

文章编号:1005-0523(2018)05-0135-08

# 基于 Unity3D 虚实结合的铁道单车制动实验培训系统

肖乾,韩瑞,刘行,龚嘉俊

(华东交通大学载运工具与装备教育部重点实验室,江西 南昌 330013)

**摘要:**针对传统的单车制动实验训练效率低、周期长、成本高等问题,设计研发了一种基于 Unity3D 引擎的虚实结合式的单车制动培训系统。该系统以 C64 单车为对象,采用 Maya 软件建模,使用 NGUI、DoTween 动画、C# 等插件和脚本语言创建三维虚拟交互环境,同时利用单片机技术,串口通讯技术等实现了以模拟单车试验器和制动实验仿真为核心的虚实结合单车制动实验培训系统。结果表明,相比传统的单车制动实验训练方式,该系统具有良好的操作便利性和学习高效性,能够满足广大用户对单车制动实验训练的需要。

**关键词:**单车制动实验;虚实结合;Unity3D;NGUI;培训系统

**中图分类号:**TP391.9

**文献标志码:**A

单车制动试验是铁道车辆检修的常规试验,客车、货车种类繁多,制动系统又不断发展,投入实训设备不仅耗费大、周期长,还极易过时。有鉴于此,设计研发的虚实结合单车制动实验培训系统成为当下工作人员学习制动操作实验的一种有效方式。相比传统基于 PC 端生硬的鼠键控制系统,虚实结合单车制动实验以其操作便利性、较高的仿真性和学习高效性,更适合普通操作人员掌握单车制动试验技术,可以有效保证操作人员对车辆制动效果的准确把握。

虚拟现实(VR)培训技术在国内外正快速的发展,很多高校和企业认识到虚拟现实培训设备带来的经济和便利,Gurusamy 等<sup>[1]</sup>根据实验案例以及数据统计得出 VR 技术在外科培训上安全高效的优点,Kashiwa<sup>[2]</sup>也从核电站的虚拟现实培训系统上证明了 VR 技术的安全方便。在轨道车辆方面,陈志文等<sup>[3]</sup>研究实现了地铁车辆与环境虚拟现实仿真系统,马然<sup>[4]</sup>设计开发了现代轨道交通虚拟仿真实验教学中心设备,杨颜志<sup>[5]</sup>通过 Vega 完成了铁道车辆舒适性虚拟试验仿真。

Unity3D 是由 Unity technologies 公司开发的一个应用于三维视频游戏、建筑可视化、实时三维动画等类型互动内容的多平台综合性游戏开发工具,大大提高了虚拟现实系统的开发效率。Unity3D 有以下三个优点:① 它可以多平台发布;② 它支持 C#,Java,Python 等三种脚本语言兼容各种操作系统;③ 它具有各种各样的渲染效果可以让搭建的环境更加逼真。本文提出的一种基于 Unity3D 虚实结合单车制动实验培训系统设计,通过场景建模、虚实交互、实物模拟、脚本优化,验证了该实验系统的可靠性和实用性。

## 1 系统设计

### 1.1 总体架构

虚实结合单车制动实验系统的总体结构能够为用户提供实验步骤和操作方法的相关内容,并对实验系统运行中可能存在的一些信号交互顺序,点击触发事件执行等问题进行必要的阐述<sup>[6]</sup>,方便用户了解和使用

收稿日期:2018-05-02

基金项目:国家自然科学基金(51565013);江西省杰出青年人才资助计划(20171BCB23058)

作者简介:肖乾(1977—),男,教授,博士,博士生导师,研究方向为轮轨关系。

系统。本文创建的虚实结合单车制动实验系统主要包括用户登录界面(UI)模块、实验仿真交互模块和实验考核模块。其中的UI模块是系统面向用户的入口,以虚拟场景实现和单车试验模拟器为主的实验交互模块是虚实结合实验系统的核心。用户可以在UI界面上进行单车制动实验的选择、高光的配置以及参数的设定,并对选定的实验选择相应的实验工具。进入实验以后,通过鼠键和单车试验模拟器对虚拟实验场景进行管道连接、气密性测试、查漏检查及修复等操作。若完成修复以后进行气密性测试不合格,则重新进行查漏检查及修复作业,直到合格为止,并进入下一个实验。系统将根据用户实验操作时间、查看帮助文档次数和试验后的基础知识考核成绩对用户进行综合实验评价。单车制动实验系统的功能结构框图如图1所示。

