

文章编号: 2095-2163(2019)04-0154-05

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

# 基于虚拟现实的列车电气仿真系统设计与开发

高家涛<sup>1</sup>, 方宇<sup>1</sup>, 胡定玉<sup>1</sup>, 宋小广<sup>1</sup>, 丁亚琦<sup>2</sup>

(1 上海工程技术大学 城市轨道交通学院, 上海 201620; 2 上海地铁维护保障有限公司 车辆分公司, 上海 200031)

**摘要:** 地铁列车电气系统的维保工作日益显著,亟需开发出高效、实用性强的列车电气仿真系统。针对列车电气仿真的难题,设计一套基于虚拟现实技术的列车电气仿真系统。首先利用Creo软件,建立地铁列车模型;然后,利用3DMAX软件制作动画,演示列车电气系统的工作原理和动作过程;最后,利用unity 3D软件,建立人机交互机制,实现现场感和真实感。此系统实现了对地铁列车电气系统的知识学习、学员考核、原理展示以及故障检修等功能,弥补了现有列车电气系统的不足。

**关键词:** 虚拟现实; 地铁列车; 电气系统; 模拟仿真

## Train electrical simulation system based on Virtual Reality

GAO Jiatao<sup>1</sup>, FANG Yu<sup>1</sup>, HU Dingyu<sup>1</sup>, SONG Xiaoguang<sup>1</sup>, DING Yaqi<sup>2</sup>

(1 School of Urban Rail Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2 Vehicle Branch of Shanghai Metro Maintenance and Guarantee Co., Ltd., Shanghai 200031, China)

**[Abstract]** The maintenance of the electrical system of the subway train is becoming more and more important, and it is urgent to develop an efficient and practical train electrical simulation system. Aiming at the problem of train electrical simulation, a set of train electrical simulation system based on Virtual Reality technology is designed. Firstly, the Creo software is used to build the subway train model. Then, the 3DMAX software is used to create animations to demonstrate the working principle and action process of the train electrical system. Finally, the unity 3D software is used to establish the human-computer interaction mechanism to achieve a sense of presence and realism. This system realizes the knowledge learning, trainee assessment, principle display and troubleshooting of the subway train electrical system, which makes up for the shortage of the existing train electrical system.

**[Key words]** Virtual Reality; subway train; electrical system; simulation

## 0 引言

轨道交通以承载客流量大、速度快、安全性高等优势,成为各大城市缓解交通出行压力问题的良好方案,而且其发展正逐渐由建设期过渡为运维期,检修与维护的重要性日趋凸显。同时,列车电气系统相关的检修以及维护也显得尤为重要,因其能否安全稳定运行将直接关系到整个地铁列车系统的运行质量与水平。现代化多媒体高端技术的不断涌现给电路系统仿真提供了便利。

现有地铁列车电气系统的学习和展示方式有2种。对此可做探讨表述如下。

(1)是电气系统二维电路图,这样的电路图,无论是基于纸质版、还是基于电子版,都是一种死板复杂的电路符号,仅能看到密密麻麻的直线和各种元器件的电路符号,是一种较为原始的电气系统表现方式,无法直观地表现出电路布线和元器件在列车上的具体位置,对电气系统电路展示和列车维保人员电气

系统检修的培训都十分不便。

(2)是基于计算机的二维电气系统仿真软件,这是一种较为先进的电气系统展示方式,可以灵活地展示电流走向,但是这种二维电气系统仿真软件,没有空间即视感,在二维观念下无法与现实地铁列车电气系统相匹配。现有电气系统展示形式存在诸多弊端,也已然难以满足地铁公司的员工培训和电气故障检修的配合工作。

目前,国内外对列车电气系统的虚拟现实仿真的研究较少,大多都是对其运行特性进行数据形式的仿真,例如,中国中车中央研究院的王晗教授,针对高速列车的电气系统的运行特性,搭建了一套综合仿真平台<sup>[1]</sup>,但未涉及电气系统电气线路排布和电流走向等仿真。本文将运用虚拟现实技术,以电气系统在真实地铁列车的排布以及工作原理和动作过程为依据,进行模拟仿真,设计一套基于虚拟现实的列车电气仿真系统。本系统真实模拟地铁列车,将电气系统排布在列车车体内,增强立体感,方便学

**作者简介:** 高家涛(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:载运工具故障诊断与控制;方宇(1974-),男,博士,教授,主要研究方向:复杂工程装备数字化设计、仿真及智能运维、轨道交通列车健康状态检测与评价。

