

文章编号:1005-0523(2012)02-0031-05

CRH3 动车虚拟驾驶仿真系统的设计与实现

吴海超¹, 张安全²

(1. 南京铁道职业技术学院 江苏 南京 210031; 2. 郑州捷安高科股份有限公司 河南 郑州 450001)

摘要:CRH3 动车采用众多高新技术,给动车驾驶带来了极大挑战。CRH3 动车虚拟驾驶仿真系统的开发,旨在对动车司机进行模拟驾驶、故障处理、非正常行车处理等方面的多媒体教学培训,培养动车司机的操作应变能力。CRH3 动车虚拟驾驶仿真系统采用虚拟现实技术,对CRH3 动车组驾驶进行全三维虚拟化列车逻辑模型仿真,可以展示不可视、不可摸、不可入列车部位的结构、布局及连接方式,轻松设置现实中不经常遇到而采用实物方式设置又很麻烦的故障,能反复无破坏地设置、查找和排除电气设备等系统故障,提高了培训效率、降低了培训成本,解决了铁路部门在高速铁路现场难以进行司机培训的问题培训,效果良好。

关键词:CRH3 虚拟仿真;模拟驾驶;故障处理;非正常行车

中图分类号:TP391.9

文献标志码:A

我国高速铁路的迅速发展,使得动车组司机培训机制未能及时完善。具有我国自主知识产权的高速铁路动车组诞生后,司机培养的问题更加突出。目前动车组驾驶面临的问题是动车司机专业人才紧缺;动车司机培训难度大、周期长;在培训过程中,学员的学习效率低。日本、法国、德国等国家的高速铁路起步较早,发展比较成熟,相应的培训机制比较健全,培训设施比较完备。由于铁路安全生产特色要求,难以在高速铁路现场进行司机培训;部分铁路高职院校虽然也在积极开发培训资源,但受资金困扰,现有实训设施的更新升级难以保证。

采用虚拟现实技术,对CRH3 动车组驾驶进行全三维虚拟化列车逻辑模型仿真,在仿真系统上对学员进行“真实情景模拟驾驶”培训,有如下优势:① 成本低、性价比高;② 电气设备等系统故障的设置、查找、排除可以反复进行,不会产生设备的磨损,不会造成破坏性后果,故障设置依据参考文献[1];③ 可以轻松设置现实中不经常遇到而采用实物方式设置又很麻烦的故障^[2];④ 充分利用文本、图形^[3]、三维影像、三维动画和声音等多媒体表现形式,刺激学员的视觉、听觉神经,调动学员的学习积极性;⑤ 可以展示不可视、不可摸、不可入列车部位的结构、布局及连接方式;⑥ 符合国家低碳战略,绿色、环保。

CRH3 动车虚拟驾驶仿真系统的设计与实现,能够在仿真环境下对动车司机进行模拟驾驶、故障处理、非正常行车处理等方面的多媒体教学培训,有效地提高了培训质量、降低了培训成本。

1 虚拟现实技术简介

虚拟现实(virtual reality,简称VR,又译作灵境、幻真)是近年来出现的高新技术,也称灵境技术或虚拟仿真。虚拟仿真能让使用者如同身历其境一般,已经被世界上一些大型企业广泛地应用到工业的各个环节。虚拟仿真技术的引入,将使工业设计的手段和思想发生质的飞跃,更加符合社会发展的需要。工业仿

收稿日期:2012-02-13

作者简介:吴海超(1960—),男,副教授,研究方向为铁道机车车辆。

真系统不是简单的场景漫游,而是真正意义上用于指导生产的仿真系统,它结合用户业务层功能和数据库数据组建一套完全的仿真系统,可组建B/S、C/S两种架构的应用,可与企业ERP、MIS系统无缝对接,支持SqlServer、Oracle、MySql等主流数据库。

应用虚拟仿真技术来解决动车司机培训的难题,是必要而可行的。

2 CRH3 动车虚拟驾驶仿真系统设计

CRH3 模拟驾驶仿真系统由 CGI 线路场景、三维动车组仿真模型及后台的列车仿真逻辑构成,总体划分为多媒体教学、模拟驾驶、故障处理、非正常行驶 4 个模块,每个模块都具备教学、演练、考核评价 3 个主要功能。

系统设计能够实时准确响应各项操作,能够正确反应列车固有的控制逻辑关系,所有的操作信息能够根据实际情况实时更新并输出相关的仿真计算结果,如列车的所有电气、电子、机械系统的结构、关联关系及动作时序均根据实际形式进行一对一的仿真;所有操作、显示设备、开关、发音、发光、报警系统能够按实际情况进行控制和响应,所有的显示系统具有与真实系统相同的界面、菜单结构、按钮及功能;系统触发的列车故障现象与真实情况一致。

