

基于 Unity3D 的轨道车辆虚拟设计系统研究

万平¹, 彭俊江², 肖乾³, 周鹏¹

(1. 中车株洲电力机车有限公司大功率交流传动电力机车系统集成国家重点实验室, 湖南 株洲 412001; 2. 株洲国创轨道交通科技有限公司, 湖南 株洲 412001; 3. 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:针对轨道车辆产品设计过程设计周期长、设计效果无法实时动态显示、设计产品不可跨平台联动等问题, 提出基于 Unity3D 虚拟引擎的轨道车辆虚拟设计系统。基于该虚拟设计系统开发实现轨道车辆从总体设计、关键部件结构设计和虚拟拆装到虚拟运行试验的虚拟设计全过程。利用扇形碰撞检测和基于爬山法的 AABB 包围检测法实现高效率、高精度的人机交互操作; 应用模型实例化技术降低系统模型量, 实现轻量化设计; 应用 Ansys 动态链接实现 Unity3D 与 Ansys 跨平台联动。结果表明: 系统实现了轨道车辆低成本、高效率、多样式的设计过程, 且对虚拟现实技术在设计应用提供了参考方向。

关键词: 轨道车辆; Unity3D; 虚拟设计; 跨平台

中图分类号: U270; TP391.9

文献标志码: A

本文引用格式: 万平, 彭俊江, 肖乾, 等. 基于 Unity3D 的轨道车辆虚拟设计系统研究[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(1): 106-112.

Research on Rail Vehicle Virtual Design System Based on Unity3D

Wan Ping¹, Peng Junjiang², Xiao Qian³, Zhou Peng¹

(1. CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., the State Key Laboratory of Heavy Duty AC Drive Electric Locomotive Systems Integration, Zhuzhou 412001, China; 2. Zhuzhou National Innovation Railway Technology Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China; 3. China Key Laboratory of Vehicle Operation Engineering of the Ministry of Education, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at the problems of long design cycle, the inability of real-time dynamic display of design effects and the non-cross-platform linkage of design products in the design process of rail vehicles, a virtual design system for rail vehicles based on Unity3D virtual engine is proposed. Based on this virtual design system, the whole process of virtual design from the overall design, key component structure design, virtual disassembly and assembly to virtual running test is developed and realized. Fan-shaped collision inspection and AABB enclosing detection method based on mountain climbing method are used to realize high-efficiency and high-precision human-computer interaction; the model instantiation technology is applied to reduce the amount of system models and achieve lightweight design; Ansys is used to realize Unity3D and Ansys Platform linkage. The results show that the system realizes the low-cost, high-efficiency, multi-style design process of rail vehicles, and provides a reference direction for the design and application of virtual reality technology.

Key words: rail vehicles; Unity3D; virtual design; cross-platform

Citation format: WAN P, PENG J J, XIAO Q, et al. Research on rail vehicle virtual design system based on Unity3D[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(1): 106-112.

轨道车辆设计为满足差异化要求, 设计时根据功能定义, 设计特定的机械结构布局、内外布局、装饰风格等, 并对设计部件进行有限元分析, 验证部件的合规性。过往的轨道车辆设计周期长, 设计分

收稿日期: 2020-06-07

基金项目: 江西省科技厅重点研发项目(20192BBEL50046)

作者简介: 万平(1994—), 男, 工程师, 研究方向为轨道车辆结构强度, 结构拓扑优化、虚拟现实技术。E-mail: 18684985698@163.com。

通信作者: 肖乾(1977—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为轮轨关系、虚拟现实技术在工业中的应用。E-mail: xqyjs1@163.com。

散,设计效果无法实时动态显示,需要在轨道车辆完成整装后方可系统性浏览轨道车辆的设计效果,再根据其中不合理环节进行改进。重复改进的过程中既浪费了时间,延长了设计周期,同时需要耗费更多的财力和物力,且在可视化、交互、展示效果等方面存在一定的不足。有鉴于此,利用最新的信息技术,开发基于 Unity3D 的轨道车辆虚拟设计系统,弥补其在数字可视化、交互、展示效果等方面存在一定的不足。