**通讯作者:** 方宇 Email:920946051@qq.com

收稿日期: 2019-05-12

员学习和观察,了解电路在车体内的排布位置,也方便电气系统排故参考和指导。

## 1 虚拟现实

### 1.1 虚拟现实技术简介

虚拟现实技术(Virtual Reality),简称VR技术,主要是借助于计算机生成三维虚拟空间,对现实环境进行模拟,通过多种信息的融合与交互,达到对听觉、视觉以及触觉等多方面感官的模拟,产生一种身临其境之感<sup>[2]</sup>。借助于数字头盔、数字手套等多种数字化设备,使模拟环境更为逼真地贴近现实,从而获得更好的人机交互体验<sup>[3]</sup>。

### 1.2 虚拟现实技术特性及优势

虚拟现实技术有三大特性,对其阐述如下。

(1)沉浸感。利用场景和情节设定等,结合人类的感官特点,构造一个逼真的虚拟环境,使人沉浸其中,获得身临其境的感觉。

(2)交互性。虚拟环境里物体会与用户的肢体活动产生互动,使用户和虚拟世界之间建立起有趣的联系,实现更为直接有效的人机交互作用。

(3)构想性。在有限的空间内营造丰富的真实化场景,筹建一个充满想象的空间,用户能够在系统配置的定性和定量的环境下进行合理性的发掘,提升科学认识,拓展思维想象<sup>[4]</sup>。

虚拟现实技术最大的优势就是逼真地模拟真实场景,突破时空限制,以沉浸感增强信息的传播效率,以交互性调动用户的积极性,以构想性增加用户的趣味性<sup>[3]</sup>。虚拟现实技术有效地解决了很多不便于现场实施的难题,广泛应用于航空航天、医学研究、珍贵文物展示等领域。

## 2 列车电气仿真系统架构

列车电气仿真系统主要目的是供客户、学员等人群来浏览和考察列车的电气系统,以及学习和研究列车电气系统的工作原理和动作过程,另外,还将涉及对列车电器系统的故障模拟和检修等。基于此,研究得到的本电气系统功能架构如图1所示。由图1可知,对该系统功能架构可做阐释解析如下。

(1)展示功能:可以向观众展示列车电气系统的工作原理和动作过程,可以自由选择展示的分支系统,灵活切换全景展示和部分展示,方便观众察看细节。

(2)学习功能:学员可以自由学习电路工作原理和结构构造等相关知识,进行虚拟演示。根据自

身学习情况切换成自己在理解和掌握上仍显薄弱的分支系统,不受无关电路系统的干扰。

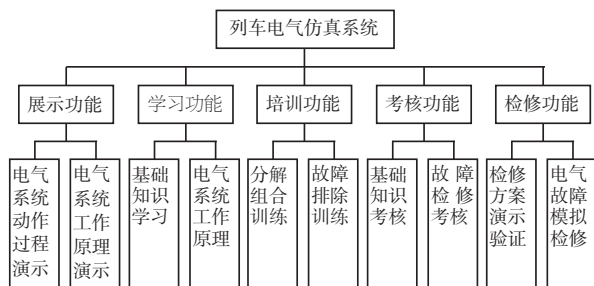


图1 列车电气仿真系统功能架构

Fig. 1 Functional structure of train electrical simulation system

(3)培训功能:可以借助该系统对新增学员进行培训,打破时空的限制,远离检修现场,通过模拟现实故障检测与维修训练等,在虚拟训练中使学员轻松掌握基础的检修技术。

(4)考核功能:在虚拟电气系统中,随意设置故障点、故障模式等,要求找出故障点和故障原因,并排除故障,进行故障检修考核。学员可以随时开启自我考察,检验自己的学习效果,对学习内容进行巩固和消化。

(5)检修功能:可以对现场的检修方案和检修计划进行推演验证,配合现场的故障检修。

为实现这些功能,该系统中进一步设置了控制命令,详见如下。

(1)系统分支选择(系统全示)命令:选择目标分支系统,将目标分支独立出来(全景显示整体列车/电气系统)。

(2)消隐(显示)命令:把目标以外的东西消隐(显示),方便看清楚存有疑惑目标的结构、动态关系等信息。

(3)冻结(解冻)命令:表示所选部位故障(正常),无法正常工作(能够正常工作)。

此外还有缩放、旋转、透明等命令。

## 3 列车电气仿真系统设计

将列车电气系统分为受电弓升降系统、牵引制动系统、车门系统等15个系统分支,方便单个分支系统独立显示,剔除无关线路干扰。本系统主要由基础学习和检修考核两大模块组成。其中,基础学习模块主要是对列车电气系统的基础知识学习和电路工作原理以及动作过程的操控演示,在操控演示中既可以全景整体浏览,也可以局部系统展示,既可以静态宏观了解,也可以动态演示体会。检修考核模块就是对电路故障检修和学员能力的考核,既能