多媒体教学模块采用文字、声音、图片和图像等多种信息,将 CRH3 动车组的使用、应急故障处理、检修作业等以预先制作的数字动画的形式进行呈现,并设计简洁、美观的交互式人机界面、可以方便的进行播放控制,如快进、快退、暂停、声音控制等;模拟驾驶模块采用教师提前设置演练任务的方式,如列车类别、运行区段、列车故障发生位置及类型、临时限速位置等,使学员熟悉机车、熟悉操作;故障处理模块培训学员检查并排除故障/突发事件的能力;非正常行驶模块培训学员在驾驶机车遇到如下雨、下雪等一些突发情况时的处理能力^[5]。

通过计算机多媒体授课来实现生动的场景交互式教学功能;以任务形式设置演练内容,使学员在情景化引导栏指导下,逐步排查、直至完成故障处理,达到演练目的;考核评价体系能将学员的每一次训练都记录保存在系统数据库中,包括学员信息和训练记录数据,对于有标准操作答案的项目,系统还会自动评判出成绩并记录在数据库中,教师根据记录进行进一步的审阅、评判和管理,最后发布成绩。

3 CRH3 动车虚拟驾驶仿真系统开发

仿真系统的开发包括 3D 动车模型设计开发、场景建模开发和引擎程序开发。

系统中的模型采用 Autodesk 公司的 3DSMAX 作为建模软件,建模方法主要为 Polygon(多边形)建模。模型构建贴图及交互控制脚本见参考文献[6],模型效果如图 1 所示。

场景包括轨道(铁轨、交叉口、道岔、路基、道床),架空线路(支柱、基础、坠砣、腕臂、拉杆、绝缘子、定位器、定位杆、支撑杆、接触网导线、承力索、吊弦),轨旁设备(信号机、应答器、转辙机、进路显示、边界显示、停车显示、限速显示、反方向标识等),站台(车站及附属设备、广告牌、乘客、停车标等),沿线景物(露天风景、桥梁、隧道、立交桥、建筑、行人、车辆等),交会运行的其他 CRH3 动车组。

场景的视景仿真系统采用计算机生成图像(CGI)的三维场景,CGI 线路视景以现场线路数据为基础,全三维数字化建模,线路纵断面、曲线半径等线路参数与真实一致;场景的声音仿真系统包括列车外部的声音(列车在线路上运行的声音、风声、鸣笛声、制动摩擦声、周围环境声音、列车报站声音、碰撞障碍物时的声音)与列车内部的声音(司机操作过程中列车产生的各种电器吸合、断开声音;司机台 HMI、ATP 显示屏提



图 1 模型效果图
Fig.1 Model rendering

示声;列车运行过程中有关设备的电气、机械噪声;牵引电动机运转的声音;空气制动系统产生的明显声音)。场景建模从视觉、听觉、速度感、操纵真实感等方面逼真地再现了列车在不同情况下的运行环境。场景建模技术见参考文献[7],场景组织结构可参考文献[8]。

系统的三维引擎采用 OSG(OpenSceneGraph) 技术实现。OSG 使用 OpenGL 技术开发,是一套基于 C++ 平台的应用程序接口(API)。OpenGL 技术为图形元素(多边形、线、点……)和状态(光照、材质、阴影……)的编程提供了标准化的接口。因此,OSG 让程序员能够更加快速、便捷地创建高性能、跨平台的交互式图形程序。系统的界面则采用 Qt 制作。Qt 是诺基亚开发的一个跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架,它提供给应用程序开发者建立艺术级的图形用户界面所需的所用功能。Qt 是完全面向对象的,很容易扩展,并且允许真正地组件编程。系统运行的界面如图 2 所示。

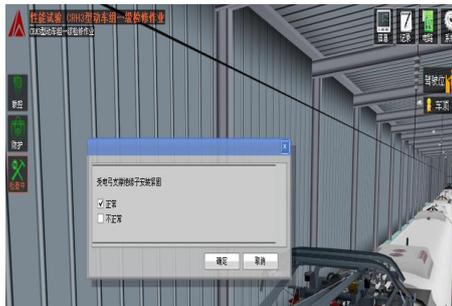


图2 系统运行界面示意图

Fig.2 Operation interface diagram of the system

4 列车性能仿真

系统能够准确真实地仿真 CRH3 动车组在各种运行环境与运行工况下的运行状况、操纵特性、牵引/制动特性以及其它特性,包括列车运行仿真、列车动力学仿真、控制特性仿真、控制逻辑仿真、牵引特性仿真、制动特性仿真等几方面。