查阅文献可知,已有部分专家学者深入研究虚拟现实技术在轨道车辆应用的可行性,并取得了一定的成果。杨岗等^[1]应用 SolidWorks 编辑 CRH1 型转向架三维模型,应用 3D Max 渲染模型,在 Virtools 中编辑脚本实现了 CRH1 转向架的虚拟装配系统。崔林格^[2]应用 CAD 构建轨道车辆模型,通过 VC++2005、OSG 与 QT 结合,应用模块化思想设计了动车组虚拟装配系统。徐娟^[3]应用 Pro/e、UG、Multi Gen Creator 完成虚拟现实建模,以 VisualC++6.0 为开发平台设计开发了铁道车辆虚拟运行仿真系统。江渡等^[4]在 VRML/JAVA 环境下利用 Delphi 开发 GUI 界面,实现了动车组虚拟检修的动态仿真系统。万隆君等^[5]基于 Unity3D 虚拟引擎,设计开发了 HTML 版本的船舶管路装配虚拟仿真系统。金燕等^[6]以 CRH380BL 型车转向架为研究对象,基于 Cult3D 平台,结合 Pro/e、Authorware 完成了 CRH380BL 转向架虚拟检修仿真系统的开发。肖乾^[7]通过使用 NGUI、DoTween 动画、C# 等实现模拟单车试验器和制动试验仿真为核心的虚实结合的单车制动实验培训系统。总结发现目前研究主要考虑应用虚拟现实技术实现轨道车辆的虚拟装配、虚拟检修,对虚拟设计方面应用少。

本文提出虚拟现实技术在轨道交通车辆设计中的应用研究,基于 Unity3D 虚拟引擎平台的沉浸性、交互性、想象性特点,并结合 ANSYS、UM 等有限元、动力学等分析软件,完成对轨道车辆的总体设计、关键部件的设计、虚拟装配和轨道车辆系统性能分析,减少轨道车辆在设计过程中耗费的财力、物力、缩短设计周期,构建数据可视化程度高、交互性强、沉浸感强的轨道车辆虚拟现实设计平台。

1 系统构架

1) 表现层。系统表现层是呈现给用户体验和操

作的窗口,轨道车辆虚拟设计系统是基于 PC 端开发,系统基于 PC 端硬件设备可实现与系统的人机交互、系统的设计效果展示、设计参数的传输以及轨道车辆的在虚拟运行环境的动态模拟。

2) 应用层。系统应用层是设计展示的载体,关于轨道车辆的虚拟设计功能全部在应用层完成,应用层包括车辆总体设计模块、车辆关键部件设计模块、车辆虚拟装配设计模块、车辆虚拟运行环境设计模块。其中车辆总体设计模块中包括司乘界面和乘客界面 2 个子模块,司乘界面的设计对象是电力机车和城轨车辆的司机室,乘客界面的设计对象是城轨车辆和动车组的车厢。车辆关键部件的选型设计对象有车轮、构架、齿轮、车厢地板等。车辆虚拟装配模块中虚拟装配对象包括转向架、受电弓、车钩、机车装配。车辆虚拟运行环境设计模块中包括驾驶设置、视角设置、运行环境、数据显示 3 个功能子模块。

3) 基础层。基础层是支撑系统开发和运行的基础。基础层包括基础支撑环境和数据库 2 个部分,基础支撑环境有 PC 端、Unity3D、Maya、Ansys,数据库包括内容数据库和场景数据库两部分。Unity3D 平台完成场景搭建、关联驱动、模型场景渲染;Maya 完成所有功能模型、场景模型的搭建;Ansys 完成关键部件的强度计算和疲劳计算。内容数据库保存设计信息和用户信息,场景数据库管理设计信息、指导信息和模型信息。系统架构如图 1 所示。

2 系统实现

2.1 模型建立

轨道车辆虚拟设计系统中包括大量模型,如车辆模型、场景模型、辅助模型等,不同模型的功能要求、精度要求存在差异,建模过程中根据不同需求及功能定义,对模型进行分级处理,不同级别的模型选用不同的 3D 建模软件。模型机械结构精度要求高,用于系统结构设计和虚拟拆装模块的模型选用 Pro/e 完成;对仅存在外观要求,内部结构不参与功能展示的场景模型、辅助模型,建模时选用 Maya 完成。为实现模型对实物的真实还原,建模完成后对模型进行贴图纹理处理,进行模型 UV 处理时,为保证模型的虚拟真实度,减少贴图接口区域误差,制作 UV 贴图时选择贴图的纯色区域做无缝处理。贴图时为突显模型物理效果,考虑 Bump Map 和