模拟电路故障,训练员工故障检修的能力,以及配合现场的检修工作,进行排故演练,指导检修人员快速找出故障点排除故障,又能考核学员的专业技能。系统总体结构如图2所示。

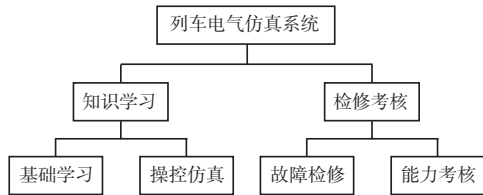


图2 列车电气仿真系统总体结构

Fig. 2 Overall structure of the train electrical simulation system

### 3.1 知识学习

#### 3.1.1 基础学习

在列车电气仿真系统场景内设置了一块显示屏,将列车电气系统相关的基础知识保存在系统后台的数据库里,经过程序控制,使场景内的显示器与数据库的这部分内容相关联,通过显示基础知识内容,学员就可以根据显示器上的内容以及辅助的列车模型来学习并掌握电气系统的基础知识。

#### 3.1.2 操控仿真

进入操控仿真平台之后,即可以操作展示列车电气系统,可以选择车体消隐或者显示,也可以使车体变成透明。动画演示过程如图3所示,根据个人需要选择电气系统全示或者选择分支系统、静态电路或者动态电路,点击动作触点,演示动画开始。

### 3.2 检修考核

#### 3.2.1 故障检修

故障检修模块设有排故训练模式、检修方案验证模式两种。进入这一模块之后可以先设置操作模

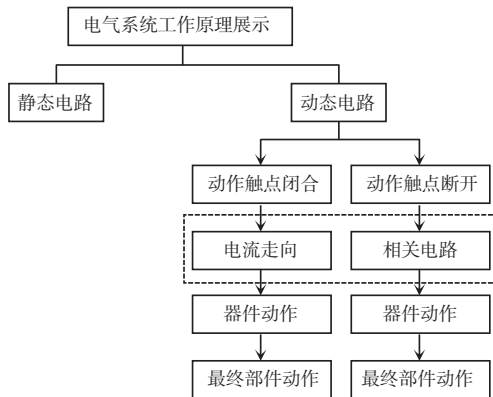


图3 动画演示过程图

Fig. 3 Animation demonstration process diagram

式。排故训练模式是学员自我训练的模式,学员自由设置故障模式、故障点、故障分支系统,对自己所学技能进行巩固训练和自我检测;检修方案验证模式是列车电气系统故障检修单位用来对自己的检修方案进行推理验证的模式,在正式投入实际检修之前用此对检修方案予以推理演示,找出不足和隐患,完善检修方案,消除隐藏意外的可能。

#### 3.2.2 能力考核

能力考核模块是管理员对学员检修技能的考核模式,可以由考官自由设置故障模式、故障点、故障分支系统(学员所用系统无此权限),考核学员对故障检修技术的掌握情况;面对不同学习阶段的学员,考官可以有针对性地设置考核的难易程度。

电气系统故障检修流程如图4所示,首先设置故障,然后自由设置检测节点,分段检测电路工作状态,直到故障排除,电路能够正常工作。

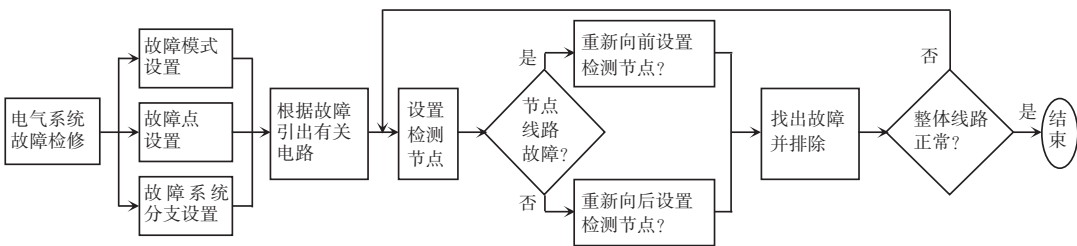


图4 电气系统故障检修流程

Fig. 4 Electrical system troubleshooting process

## 4 列车电气仿真系统开发

列车电气仿真系统开发主要包括前期的三维建模、动画制作,后期的场景交互以及后台数据库配合,最终形成了基于虚拟现实的列车电气仿真系统。对此拟展开研究论述如下。

### 4.1 三维建模

三维建模是虚拟现实技术的基础,要想构建场景,必须要在三维模型的基础上渲染优化。首先测量一些关键的真实数据,然后采用Creo 4.0软件,建立地铁列车三维模型。根据研究内容的主次顺序,对不同的部位建模采取不同建模精度的处理方法,本课题