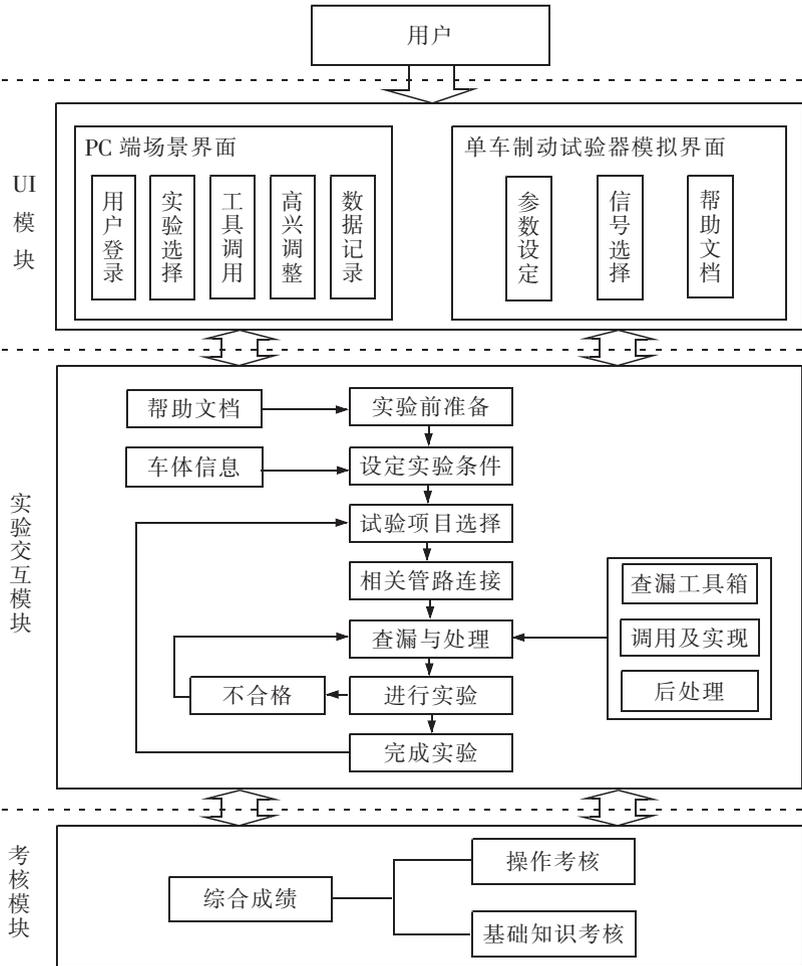


图1 单车制动实验系统图

Fig.1 Railway single car brake experimental system diagram

## 1.2 UI设计

界面是用户与系统进行交流的开端,也是单车制动系统功能多样化、完整化的重要体现。友好的用户界面不但能提高用户的学习兴趣,还能够有效的完成虚实结合实验交互、保证系统培训质量。

NGUI是严格遵循KISS原则并用C#编写的Unity插件,提供强大的UI系统和事件通知框架。它可以直接在编辑器中创建、更新/修改纹理地图集,或从Texture Packer程序导入纹理地图集。当需要编写代码让控件移动时,可以选择简单的例子代码,把你的控件转变为按钮、输入框、基于事件改变颜色、播放声音、触发动画等<sup>[7]</sup>。本文将界面背景图和NGUI相结合,通过AtlasMaker添加新的控件样式和Create工具进行相关功能实现。单车制动实验系统中设置了用户登录、实验选择、工具调用、高光调整等主要界面,同时配合了单车试验模拟器中的参数设定、信号选择等UI功能。如图2所示为系统设计的登陆界面和实验选择界面。



