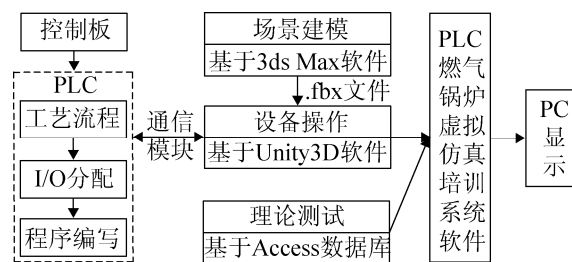


图 1 系统整体设计框图

Fig. 1 System overall design diagram

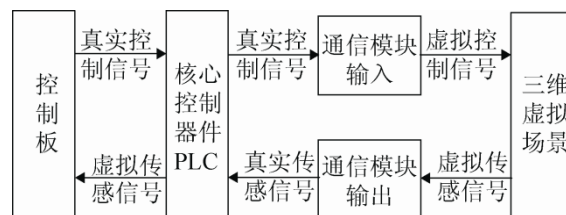


图 2 数据流图

Fig. 2 Data flow diagram

2 上位机开发

2.1 三维建模

三维建模是构建整个虚拟现实系统的基础, 主要有三维视觉建模和三维听觉建模。三维视觉建模主要包括几何建模、运动建模、物理建模、对象行为建模、模型分割等方法。本系统主要使用几何建

模和物理建模来创建模型。3ds Max、Pro/E、UG、SolidWorks 等是常用的建模软件,其中 3ds Max 软件运行流畅操作简便,模型制作容易上手,故使用 3ds Max 进行建模。为使模型更逼真,需到工艺现场搜集设备照片、尺寸大小等相关材料作为建模标准^[8-9]。如图 3 为燃烧器和传感器模型。

为提高用户体验,现已有很多热门的 VR 技术可以优化模型,如着重提高实时性的细节层次技术、模型简化技术等,着重提高真实感的纹理映射技术、光照阴影生成技术等,着重提高交互性的自由度技术。本系统主要采用以下三种技术来优化模型:(1)细节层次技术 LOD(Level of Detail),在不同层次、视觉条件下为每个设备创建不同细节程度的模型。视点远离时调用相对简单的模型,视点靠近时调用复杂模型。以此方式平衡真实度和流畅性,提高虚拟场景的实时性。(2)模型简化技术,建模过程中在不影响整体效果的情况下尽量减少模型面数,删除看不见的面和重叠的面,另外尽量减少运用布尔命令以减少面的个数,避免计算错误^[7]。(3)纹理映射技术,使用 PS 技术处理现场采集的照片并赋给模型,提高细节水平和真实度的同时又减少了多边形数量,达到简化模型的目的。模型优化处理后进行烘焙渲染,并以“.fbx”格式导出。

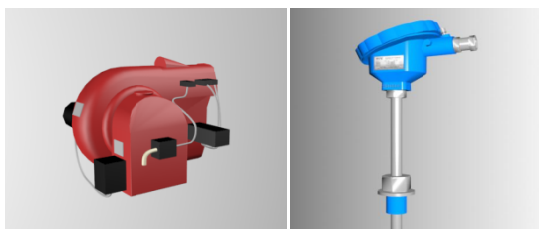


图 3 燃烧器和传感器模型
Fig. 3 Burner and sensor model

2.2 交互开发

在 VR 场景中,仅建立静态模型是远远不够的。为了达到更好的培训效果,需为 PLC 虚拟燃气锅炉系统开发交互功能。

碰撞检测(Collision Object)是对象与对象之间碰撞的一种识别技术,例如人不能穿墙而入,否则

便与现实生活相悖。添加多方位相机切换视角以便学员从多个视角观察虚拟视景。为了避免相机随鼠标晃动导致视角不便于控制,特添加 UserInput 模块,并将其连接到 ExpressionValue 模块下面。Unity3D 中三维模型的平移、旋转、缩放等运动都继承自 Component 的 Transform 类。利用 Transform 组件下的 Parent 变量、Translate 和 Rotate 函数实现模型的移动、旋转等运动,将“死”模型变“活”^[10]。

然而,类似水、火焰等无规则物体,常规建模方法则效果不佳,可利用粒子发射系统 Particle System 实现。通过 Particle System 通道为粒子添加合适的参数、材质、贴图。通过 ReceiveData 和 DealData 判断缓冲区的数据后,在物体数据顶点循环发射粒子。为了增强沉浸感,将燃气锅炉现场采集到的声音以 3Dsound 的形式导入 Unity3D 中。系统根据漫游摄像机的 Audio listener 和声源之间的相对位置调节各声道的音频大小来模拟燃气锅炉现场的声音。