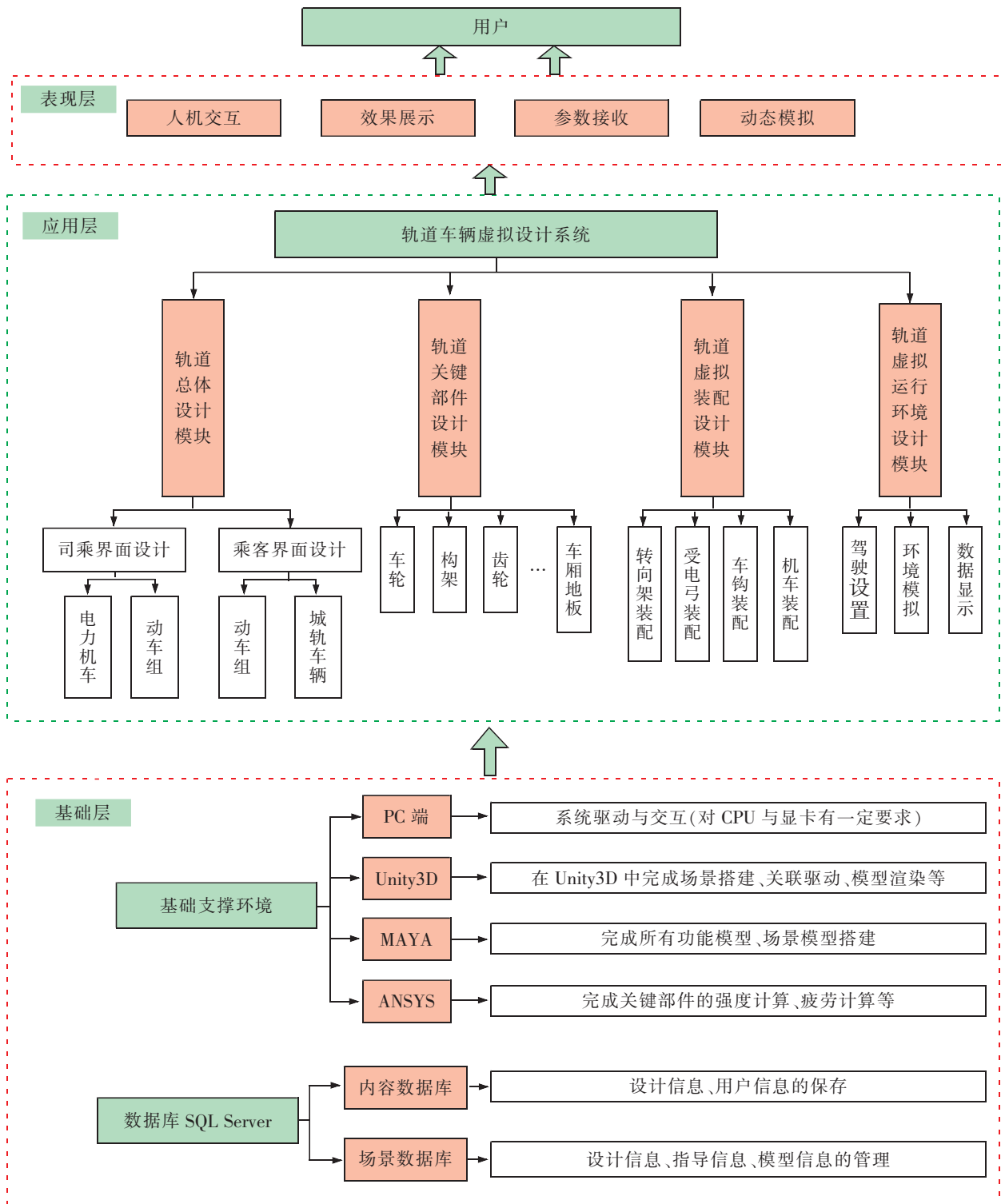


图 1 系统架构图

Fig.1 System architecture diagram

Normal Map 两种贴图, Bump Map 包含凹凸信息, 通过改变高度值实现模型表面的凹凸感, Normal Map 通过 RGB 烘焙曲线实现贴图的颜色调整。建