图 2 登录界面和实验选择界面设计

Fig.2 Design of login interface and experimental selection interface

### 1.3 虚实场景交互实现

实验场景交互是整个系统功能实现的关键,它根据实验要求选择合适的模型创建逼真的环境,通过脚本程序、通讯功能、粒子系统、动画插件、物理引擎等技术,实现了虚实单车制动实验的人机交互。

单车制动实验大多数问题会出现在管道泄漏方面,所以需要进行管道接口检查及修复,同时,还要检验管道气密性及灵敏性的优良状况。根据现实实验操作及现象问题的需要,设计虚实结合单车制动实验交互方式和流程,使其最大限度接近实际实验过程。本文通过单车试验模拟器对虚拟实验场景进行实时控制,将制动实验过程分为参数设置、实验选择、工具调用、实验测试、查漏修复、再测试六个阶段,每一个阶段采用不同的实现方式,最终达到完整实验的目的。

用户进入实验交互场景以后,通过单车试验模拟器先对实验进行测试,此时,展现在用户眼前的是模拟器风压表指针发生偏转、显示器显示实验进行中界面,虚拟场景出现充气声、管道膨胀等现象。用户在进行管道检查修复环节时,通过结构观察及使用肥皂水、刷子工具确定泄露位置,并根据管道破坏程度调用修复工具箱实现涂抹油漆、材料更换等交互操作。查漏修复结束后,重新进行实验测试,若试验合格则跳转到实验选择界面进行下一个实验。实验交互过程实现的具体流程如图 3 所示。

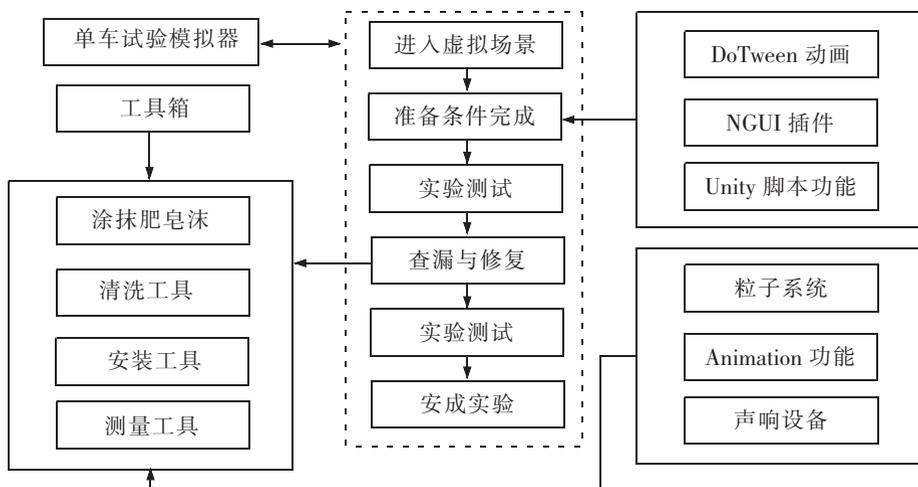


图 3 虚实场景交互实现流程

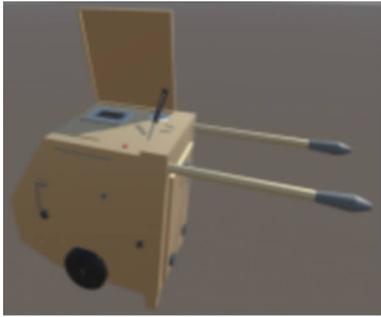
Fig.3 Implementation process of virtual reality scene interaction

## 2 关键技术

### 2.1 模型的建立与导入

本实验需要建立的模型包括厂房、车体、制动系统、单车试验器、查漏修复工具等部分。Unity3D 是一款游戏引擎软件,本身的建模功能比较弱,为了能在虚拟环境中得到逼真的仿真模型,采用一款强大的 Maya