主要针对列车电气系统,所以对列车电气系统和有关的动作元素建模精确度较高,而对一些非必要元素建模精度较低,例如,对受电弓、电气柜、电磁阀、继电器等部位精细建模,对转向架、车门等部位粗略建模。为了方便导入 3D MAX 软件中制作动画,将模型保存成 stp 格式,列车三维模型如图 5 所示。

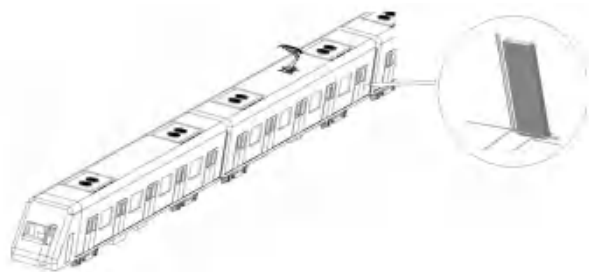


图 5 地铁列车三维模型

Fig. 5 3D model of subway train

#### 4.2 动画制作

为了配合虚拟场景交互,系统中包含了受电弓升起、降落,列车停车、启动等大量的动画。以列车受电弓的升降为例,司机按下控制按钮后电路开始流通,从蓄电池流出的电流经过导线、各种元器件流到受电弓升降电机,最后受电弓升起、降落。在 3D MAX 软件中,将这整个过程中的零部件动作动画开发出来,导出成 Unity 软件使用的 FBX 格式,应用到场景交互。

#### 4.3 数据库以及系统界面开发

列车电气仿真系统的正常运行离不开后台数据库的支撑。利用 SQL Server 软件,建立后台数据库,将列车电气系统的有关知识、列车电气系统基础题等资料保存于数据库。

系统界面开发过程是通过 Unity 3D 软件 NGUI 插件的开发环境将系统的模型和后台数据库以及操作交互功能等加以集成综合的过程,用 C#语言建立系统主界面,并建立与后台数据库的联系。系统登录界面和操作模块界面如图 6 所示。



图 6 操作模块界面

Fig. 6 Operation module interface

#### 4.4 场景交互和漫游

场景交互和漫游技术是本系统的核心,使用 Unity 3D 作为系统的开发引擎,拥有更强大的光影效果。系统的场景展示需要人为控制,使用时需要配套的虚拟头盔和操作手柄。戴上虚拟头盔之后,视野里呈现出虚拟的地铁列车车体,通过操作手柄,控制场景里的各种事物,进行人机交互操作,比如车体消隐、电流动态显示、场景漫游等。研究内容具体如下。

(1) 车体虚化消隐。为了方便用户更详细地看清电气系统的布置和结构,将车体虚化消隐,即展现出地铁列车电气系统。使用 UI 插件设置一个 button 按钮,点击则会将选中的物体虚化消隐。在车体虚化消隐的状态下,根据需要切换电气分支系统,独立显示单个电气系统,更加简洁明了。车体虚化消隐后的受电弓升降电路分支如图 7 所示。

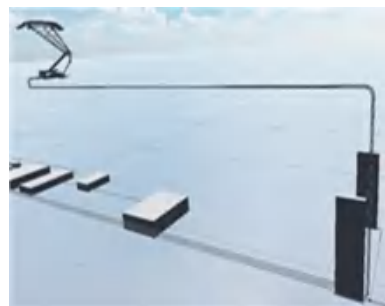


图 7 受电弓升降电路分支

Fig. 7 Pantograph lifting circuit branch

(2) 电流动态显示。电气系统故障检修和电气系统工作原理展示都需要体现电流流向,在 Unity 里以电路为操作对象,使用 C#语言编程制作脚本,控制电流走向,使电路逐渐变成红色,表示电流流向,电流流动效果如图 8 所示。程序主要代码见如下。