模完成后通过 Maya 转化为 FBX 格式即可导入到 Unity 虚拟场景中, 实现系统功能的开发。系统部分模型见图 2。



图 2 系统模型图

Fig.2 System model diagram

2.2 功能实现

2.2.1 车辆总体方案设计实现

为实现对轨道车辆内饰、座椅等风格设计,需要通过 Shader 更改模型贴图。Shader 是 Unity3D 引擎平台中的着色器,Shader 专门运行在 CPU 图形处理单元上,Shader 主要有 3 种:固定管线着色器、表面着色器、顶点片元着色器。固定管线着色器在运行时占用的渲染资源极大,一般情况不会不选择固定管线着色器,顶点片元着色器是干预模型形状,表面着色器干预模型表面像素点,见图 3。

动车组和城轨车辆乘客界面设计时,为实现动态更换车辆内壁和座椅贴图,需要设置 Shader 属性中的 `_MetallicGlossMap`, `_MainTex`, `_BumpMap` 3 个贴图属性,获取贴图属性后通过 C# 脚本程序驱动动态更换贴图,动态贴图更换实现脚本如下:

```
ChetiMaterial.SetTexture ("_MetallicGlossMap", XKYSM); //
XKYSM 为需要更改主贴图图片名称
```

```
ChetiMaterial.SetTexture ("_MainTex", ?XKYSA); //XKYSA
为需要更改的纹理贴图图片名称
```

```
ChetiMaterial.SetTexture ("_BumpMap", XKYSN); //XKYSN
为需要更改的法线贴图图片名称
```



图 3 总体设计图

Fig.3 Overall design drawing

乘界面与乘客界面设计中为实现按钮颜色和贴图颜色的灵活搭配,多样化的设计效果,在场景功能中编辑颜色控制器,实现司机室操纵按钮和贴图颜色的实时选择。Unity3D 中颜色编辑器界面使用 UGUI 开发,界面显示面板和功能按钮全部使用 UGUI 中的 Image 设置,颜色编辑器分为 3 个模块:七色渐变图、RGB 数值显示、最终选色。RGB 数值显示可以实现颜色的快速定位,选择理想颜色,最终选色是展示用户在选色时最终选取的颜色。颜色编辑器功能的实现主要是在 ShaderForge 中创建 2D Shader,控制 Shader 中 UV 的 U 点和 V 点区域节点图,实现选色面板,通过 C# 脚本将选取色的 Value 值通过设置的比例关系转换成 RGB 值。

2.2.2 关键部件结构设计实现

用户在了解轨道车辆关键部件的材料、装配事项、设计准则等基础属性后,需要对关键部件进行仿真分析,通过仿真数值结构验证关键部件结构是否符合强度性能、力学性能等要求,本文中选择的

有限元分析软件为 Ansys。在关键部件结构设计模块中设计 Ansys 激活软件 UI 按钮,通过程序驱动计算机后台程序启动 Ansys,并自动导入需要计算的相关模型,实现轨道车辆虚拟设计系统与 Ansys 软件的动态链接。实现动态链接 Ansys 的主要代码如下:

```
Process.S"C:\Program Files\AnsysInc\v150\Ansys\bin\winx
64\AnsysX.exe" -Pane3fl -dir"C:\Users\Administrator" -j"file" -
sread -len -us -b -i"C:\Users\Administrator\file.dat" -o "C:
\Users\Administrator\file.out"
```

通过 UI 按钮实现 Ansys 软件激活和模型传导后,用户可根据关键部件的使用范围选择不同的计算标准,在 Ansys 中设置关键部件的仿真计算参数,完成对关键部件的仿真分析。Unity 与 Ansys 联动见图 4。