4.1 列车运行性能仿真

列车运行性能仿真由 CRH3 型动车组列车逻辑仿真模型、动力学模型、ATP 逻辑仿真模型、故障仿真系统、运行参数数据库等部分构成。

列车运行仿真可以对坡度长度、坡度大小;曲线长度、半径及方向;不同路段的运行阻力;CRH3 动车组自重和负载情况;牵引电机的特性和状态;电制动和空气制动的特性与状态;轮轨粘着系数;停车制动特性和应用;列车长度;列车编组数量等运行条件进行响应与处理。列车运行仿真可以接收线路数据;列车参数;学员的操作;教员发出的控制;天气及季节的变化;信号的变化;道岔开通方向的变化;分相区信息;临时限速等数据和状态:

运行时,操纵输入处理模块通过网络通讯模块及操纵台输入与输出接口计算机获得学员的操纵动作,并改变列车逻辑表中的对应参数;列车逻辑计算及 ATP 逻辑计算模块定时进行计算列车逻辑及 ATP 逻辑的逻辑计算;列车牵引及动力学计算模块将部分逻辑计算结果作为列车运行计算的依据。一次仿真计算完成后,逻辑计算与运行计算的结果被通过网络通信模块送往操纵台、电器柜进行输出控制,同时也被送往视景、声音、运动仿真系统进行相应的控制,并被记录在运行记录文件中以备对训练过程的评价与调用。

在运行过程中,训练课程中预设的故障会被相应的触发条件触发^[9],并通过故障处理系统影响当前的列车逻辑表、ATP 逻辑表或列车运行参数数据库中的数据,从而可能导致非正常的逻辑及运行计算结果输出。故障处理系统的基础编码则可参考文献[10]。教员也可通过教员系统对当前的训练过程实时设置故障或改变当前的列车运行参数,其结果与训练课程中预设的、按照触发条件触发的结果相同,都可能导致非正常的逻辑及运行计算结果输出。由于具备完整的逻辑与动力学仿真模型,因此系统会正确地计算出这些非正常现象的输出结果。这些结果将会在操纵台上的仪表、指示灯、TMS-MMI、ATP-MMI、视景系统、声音系统、运动系统得到同步的、协调一致的反映,所反映出的现象将和 CRH3 动车组在真实环境下的运行一样。

受训司机可通过这些现象来判断故障或采取相应的措施应对突发事件。系统提供硬件实做、软件模拟并举的方式供学员进行排除故障的模拟训练,无论采用哪种方式,正确的故障排除步骤将会影响列车或

ATP逻辑表,从而使其恢复到正常状态。当司机无法完成故障的排除时,可由教员通过教员监控系统来取消或清除故障。

本系统中根据CRH3型动车组列车的实际情况建立与之一致的逻辑仿真模型、ATP仿真模型以及动力学及牵引计算模型^[11],且这些模型大多以数据的方式存放在系统数据库中。因此,系统在不改变源程序的基础上,通过对应参数或数据的定义即可完成CRH3动车组运行中正常状态、非正常状态的仿真。

4.2 列车动力学性能仿真

列车动力学性能的仿真模型能够达到列车模拟运行、车辆姿态与动态仿真控制的技术要求。列车动力学性能的仿真主要针对列车的纵向、垂向和横向动力学性能而言,将列车的每节车辆视为一个质点,前后质点之间通过车钩力建立联系,全列车构成了一个离散质点系。仿真计算需要确定列车模拟运行过程中任意时刻的线路状态(坡度、曲线、道岔、轨道谱等)、每节列车、车辆的阻力、制动力、牵引力、位置、速度、加速度、以及它们之间的相互作用力(即车钩力)。

就列车纵向动力学而言,将列车中的每节车辆都看作一个受外力作用的质点,则每一辆车的运动方程为

$$M_i \times \frac{d^2 X_i}{dt^2} = F_i + f_i - (f_i + 1) + R_i + B_i + g_i \quad (1)$$

式中: M_i 为车辆的质量; i 为第 i 节车; F_i 为动车牵引力或动力制动力,若是拖车则 F_i 为零;动力制动时为 F_i 负值; X_i 为车辆在线路上的位移; t 为车辆在线路上的运行时间; $f_i + 1$ 为车辆后端车钩上的力; f_i 为车辆前端车钩上的力; R_i 为车辆的基本阻力; B_i 为车辆的空气制动力; g_i 为线路附加阻力(坡道、曲线、隧道等阻力)。