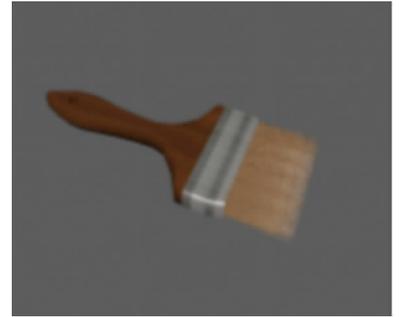
三维建模软件进行建模,通过添加材质和渲染操作后,导出 Unity3D 能兼容的.FBX 格式模型<sup>[8]</sup>。需要注意的是,为了方便并减少 Unity3D 实现交互功能的工作量,导出之前,调整好模型各个部分的坐标位置及尺寸大小,规范的模型布局有利于场景交互的完美实现。实验中需要的相关辅助模型有单车试验器、传感器、刷子、软管堵、刻度尺等一并同车体、制动系统导入 Unity3D 场景。针对许多工具方便使用和功能的实现,建立一个 UI 工具箱,通过 NGUI 插件、粒子特效、DoTween 动画、脚本控制等完成工具有序的调用及其相关功能的实现。部分实验模型如图 4 所示。



(a) 单车试验器



(b) 软管堵



(c) 毛刷

图 4 实验辅助模型

Fig.4 Experimental auxiliary model

## 2.2 射线触发

单车制动实验过程中,为了顺利实现交互功能,必然会出现点击虚拟模型及时执行相应的操作。点击折角塞门,折角塞门会自动关闭;点击软管端口,软管端口将弹出 UI 界面并添加软管堵;点击车体转向架,转向架会高光显示同时显示出名称。针对这种情况,本文使用射线触发来完成交互的连贯性。

所谓“射线触发”是指获取鼠标光标的坐标,从 Main Camera 到光标的坐标处发出一条无终点射线<sup>[9]</sup>,在发射轨迹中与其他物体发生碰撞时,它将停止发射<sup>[10]</sup>,并用 `hit.collider.gameObject.tag` 判断碰撞的对象是否是所选物体,如果是,则执行相关的操作。本实验中创建一条 Camera 射线的方法是 `Camera.main.ScreenPointToRay (Input.mousePosition)`, `Input.mousePosition` 表示由主摄像头沿着光标位置方向发射出射线。以软管堵安装为例,具体的实现流程如图 5 所示。

## 2.3 动画效果

为了提高实验的真实感与可视化,场景中需要建立一些动画代替动作的执行和完成实验的需要。Unity3D 中实现动画的方式有两种:程序控制和动画插件。使用脚本程序控制动画按照人们的意愿执行不仅难度较高,而且程序编写效率较低,大大提高了软件开发的成本。插件的使用则

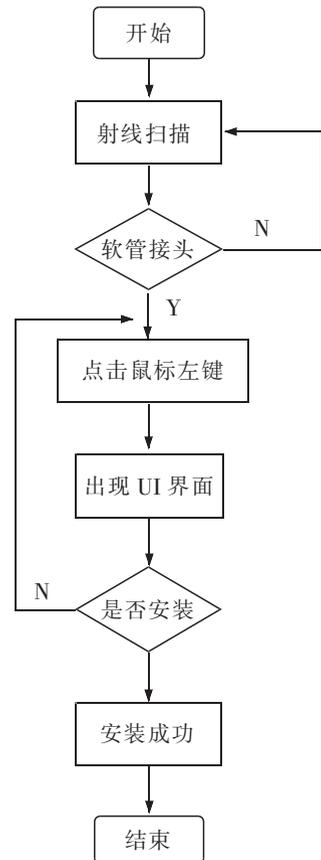


图 5 软管堵安装流程

Fig.5 Hose plug installation process

能较快速的实现必要的动画功能,提高软件开发速度。一般常用的动画插件有 iTween 和 DoTween 动画两种。文章采用 DoTween 动画进行虚拟场景功能的实现。DoTween 动画具有功能强大、操作简单、安全高效的特点。虚拟场景中打开风压箱门的实现方式则可以通过添加 DoTween 插件,只需设置初始和末了的位置,通过一定条件触发 DoTween 动画执行。如果需要实现比较复杂的运动形式,DoTween 插件中的属性可以通过调节二维折线图的形状改变物体的运动方式。同时 DoTweenPath 也是一个专门设置运动路径的插件,根据鼠标点击路径实现相应的运动功能。有些复杂的动画功能 Unity3D 很难实现或者无法实现,文中所述的 Maya 建模软件具有绘制动画动能,Unity3D 中难以实现的动画功能在 Maya 软件中较方便实现,然后将整个骨骼系统和动画片段导入 Unity3D 中并插入动画状态机添加动画即可实现动画效果。