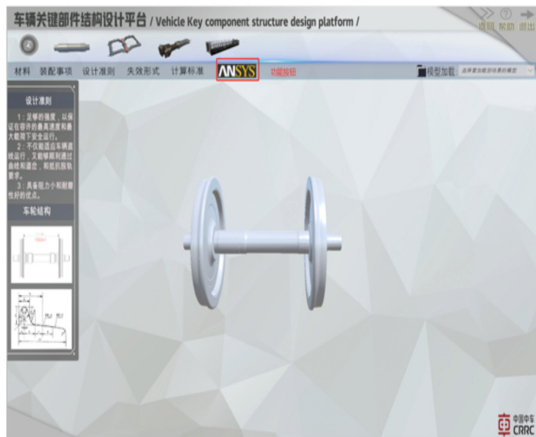


图 4 Unity3D 与 Ansys 联动图

Fig.4 Unity3D and Ansys linkage diagram

2.2.3 虚拟装配设计实现

轨道车辆虚拟装配需要考虑部件的装配顺序、装配路径、部件定位等。部件装配顺序按照轨道车辆关键装配工艺文件设置,编辑部件装配顺序数据库,序列化激活 UI 控制按钮,用户点击正确安装顺序下的部件 UI 按钮后激活下一步安装部件控制程序,并通过实例化技术生成相匹配的模型文件。虚拟装配中装配路径一般由系统脚本编辑的路径规划自动生成。轨道车辆虚拟装配设计系统中不考虑使用推理机生成关键部件虚拟装配路径,考虑系统的交互性、用户参与度,模型部件虚拟装配移动路径由用户通过鼠标控制,实现模型随鼠标运动的控制代码主要代码如下:

```
void Update () {
```

```
if (isInput) {
    transform.localRotation=Quaternion.RotateTowards(_cigang
    biaoRotateStart,_cigang
    biaoRotateEnd, rotateSpeed)
    //鼠标屏幕上新位置
    mScreenPosition=new Vector3(Input.mousePosition.x,Input.
    mousePosition.y, screenPosition.z);
    //对象新坐标?
    transform.position = offset + camera.ScreenToWorldPoint
    (mScreenPosition);}}
IEnumerator OnMouseDown(){
    camera = Camera.main;
    if (camera){
        //转换对象到当前屏幕位置
        screenPosition = camera.WorldToScreenPoint(transform.po-
        sition);
        //鼠标屏幕坐标
        mScreenPosition=new Vector3(Input.mousePosition.x,Input.
        mousePosition.y,screenPsition.z);
        //获得鼠标和对象之间的偏移量,拖拽时相机应该保持
        不动
        offset = transform.position - camera.ScreenToWorldPoint
        (mScreenPosition);
        print("drag starting:" + transform.name);
        //若鼠标左键一直按着则循环继续
        if(Input.GetMouseButton(0)){
            if (! isInput){isInput = true;}
            else { isInput = false;}}
            yield return new WaitForFixedUpdate();
            print("drag compeleted");}}
```

模型部件完成路径生成并移动到安装位置时,需要对模型安装位置定位,完成最终的装配。用户点击安装部件 UI 控制按钮后,模型安装位置会在部件中高光虚化显示,提示用户初步的安装范围,用户移动模型部件进入到安装位置后,实体模型与虚化模型设置的碰撞器会进行碰撞的触发检测,检测碰撞体标签是否一致。Unity3D 中触发器模式是将 Collider 中的 Is Trigger 勾选,实体运动的模型添加 Rigidbody 组件,通过 OnTriggerEnter 和 OnTrigger Exit 检测进入到触发器区域和离开触发器区域调用。

检测正确后激活实体模型中的 DoTween 插件,并将虚化模型的比例、位置、旋转等数据信息传输到 DoTween 插件中,DoTween 插件通过内部算法控制实体模型动态完成部件装配,见图 5。