设计 PC 机虚拟场景通信接口时利用 C#命名空间 System.IO.Ports 中的 SerialPort 类来接收数据^[9-11]。在 Start 函数中实例化一个 SerialPort 类 sp 串口,并设置串口号为 COM2、波特率为 9600、数据位为 8、校验位为 IO.Ports.Parity.None、停止位为 IO.Ports.StopBits.One,和下位机串口保持一致^[12-13]。然后通过 Thread 函数开启 RecData 线程接收数据帧。在 RecData 线程内通过 sp 的 Read 函数循环读取缓冲区数据,并把结果传送给数组 buf 判定。buf 长度为 0 则直接返回,不为 0 则将数据赋予 UserData。Unity3D 按照 UserData 的数值控制虚拟锅炉的运行。在系统退出时利用 Close 函数关闭串口,以免下次启动时无法打开串口。PC 机虚拟场景串口通信部分程序和关闭串口程序如下:

```

/*****串口通信部分程序*****/
void Start(){
    sp=new    SerialPort("COM2",    9600,
    Parity.None, 8, StopBits.One);
    sp.Open();//开启串口

```



```

    _thPort = new Thread(RecData);
    _thPort.Start();
    /*****关闭串口*****/
void OnApplicationQuit(){
    sp.Close();
//SerialPortThread.Abort();//终止进程}

```

2.3 理论测试模块

理论测试模块主要功能是测试学员对 PLC 和燃气锅炉基础知识的了解程度。用户界面向学员呈现测试内容及结果, Access 数据库负责标识管理员和学员信息、录入试题库、随机抽取试题、展示测试结果。管理员可随时更新试题库, 学员通过自行注册进入培训系统。注册登录后点击“开始测试”, 系统随机抽取试题存储在 selectedQuestionIds 中并形成试卷, 答题结束后, 系统通过和正确答案对比判定成绩。Unity3D 利用命名空间 System.IO 的 FileStream 类执行试卷的读写操作。最后将理论测试模块发布为.exe 文件, 通过 System.Diagnostics 命名空间的 Process 类调用理论测试模块。其中 FileStream 类部分程序如下:

```

/*****FileStream 类程序*****/
using(FileStream writer=new
FileStream(string.Format(@"{0}\{1}.doc",
Application.StartupPath, UsersHelp.loginID),
FileMode.Create, FileAccess.Write)) {
for (int i=0; i < PaperHelper.questionNum; i++){
    writeQuestion(i);
    string str=string.Format("\n{0} 学员答案({1})
    正确答案({2})\n", questions,
    PaperHelper.studentAnswers[i],
    PaperHelper.correctAnswers[i]);
    for (int j=0; j < Options.Length; j++){
        { str+=Options[j] + "\n";}
    byte[] buffer=Encoding.Default.GetBytes(str);
    writer.Write(buffer, 0, buffer.Length);}
}

```

3 下位机开发

下位机开发主要包括控制板、PLC、通信接口模块三部分。控制板由按钮和旋钮组成, PLC 选用性价比高应用广泛的西门子 S7-200CPU224XP。通信模块是 PLC 和 PC 机虚拟设备之间的通信桥梁, 其核心部件选用速度高、功耗低、抗干扰能力强的 STC12C5A60S2 单片机, 通过 RS-232 串口通信完成信息交换^[14]。如图 4 是通信接口模块内部结构图。通信模块主要由信号调理电路和电平转换电路组成。由于 STC12C5A60S2 的串行接口输出 TTL 电平, 与 RS-232 电平不一致, 所以利用集成通讯芯片 MAX232 设计电平转换电路。信号调理电路主要用于 PLC 输入/输出端口的读写操作, 应注意 PLC 的输入/输出点数以及电气特性转换。系统开启后, PLC 采集控制板发出的控制信号, 经单片机数模转换器转换成数字量, 再由输出端口传给 PC 机的虚拟场景, 控制虚拟设备运行。Unity3D 中的虚拟传感信号经电平转换电路转换成 TTL 电平后传送给单片机, 经由通信模块反馈给 PLC, PLC 接收到信号后检测虚拟设备的运行情况并发出控制信号进行相应地调整, 实现系统的闭环控制。单片机通过循环检测 PLC 的输出信号并将数据传给缓冲区, 再通过串口通信将数据送往 PC 机。