## 2.4 粒子效果

粒子效果可以增加场景特效,提高虚拟试验真实度。单车试验中,泄漏查找一项需要涂抹肥皂沫,根据肥皂沫的运动形式确定泄漏的位置。肥皂沫遇到有力度的气体会膨胀并且破裂,这个现象可以通过粒子特效完成。Unity3D 中粒子系统由 Ellipsoid Particle Emitter (椭圆粒子发射器)、Particle Animator (粒子动画器)、Particle Renderer(粒子渲染器)三个部分所组成<sup>[11]</sup>。椭圆粒子发射器是 Unity 用来生成粒子的组件,该模块定义了粒子随机的或者固定的大小、速度、颜色、生命周期、发射角度等等属性来模拟所需要产生的粒子效果,椭圆粒子发射器的坐标便是粒子初始化的坐标。粒子动画器是将粒子发射器产生的粒子进行二次加工,例如随着时间增加粒子的发射速度,改变粒子的旋转角度,将其颜色不断变化,粒子的放大或者缩小均需要用到该组件。粒子渲染器的主要工作是将粒子效果渲染到场景中,将粒子产生的效果直接显示在输出设备上,让用户直观的看到效果,并且这个组件还可以决定粒子的材质、光影。单车泄漏试验查漏过程中,通过改变粒子的运动速度、运动方向、形状大小和颜色变化等模拟出气泡的膨胀与破裂,增加试验的真实感和实验效果。

## 2.5 单车试验模拟器

虚实结合的特色在于外部单车试验模拟器与虚拟环境进行实时信息交流,从而更加逼真的模拟实现现场,因此对单车试验模拟器制作提出了较高的要求。现实中的单车试验器操作功能主要包括显示器、风压表、旋钮开关等部分,针对这些功能特点,本系统模拟器以 STM32F7 作为控制核心,连接伺服电机、显示器和旋钮开关等部件实现了单车试验器的仿真<sup>[12]</sup>。

显示器界面完全模仿了试验现场界面特点,本部分功能的实现主要是以 STM32F7 处理器和 7 寸触摸液晶显示屏相结合,STM32F7 通过移植的 UCOSIII 实时嵌入式操作系统进行任务调度<sup>[13]</sup>,界面的绘制基于 EMWIN 图形库,通过控制实现显示屏的相关实验内容和实验操作步骤。

由于模拟器不能提供风源,风压表指针的偏转则由安装的伺服舵机控制。模拟器通过 STM32 输出不同的占空比的 PWM 波来控制伺服舵机转动,进而控制风压表指针的偏转<sup>[14]</sup>。旋钮开关与 STM32 的 IO 口相连,STM32 通过扫描的方式读取 IO 电位,从而达到判断旋钮位置的效果。

## 2.6 串口通讯技术

单车试验模拟器与 PC 端虚拟环境的信息交互需要串口来实现。串口通讯的传输距离长、传输速率快,能够很好的满足本实验的实时性和稳定性的要求。串口通讯程序是基于 Visual Studio 2017 开发环境,利用 C# 语言编写,并发挥了 C# 的简单、稳定、优雅的优点,使通讯模块非常稳定<sup>[15]</sup>。本试验系统通过串口通讯方式,虚实两大部分的信息实时交流。整个系统中信息的传递路线如图 6 所示。