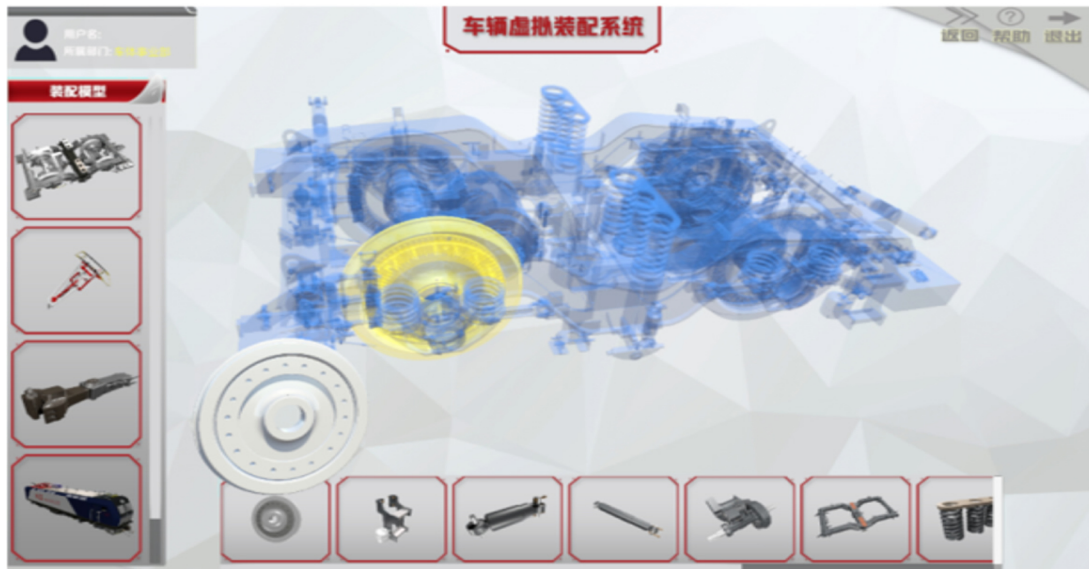


图 5 关键部件虚拟装配

Fig.5 Virtual assembly of key components

2.2.4 虚拟运行环境设计实现

轨道车辆行驶工况多样,涉及因素众多,轨道车辆虚拟设计系统中为实现最大程度对行驶工况环境因素的模拟,在虚拟运行环境中模拟雨雪天气、侧风等天气特效。

模拟下雪特效时,通过 `GameObject->ParticleSystem` 在系统中添加粒子,基本属性设置可根据常规认识设置。为提高模拟的真实度,对粒子系统做贴图处理,挑选符合雪天气效果的圆形图片设置为贴图,设置图片为 PNG 格式,将粒子系统 Shader 设置成 Transparent。考虑雪是向下且受风力影响会产生绕 y 旋转, x 轴与 z 轴方向的速度,设置粒子生命周期的 y 轴速度,粒子旋转为 $0,45,0$,绕世界坐标系下的 y 轴旋转,在 Force Lifetime 属性栏中设置 x,z 轴方向的受力大小,产生雪粒子的偏移效果。不同雪的粒子下落速度、雪的粒子大小等存在差异,需将粒子运行速度、粒子起始大小等设置成区间范围内的随机数。轨道车辆虚拟运行场景地形大,为实现全场景的模拟效果覆盖,将粒子发射器 Shape 覆盖全地图,并设置 UI 控制条,实现降雪强度的改变。降雪天气特效模拟基本属性设置完成后根据运行效果微调参数,实现最大程度对实际降雪效果的模拟。虚拟运行工况中降雨、侧风、雨夹雪等特效更换合适贴图后依照相应步骤即可完成,见图 6。



图 6 虚拟运行环境效果图

Fig.6 Effect diagram of virtual operating environment

3 调试与发布

系统进行必要的运行测试是考核产品优劣性最直接、最有效的手段^[8],轨道车辆虚拟设计系统由开发人员完成后点击 Unity3D 编辑窗口“File”的子菜单“Build Settings”,根据场景操作逻辑和交互流程设计场景序号加载系统场景,点击“Platform”并在发布平台中设置系统参数,完成系统测试版本的发布。系统发布后随机选择 PC 端从运行效果、功能需求、功能逻辑 3 个方面进行测试,对测试结果统计规整作为系统优化依据,系统优化从以下几个方面进行:① 模型优化:模型优化主要考虑 Mesh 合并、控制多边形数量;② 内存优化:内存优化考虑

Assert 优化、引擎 Native 优化、临时调用资源优化；优化完成后确定系统最终版本的发布,生成最终的轨道车辆虚拟设计系统。

4 结论

针对轨道车辆设计过程中存在的问题,依托 Unity3D 引擎平台,从需求分析,模型建立、接口设计、虚拟场景搭建到功能实现,设计并开发了轨道车辆虚拟设计系统。

1) 通过 Pro/e, Maya 等 3D 建模软件完成了轨道车辆模型、场景模型、虚拟 3D 地形等模型的建模工作,为提高模拟真实度,绘制了模型纹理贴图。

2) 应用基于爬山法的 AABB 包围盒算法解决了虚拟设计系统中人机交互的碰撞检测问题,通过接口设计实现 Unity3D 与 ANSYS 的动态链接。

3) 根据系统需求分析,应用 Particle system 实现了对轨道车辆运行环境中风雪等特效的模拟、应用 DoTween 实现了关键部件的虚拟装配路径规划,通过 c# 编程实现了功能完备,可扩展性和可维护性强的轨道车辆虚拟设计系统。