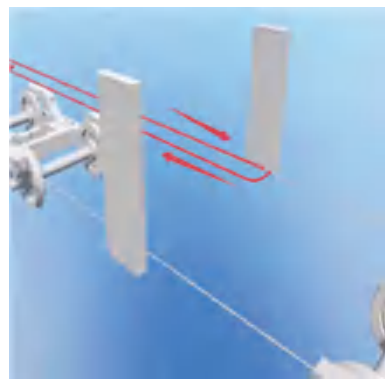


图 8 电流流向示意

Fig. 8 Current flow direction

```

void Awake()
{
    material = new Material ( Shader. Find ( "
Custom/dfs" ));
    GetComponent < Renderer > ().material =
material;
}
void Start ()
{
    v = material.GetFloat ( "_Clip" );
    material.SetFloat ( "_Mode", 3.0f );
}
void Update ()
{
    v = v - 0.5f;
    material.SetFloat ( "_Clip", v );
    print(v);
}

```

(3) 场景漫游。场景漫游是虚拟系统中必不可少的功能,用户可以模拟现实动作,进入到列车车体内部,详细观看列车电气系统的线路和元器件的分布。编写脚本加载到摄像机上,设置操控手柄键为场景旋转键,上、下、左、右键分别代表向上、向下、向左、向右移动,操作方式简单方便,可以使用户在虚拟场景中进行自由漫游。主要代码见如下。

```

If ( Controller.GetPressUp ( SteamVR_Controller.
ButtonMask.Grip ) &&f&&obj)
{
    Vector3 pos = headTransform.position;
    pos.z = pos.z + 0.5f;
    obj.transform.position = pos;
    laser.SetActive(false);
}

```

(上接第 153 页)

## 参考文献

- [1] 隋金雪,杨莉,张岩. “飞思卡尔”杯智能汽车设计与实例教程[M]. 北京:电子工业出版社, 2014.
- [2] 王超,王敏. LabVIEW2015 虚拟仪器程序设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2016.
- [3] 孙传友,李涛. 测控系统原理与设计[M]. 3版. 北京:北京航空航天大学出版社,2014.
- [4] 施文康,余晓芬. 检测技术[M]. 4版. 北京:机械工业出版社, 2015.

## 5 结束语

列车电气仿真系统真实还原列车电气系统结构,逼真地模拟了电气系统的工作原理,展示电流从蓄电池和受电弓流向逆变器、高速断路器等元器件,直到受电弓、牵引制动装置等最终动作部件的流程,演示电气系统从触动开关到元器件和动作部件的动作过程,实现了列车电气系统从二维平面图到三维立体图的转化。另外,还增加了对新进学员的培训和考核、以及列车电气系统检修模块,使本系统实用性更强,功能更强大。

## 参考文献

- [1] 王晗,李珂. 高速列车电气综合仿真软件设计[J]. 电气应用, 2015,34(16):116-121.
- [2] 宗兴寰. 浅议计算机虚拟现实技术发展及应用[J]. 现代信息技术,2019,3(4):91-93.
- [3] 任丽芬. 虚拟现实技术在现代展示传播中的应用分析[J]. 出版广角,2019(2):86-88.
- [4] 徐嘉懿. 虚拟现实在社会各领域中的应用及思考[J]. 中国校外教育,2019(6):39-40.
- [5] 周琪琪,孙建平. 基于虚拟现实技术的风电仿真培训系统[J]. 电力科学与工程,2018,34(9):73-78.
- [6] 杜娟,邓昭辉,赵海,等. 虚拟现实变电站仿真培训系统开发应用[J]. 自动化与仪器仪表,2019(3):228-231.
- [7] 吴希. 基于虚拟现实技术的智慧景区三维展示系统设计与研究[J]. 科学技术创新,2019(9):75-76.
- [8] 孙涛,叶金飞. 汽车电气系统仿真建模研究[J]. 汽车实用技术, 2017(5):83-85.
- [9] MIKI T, IWAI T, KOTANI K, et al. Development of a virtual reality training system for endoscope-assisted submandibular gland removal[J]. Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery, 2016, 44(11):1800-1805.
- [10] MORITA Y, KANEKO J, KENICHIRO. Development of planning system using the Virtual Reality of the moving equipment attitude at the time of plant maintenance[EB/OL]. [2017-03-16]. <https://doi.org/10.1299/jsmemsd.2017.308>.

- [5] 王营冠,王智. 无线传感器网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2012.
- [6] 瞿德福. 电气制图系列国家标准综合应用教程-电气图的画法[M]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [7] 品俊芳,钱政,袁梅. 传感器调理电路设计理论及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [8] 李静. LabVIEW2013 完全自学手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2015.
- [9] 康光华. 电子技术基础模拟部分[M]. 6版. 北京:高等教育出版社, 2014.