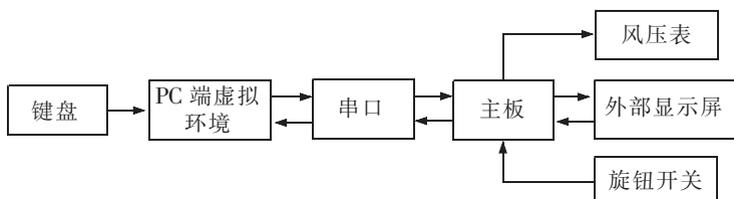


图 6 信息传递路线

Fig.6 Information transmission route

所谓虚实环境信息的传递,实质上是将单车试验模拟器触发的信号通过无线串口传递到PC端记事本上存放,然后虚拟环境进行选择读取,反之亦然,其PC端接收信号的主要代码如下

```
private void sp1_DataReceived1(object sender,
SerialDataReceivedEventArgs e)
{
try
{
this.Invoke((EventHandler)(delegate
{
//接收数据
string serialReadString;
serialReadString = sp1.ReadExisting();
}));
}
catch (Exception)
{
}
}
```

## 2.7 性能优化

Unity3D项目想要顺利运行,完美的展现场景细节内容,项目性能优化起到关键作用。对于本系统,主要从内存方面进行优化。

通过内存优化,可以有效地提高内存利用率,减少内存碎片和占用空间,提升系统性能。内存优化的方式有程序优化和资源优化两个部分。程序优化集中在程序代码段、托管堆和本机堆三种内存上。其主要思想是,在场景运行中尽早将不需要的引用清理掉,同时对将要引用的对象建立可重用对象池<sup>[6]</sup>,这样可以释放更多的空间,达到优化性能的目的。资源优化主要是对场景中的图片及模型优化,Unity3D自带的图片整合功能可以将许多图片整合到一张图集上,大大降低了内存的占用。模型优化主要针对模型网格划分,在不影响体验效果的前提下,精简的网格划分同样能降低内存的占用。

良好的脚本程序功能应具有简洁性、高效性和稳定性。因此优化脚本程序方法对于提高系统性能起着重要的作用。Unity3D场景功能实现的程序方法优化前人已经详细地总结过,在此不再赘述。本系统由于虚实两个环境的问题,外部单车试验模拟器输出的信号并非能被虚拟环境及时检测并执行,影响系统性能。为了能准确并高效的监听外部信号,调整脚本功能,显示屏经触发后连续输出3个相同的信号到PC端,大大提高执行效率,完善了系统功能。

## 3 系统实现

### 3.1 软硬件开发环境

本文设计的虚实结合单车制动试验系统包括硬件与软件两个部分。硬件开发环境为keil uvision5。软件开发环境为:64位操作系统Windows7;英特尔Core i7-7700K@4.2GHz四核处理器;AUS27AF VG278显示器;Nvidia GeForce GTX 1080显卡;32GB安装内存(RAM)。

### 3.2 系统发布

虚实单车制动实验系统所有功能完成以后,需要软硬件运行进行整体调试,以发现系统存在的问题并提出修改方案,为最后的发布使用做准备。系统调试主要针对以下5个方面开展:①虚实部分信号传递是否及时准确;②不同的场景UI界面弹出是否恰当;③冲风现象与软管特效是否成功显示;④工具箱调用是否恰当,工具使用是否合理;⑤系统运行的流畅性、实用性是否符合要求。

优化调试完成后,将软件系统通过 Unity3D 菜单栏 File-Build Settings-Add Open Scenes-Build 流程导出,如图 7 所示,生成最终的虚拟仿真试验系统。同硬件部分结合的单车制动试验系统运行时交互场景如图 8 所示。