4.3 控制特性仿真

仿真系统能够实时准确响应司机的各项操作,实时计算每节车辆的相关条件并具有真实性与准确性。仿真模块能够正确反应列车固有的控制逻辑关系,所有的操作信息能够根据实际情况实时更新并输出相关的仿真计算结果。列车的所有电气、电子、机械系统的结构、关联关系及动作时序均根据实际形式进行一对一的仿真。司机操作台上的所有操作、显示设备、开关、发音、发光、报警系统能够按实际情况进行控制和响应,所有的显示系统具有与真实系统相同的界面、菜单结构、按钮及功能。列车的牵引、制动系统均按照真实情况产生控制指令和响应。系统触发的列车故障现象与真实情况一致。

4.4 控制逻辑仿真

司机操纵台上的开关、按钮、司机控制器是整个列车控制系统的输入参数,控制系统中所有电器以及连接它们的导线之间有着密不可分的联系。列车控制模型是指列车在正常和故障工况条件下,控制系统内部之间的得电、失电关系。控制系统的工作受司机台开关和控制器的控制输入,并与控制系统内部各类电器的状态及它们的连接关系相关。

令:输入变量 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$;故障状态 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$,其中 $G \in I$;状态变量 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$;输出变量 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$;从仿真时序 n 运行至仿真时序 $n+1$,采集所有输入,根据器件之间的逻辑关系,开关函数 p 与 f 定义如下:状态变量 $S_{n+1} = p(I_{n+1}, G_{n+1})$;输出控制变量 $O_{n+1} = f(I_{n+1}, S_{n+1}, G_{n+1})$ 。

用这些变量来进行牵引、制动等状态变化时的声音、仪表、指示灯的输出控制。

4.5 牵引特性仿真

列车的牵引力、制动力都按照全列车各车辆的牵引力、制动力的总和进行计算。计算的具体方法遵守《列车牵引计算规程》的要求。为了使列车牵引计算获得的运行速度曲线具有连续性,将列车的计算模型简化为:以车辆中心为车辆质点,且质点间无相对运动的质点系。从而考虑了列车长度对线路附加阻力计算的影响,使计算结果更加接近于实际情况。

列车牵引计算主要用于针对给定训练课程与运行条件下CRH3动车组标准操纵曲线的自动生成,以便

将模拟操纵曲线与标准操纵曲线进行比较,评判受训司机的操纵水平。模拟操纵曲线图如图3所示。

4.6 制动特性仿真

制动特性符合CRH3动车组手动制动方式及由ATP控制的自动制动方式并用的特性,动作方式符合电气再生制动方式与电气指令式空气制动方式并用的特性。制动力-速度模拟曲线图如图4所示,制动距离模拟曲线图如图5所示。

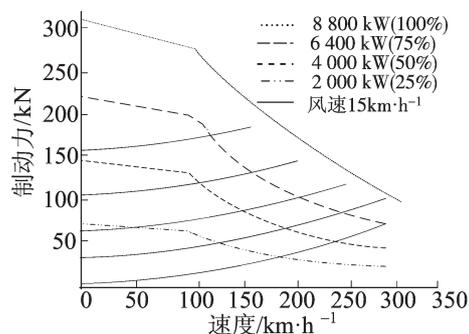


图3 牵引力-速度模拟曲线图

Fig.3 Traction-speed simulation curve diagram

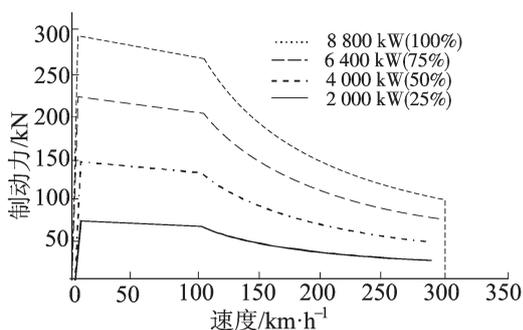


图4 制动力-速度模拟曲线图

Fig.4 Braking force-speed simulation curve diagram

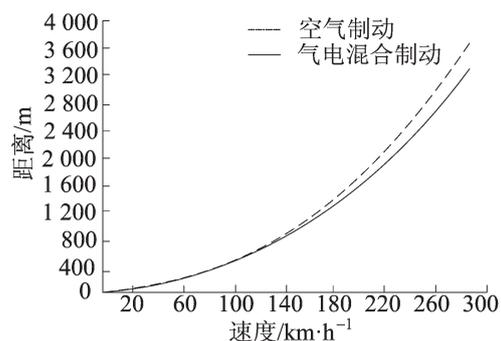


图5 制动距离模拟曲线图

Fig.5 Braking distance simulation curve diagram

5 结论

CRH3动车虚拟驾驶仿真系统借助影像、图形图像、声音、虚拟现实场景和虚拟仿真设备,逼真地再现了列车驾驶操纵界面、操作显示设备、电气设备、控制逻辑及网络信息系统。系统的所有电气、电子、机械、气动系统的逻辑、关联关系与真实情况一致,能够完成模拟驾驶、故障处理、非正常行车的教学指导、教学管理和考核等功能。