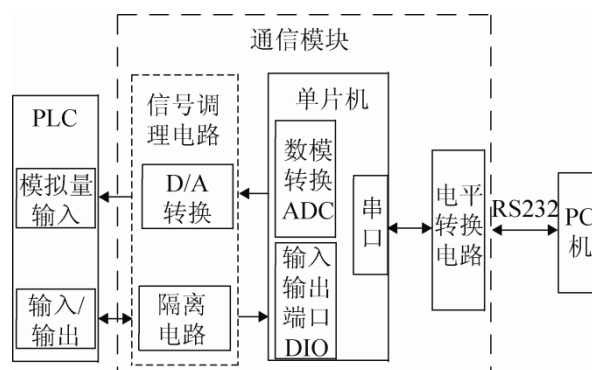


图 4 通信接口模块

Fig. 4 Communication interface module

此外, 程序是设计通信接口模块的重要部分, 主要用来实现 PLC 与单片机之间的数据交换, 可分为主程序模块、通信模块、读 PLC 输出端口模

块、写 PLC 输入端口模块。主程序调用通信模块接收数据，在单片机的控制下将新数据写入 PLC 的输入端。以 10 ms 为一个扫描周期读取 PLC 输出端口，若 PLC 输出端口状态发生改变，将有标志位返回到单片机。主程序将新的状态数据经由通信接口模块传送给 PC 机虚拟设备。通信接口模块的程序设计框图如图 5 所示。

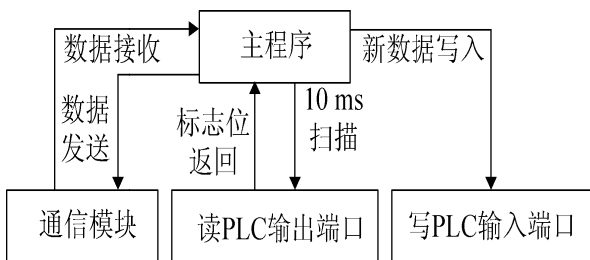


图 5 程序设计框图
Fig. 5 Program design block diagram

4 系统测试

PLC 燃气锅炉虚拟仿真培训系统功能结构如图 6 所示。为验证其可行性，将系统发布成“.exe”格式并运行。系统首先提示学员启动锅炉，若未根据提示进行操作则无法开启锅炉系统。之后学生通过操作板控制虚拟锅炉的运行，锅炉运行中系统会显示锅炉的主要控制参数，如水温、室温、进风量、进气量等。当学生有误操作时，系统会弹出警告提示学生立即按下“紧急停止”按钮。此外，学生可自行编写 PLC 程序并进行调试，通过观察锅炉的执行情况快速准确地验证 PLC 程序。图 7 为启动点火系统的效果图。使用学号登录进入理论测试模块，点击“开始测试”按钮，系统随机抽取 50 道选择题形成试卷，每题 2 分，测试时间为 30 分钟。答题结束后，点击“提交答卷”按钮，测试结束。若规定时间内仍未答完，不能继续作答，考卷自动提交。图 8 为测试试卷以及测试结果，其中测试结果显示本次所得分数以及最近 5 次测试成绩。

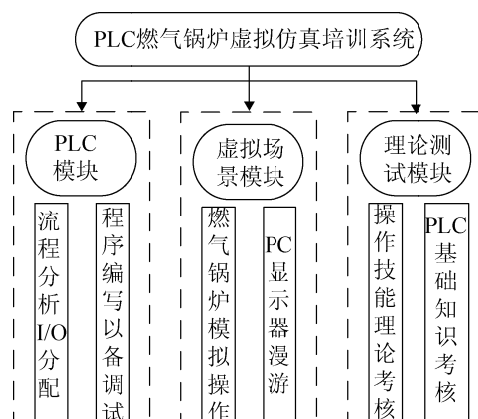


图 6 系统功能结构图
Fig. 6 System function structure diagram

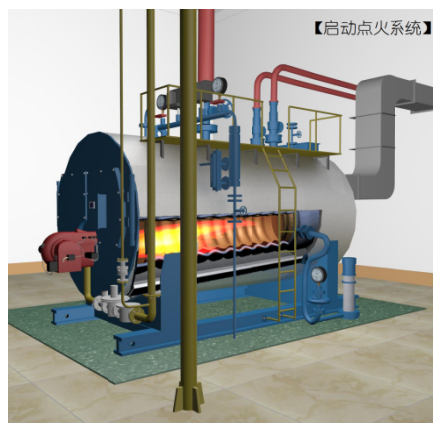


图 7 点火效果图
Fig. 7 Ignition effect diagram

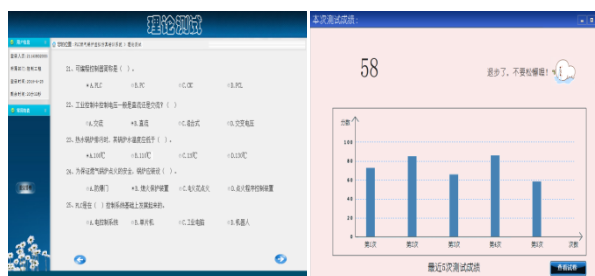


图 8 测试试卷和测试结果
Fig. 8 Test papers and test results

5 结论

测试结果表明，基于 Unity3D 的 PLC 燃气锅炉虚拟仿真培训系统运行流畅，为培训学员提供了一个直观、经济、安全、高效的环境。通过该系统学员可以实时地编写并调试程序，动态分析燃气锅炉的运行状态，了解其工艺流程。配合真实的环境音效，增强沉浸感，激发学习兴趣，提高学习效率。