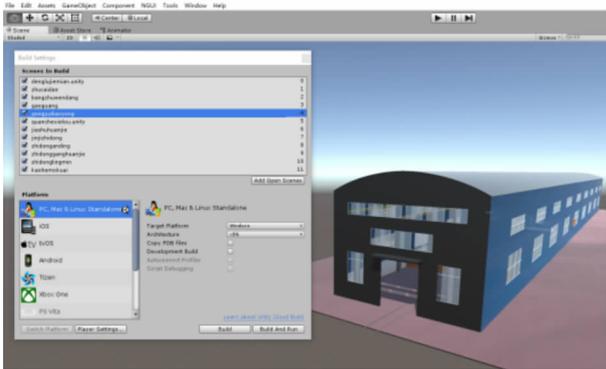


图 7 系统发布方式  
Fig.7 System release mode



图 8 虚实场景交互  
Fig.8 Virtual reality scene interaction

## 4 结束语

基于Unity3D 虚实结合的铁道单车制动实验培训系统,以现场真实试验操作为目标,从三维模型建立、UI 界面制作、交互功能实现、单车试验器制作、串口通讯等方面完成了实验系统的开发,实现了测试、检查修复等主要功能。结果表明,本系统各项功能指标均符合实际操作要求,具有界面友好、操作简单、携带方便、实用性强等优点。下一步可在扩大实验项目,创新功能实现方法等方面继续深入开发。

文献[1]改为“”

## 参考文献:

- [1] GURUSAMY K, AGGARWAL R, DAVIDSON B R. Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery[J]. British Journal of Surgery, 2010, 95(9): 1088-1097.
- [2] KASHIWA K I, MITANI T, TEZUKA T, et al. Development of machine-maintenance training system in virtual environment[C]// IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1995. Ro-Man'95 Tokyo, Proceedings. IEEE, 1995: 295-300.
- [3] 陈志文. 地铁车辆与环境虚拟现实仿真研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2016.
- [4] 马然, 马军, 周连佳, 等. 现代轨道交通虚拟仿真实验教学中心建设[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(10): 215-218.
- [5] 杨颜志. 铁道车辆舒适性虚拟试验技术的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [6] 杨壹斌, 李敏, 解鸿文. 基于 Unity3D 的桌面式虚拟维修训练系统[J]. 计算机应用, 2016, 36(s2): 125-128.
- [7] 何高奇, 杨凯林, 金祎, 等. 基于 Unity3D 的能源站交互展示技术研究[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(10): 2626-2631.
- [8] 杨雪松. 基于 Unity3D 的发动机虚拟拆装系统研究[J]. 机械, 2016, 43(1): 32-35.
- [9] 韩桂明, 周凌, 赵志鹏. 基于 Unity3D 的房间仿真技术[J]. 电子测试, 2014(11): 49-51.
- [10] 谢吉刚. 基于 Unity 3D 的第三人称摄像机被遮挡的处理[J]. 电子测试, 2016(21): 71-72.
- [11] 谢韬. 基于 Unity3D 粒子系统的游戏特效实现[J]. 现代计算机, 2015(16): 30-32.
- [12] 张晞, 曾迪晖, 王永立. 基于 STM32 的无刷直流电机控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2013(9): 68-69.
- [13] 林强, 朱威, 王雅杰, 等. 基于 STM32F107 的强震数据采集传输系统设计[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(s2): 80-83.

- [14] 王慧娟,王道波. 一种无人机用小型双余度电动伺服舵机的设计[J]. 微电机,2010,43(3):24-27.
- [15] 吴先亮,刘春生. 基于多线程的串口通信软件的设计与实现[J]. 控制工程,2004,11(2):171-174.
- [16] 刘克,李建方. 基于 Unity3D 的内存优化的研究[J]. 中国传媒大学学报:自然科学版,2016,23(5):56-61.

## Railway Single Car Brake Experiment Training System of Virtual and Reality Combination Based on Unity3D

Xiao Qian, Han Rui, Liu Xing, Gong Jiajun

(Key Laboratory of Vehicle Operation Engineering of the Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of low efficiency, long cycle time and high cost for traditional single car brake experiment training, this paper designed and developed a single car brake training system of virtual and reality combination based on Unity3D engine. Taking C64 single car as the object, by using Maya software to build a model and adopting NGUI, DoTween animation, C # and other plug-ins and scripting languages, it created a three-dimensional virtual interactive environment. Meanwhile, the single-chip technology and the serial communication technology were adopted to establish the single car brake experimental training system of virtual and reality combination with the simulation of a single car tester and brake experiment as the core. The research results show that compared with the traditional single car brake experiment training method, this system has good operation convenience and learning efficiency, which can meet the needs of users for single car brake experiment training.

**Key words:** single car brake experiment; virtual and reality combination; Unity3D; NGUI; training system