CRH3动车虚拟驾驶仿真系统的开发与应用,有效地解决了学校、企业在动车司机培训方面的两难问题,提高了动车司机的培养培训质量,缩短了培训时间,节约了培训成本,且绿色环保,经济和社会效益良好。

参考文献:

- [1] 铁道部. CRH3型动车组途中应急故障处理手册[M]. 北京:铁道部,2010:11-88.
- [2] 陈秉智,杨慧芳,兆文忠. 高速动车组碰撞仿真研究[J]. 大连交通大学学报,2011,32(1):11-16.
- [3] 郭孜政,李永建,钟永祥,等. 动车组人机控制界面背景色对识别效率的影响[J]. 中国铁道科学,2011,32(5):104-107.
- [4] 米小珍,梁树林,兆文忠,等. 面向检修的CHR3动车组转向架虚拟仿真系统开发[J]. 铁道机车车辆,2010,30(1):32-36.
- [5] 马淑红,马韞娟,李建群,等. 京津城际CRH3动车组大风天气条件下安全行车技术标准参数研究[J]. 铁道技术监督,2009,37(2):7-9.
- [6] 李广丽,张红斌. 基于虚拟现实技术的商品展示平台研究[J]. 华东交通大学学报,2010,27(6):59-65.
- [7] 王乘,李利军,周军清,等. Vega实时三维视景仿真技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005:318-404.
- [8] 张昊,浦浩,胡光常,等. 基于OSG的铁路三维实时交互式可视化技术研究[J]. 铁道勘察,2010,(1):3-6.
- [9] 沈涛,王颖峰,汪国宝,等. 地铁牵引控制单元TCU故障诊断建模与应用[J]. 铁道机车车辆,2003,23(5):21-23.
- [10] 黄学文,刘春明,冯璨. CHR3高速动车组故障诊断系统[J]. 计算机集成制造系统,2008,16(10):2311-2318.
- [11] 周盛,余丹萍,江全元. CRH3动车组牵引传动系统的负荷建模[J]. 机电工程,2011,28(1):118-122.

(下转第46页)

A Model of Case-based Reasoning Based on Rough Set

Gong Jinhong¹, Ling Shiyong²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering; 2. Center of Modern Education and Technology, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Rough set theory has the unique merit of having no use for the outside information and the priori knowledge when dealing with the Case-based reasoning (CBR) problem, which can simplify the redundancy attribute in the case library to optimize the case database. Many indexes of case library are formed based on statistical knowledge at the same time. It is possible to retrieve case database according to the difference index and draw a conclusion for the different question. Finally, it verifies the feasibility and the accuracy of this model based on the example of the intelligent optimal setting control for the production indexes just as the product purity and the liquid flow control in the rare earth extraction separation process.

Key words: case-based reasoning; rough set; data completion; data dispersion; attribute reduction

(上接第35页)

Design and Realization of Virtual Driving Simulation System for CRH3 EMU

Wu Haichao¹, Zhang Anquan²

(1. Nanjing Institute of Railway Technology, Nanjing 210031, China; 2. Zhengzhou J&T Hi-tech Co. Ltd., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Adopting a number of high technology, driving of the CRH3 EMU train faces great challenges. The development of virtual driving simulation system of CRH3 EMU aims to train the driver's using skills of the EMU driving, emergency fault handling and abnormal driving by multimedia teaching. The virtual driving simulation system of CRH3 EMU conducts the full 3D virtualization train logical model simulation to CRH3 driving with the virtual reality technology to show the invisible, non-touching, non-entering train structure, layout and connection mode. It can easily set the fault that often does not meet in reality but is very troublesome to set with the real ways. It can repeatedly set, find and eliminate electric equipment system fault, which improves the training efficiency and reduces the training cost and solves the difficult problem of training the drivers on the spot of high speed railway with good effect.

Key words: CRH3 virtual simulation; driving simulator; fault handling; abnormal driving