参考文献:

- [1] 杨岗,李芾,吉华. 基于 VR 技术的 CHR1 转向架虚拟装配研究[J]. 机械设计与制造,2013(2):74-76.
- [2] 崔林格. 动车组转向架虚拟装配技术的研究与应用[J]. 黑龙江科技信息,2016(19):83.
- [3] 徐娟. 基于虚拟现实技术的铁道车辆运行仿真系统研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [4] 江渡,张利伟. 基于虚拟样机的动车组虚拟检修系统研究[J]. 机械,2008(1):37-39.
- [5] 万隆君,涂婉丽,徐轶群,等. 基于 VR 技术的船舶管路装配虚拟仿真系统设计[J]. 中国造船,2017,58(1):186-192.
- [6] 金燕,米小珍,甄晓阳,等. 动车组转向架虚拟仿真检修支持系统关键技术[J]. 计算机系统应用,2013,22(3):177-181.
- [7] 肖乾,韩瑞,刘行,等. 基于 Unity3D 虚实结合的铁道单车制动实验培训系统[J]. 华东交通大学学报,2018(5):135-142.
- [8] 朱寅非. 软件测试在软件开发过程中的应用探析[J]. 无线互联科技,2013(5):62-62.



特约专家徐长节:男,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学党委副书记、副校长(主持行政工作),教育部“长江学者”特聘教授,国家杰出青年基金获得者,“万人计划”科技领军人才,国家百千万人才工程入选者,国务院特殊津贴获得者。主持及参与国家及省部级科研项目 10 余项、工程项目 100 余项。获国家科技进步二等奖等。



特约专家陈梦成:男,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学党委委员、副校长,江西省先进工作者,中国优秀留学回归人员,赣鄱英才 555 工程领军人才,江西省优势科技创新团队学术带头人。主持完成及在研国家 973、国家自然科学基金江西省等各类科研项目 30 余项;发表学术论文 400 余篇。获省部级奖项 5 项等。



特约专家刘林芽:男,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学副校长,国家百千万人才工程国家级人选,教育部新世纪优秀人才,享受国务院特殊津贴专家,赣鄱英才 555 工程领军人才,主持国家自然科学基金、教育部等各类科研项目 50 余项。获国家科技进步二等奖,江西省自然科学一等奖等奖项 11 项。



特约专家杨辉:男,二级教授,博士生导师。新世纪百千万人才工程国家级人选,赣鄱英才 555 工程领军人才,江西省优势科技创新团队领军人才,获国务院特殊津贴、江西省突出贡献人才等荣誉,现任华东交通大学副校长,江西省人大常委。获江西省自然科学一等奖、江西省技术发明一等奖等省部级奖项 7 项。



特约专家罗文俊:女,教授,博士生导师。现任华东交通大学副校长,防灾减灾研究所所长。教育部青年长江学者,江西省主要学科学术及技术带头人,首批江西省青年井岗学者,享受国务院特殊津贴专家。主持国家自然科学基金 4 项,省部级科研课题 10 余项。获教育部科技进步二等奖 2 项,江西省科技进步一等奖等。



特约专家刘燕德:女,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学首席教授,华东交通大学首批天佑学者,智能机电装备创新研究院院长,第三批国家“万人计划”领军人才,科技部重点领域创新团队负责人,江西省光电检测工程技术中心主任等。获江西省科技进步一等奖、江西省自然科学二等奖等省部级奖项 8 项。



特约专家宋立军:男,教授,博士生导师,智能激光制造湖南省重点实验室主任。研究方向:激光智能制造(3D 打印、超快激光微纳制造)、激光光谱学、激光制造材料科学、传感及控制。主持及参与多项国家自然科学基金、湖南省等各类科研项目。获中国机械工业联合会和中国机械工程学会一等奖等。



特约专家肖乾:男,教授,博士生导师。现任华东交通大学机电与车辆工程学院院长,华东交通大学天佑拔尖人才,江西省百千万人才工程人选,获全国詹天佑铁道科学技术奖青年奖、茅以升铁道科学技术奖、江西省科技进步一等奖等。近五年来,主持国家自然科学基金 3 项,省部级科研课题多项以及企业横向课题等近 20 项。