同时减少了同程度下的培训费用, 避免了现场实操的设备损坏和安全隐患, 具有较高的经济性和安全性。进一步改善系统, 利用以太网技术使其实现远程实验^[14-15,21]的功能, 只要能联网的地方学员均能进行培训, 充分利用资源。利用先进的 3D 投影技术进行三维立体化展示虚拟场景, 增强沉浸感。实现智能化, 在培训中自动记录学员练习过程, 根据学习情况自动调整培训进度以及培训内容。

参考文献:

- [1] C M Park, Kwan Hee Han, S C Park. Architecture for modeling, simulation, and execution of PLC based manufacturing system[C]//Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conferenc, 2008.
- [2] Yoon Sang Kim, Hak-Man Kim. Design of a New Virtual Interaction Based PLC Training Using Virtual Sensors and Actuators: System and Its Application[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks (S1550-1477), 2013, 9(7): 155-163.
- [3] Sang C Park, Chang Mok Park, Gi-Nam Wang. A PLC programming environment based on a virtual plant[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (S0268-3768), 2008, 39(11): 1262-1270.
- [4] 黄永飞. 面向三维虚拟生产线的 PLC 仿真控制[D]. 广州: 广东工业大学, 2014.
Huang Yongfei. PLC Simulation Control towards 3D Virtual Production Line[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2014.
- [5] 曾洋. PLC 仿真实验平台研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2011.
Zeng Yang. Research of PLC Simulation Platform[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2011.
- [6] 李强, 宓超, 王晨星, 等. 基于虚拟现实技术的沉浸式 PLC 控制程序的半实物仿真系统[J]. 中国工程机械学报, 2013, 11(1): 41-45.
Li Qiang, Mi Chao, Wang Chenxing, et al. Virtual-reality-enabled semi-physical simulation system for immersive PLC control programming[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2013, 11(1): 41-45.
- [7] 白鹤原, 查小菲. 基于 OSG 的煤矿培训系统的设计[J]. 中国科技博览, 2011(3): 62-63.
Bai Heyuan, Cha Xiaofei. Design of coal mine training system based on OSG[J]. China Science and Technology Expo Journal, 2011(3): 62-63.
- [8] 罗陆锋, 孙爽, 李国琴, 等. 基于 Open Inventor 的虚拟数控培训系统开发[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(19): 4556-4559.
Luo Lufeng, Sun Suang, Li Guoqin, et al. Development of virtual numerical control training system based on open inventor[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(19): 4556-4559.
- [9] 王大虎, 刘海洋, 王敬冲. 基于虚拟现实的采煤机培训系统开发[J]. 计算机仿真, 2015, 32(6): 262-265.
Wang Dahu, Liu Haiyang, Wang Jingchong. Development of Shearer Training System Based on Virtual Reality[J]. Computer Simulation, 2015, 32(6): 262-265.
- [10] 王玉华, 杨克俭, 曾梅兰. 面向对象技术在三维虚拟场景建模中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2003, 27(1): 38-39.
Wang Yuhua, Yang Kejian, Zeng Meilan. Application of Object oriented to 3D Scenery Modeling[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering), 2003, 27(1): 38-39.
- [11] 张利利, 李仁义, 李晓京, 等. Unity3d 与数据库通信方法的研究[J]. 计算机技术与发展. 2014, 24(3): 229-232.
Zhang Lili, Li Renyi, Li Xiaojing, et al. Research on Communication Method between Unity3D and Database[J]. Computer Technology and Development, 2014, 24(3): 229-232.
- [12] 王大虎, 史艳楠, 陈文博. 基于 Quest3D 的煤矿副井提升机虚拟实操系统的开发[J]. 制造业自动化, 2014, 36(9): 114-117.
Wang Dahu, Shi Yannan, Chen Wenbo. Development on the virtual operation system of mine hoist based on Quest3D[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(9): 114-117.
- [13] 王敬冲, 王大虎, 刘海洋. 虚拟仿真在 PLC 配料控制系统教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(9): 75-78.
Wang Jingchong, Wang Dahu, Liu Haiyang. Virtual Simulation of PLC Ingredient Control System[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(9): 75-78.
- [14] 吴益宇, 李佳亮, 张迎辉. 西门子的 PLC 远程在线访问实验室[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2011(3): 61-64.
Wu Yiyu, Li Jialiang, Zhang Yinghui. Siemens PLC Remote Online Access Laboratory[J]. Programmable Controller & Factory Automation, 2011(3): 61-64.