

文章编号: 2095-2163(2019)05-0209-05

中图分类号: TP391.5

文献标志码: A

基于 BIM 的地铁车辆设备智能运维管理系统设计

宋小广¹, 胡定玉¹, 方宇¹, 高家涛¹, 丁亚琦²

(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: 针对地铁车辆运维过程中存在的电气设备信息数据不完整和检修效率低等问题, 设计一种基于 BIM 技术的地铁车辆电气设备智能运维管理系统。首先, 利用 Autodesk Revit 建立地铁车辆电气设备模型。其次, 建立电气设备资产和运维数据库, 并设置数据交换的接口, 实现车辆设备 BIM 数据库与资产管理数据库和运维数据库的交互和维护, 具有模型信息管理的功能。最后, 基于模糊贝叶斯网络理论和证据理论分析法建立电气元件故障预警和诊断模块, 为检修决策提供依据, 实现智能检修, 达到对电气设备运行维护的目的。

关键词: BIM; 地铁车辆; 电气设备; 智能运维

Design of metro electrical intelligent operation and maintenance management system based on BIM technology

SONG Xiaoguang¹, HU Dingyu¹, FANG Yu¹, GAO Jiatao¹, DING Yaqi²

(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] Aiming at the problems of incomplete information data and low maintenance efficiency of electrical equipment in the operation and maintenance of metro vehicles, an intelligent operation and maintenance management system for electrical equipment of metro vehicles based on BIM technology is designed. Firstly, the electrical equipment model of metro vehicle is established by using Autodesk Review. Secondly, the database of electrical equipment assets and operation and maintenance is established, and the interface of data exchange is set up to realize the interaction and maintenance between vehicle equipment BIM database and asset management database and operation and maintenance database, therefore achieve the function of model information management. Finally, based on the fuzzy Bayesian network theory and evidence theory analysis method, a fault early warning and diagnosis module for electrical components is established, which provides a basis for maintenance decision-making, realizes intelligent maintenance, and achieves the purpose of operation and maintenance of electrical equipment.

[Key words] BIM; metro vehicle; electrical equipment; intelligent operation and maintenance

0 引言

建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 是设施物理和功能特征的数字表现^[1], 在建筑工程的设计、建造和管理方面有着良好的应用。近年来, BIM 技术已不仅限于建筑行业, 在轨道交通领域也有着广泛的应用。例如, 在地铁车站机电设备维修方面, 李健^[2]通过关联建筑空间和机电设备间的逻辑关系, 实现了智能化的地铁机电设备维修; 在地铁车辆信号设备管理方面, 莫志刚等人^[3]通过使用车辆维护数据和 BIM 模型数据的交互, 设计了效果良好的地铁信号设备维护管理系统; 在地铁车辆全寿命管理方面, 和杉剑^[4]通过 BIM 技术对轨道交通车辆全寿命周期管理中的研究, 提出了具体的车

辆运行维护方法; 在轨道交通项目管理应用方面, Homayouni 等人^[5]将 BIM 技术应用于工程项目, 有效地完成了协同作业。施平望等人^[6]基于 BIM 技术设计了项目协同平台, 在很大程度上提高了轨道交通项目管理的效率。

现今, 地铁车辆电气检修系统存在管理模式相对落后、检修程序复杂等问题。为了提高电气系统管理效率, 实现电气设备的快速检修, 亟需研究出一种新的地铁电气智能运维管理系统。本文基于 BIM 技术设计的运维管理系统, 不仅给电气设备及电路做出三维可视化展示, 提供完整的数据结构, 而且使运行维护数据关联于 BIM 模型, 能够对模糊故障和完全故障的 BIM 模型进行定位, 达到故障预警和故障诊断的目的。

基金项目: 上海工程技术大学展翅计划(RC15-2017)。

作者简介: 宋小广(1992-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 载运工具故障诊断与控制; 胡定玉(1987-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 信号处理、机械设备状态监测和故障诊断。

通讯作者: 胡定玉 Email: 1394073293@qq.com

收稿日期: 2019-05-22

1 BIM 技术简介

BIM 即建筑信息模型,是以三维数字为基础,能够集成建筑工程项目各种相关信息的数据模型。BIM 技术的特点可阐释分述如下。

(1)模型信息的完备性: BIM 不仅能够对工程对象的三维几何信息和拓扑关系进行描述,而且能够承载完整的工程信息等。因此, BIM 技术能够模拟逼真的环境,给使用者展现全面的信息,达到一目了然的效果。

(2)模型信息的关联性: 可以查看信息模型中的构件和设备的信息参数,并且两者之间可以相互关联。系统通过形成图形和文档的形式能够对模型信息进行统计和分析,可以实现与数据库关联共享的效果。

(3)模型信息的一致性: 模型信息在建筑生命周期的不同阶段是一样的,同一对象的几何和规则等信息不需要多次输入,而且还可以对其进行修改、维护和优化。

将该技术引入到地铁车辆电气设备的运维方面,使其优势充分应用到各个层面,在增强对象可视化效果的同时,完善设备数据,并且提高检修效率。

2 系统架构设计

该系统架构的组成部分为:用户层、功能应用层、智能分析层、支持平台层和基础设施层等。其中,用户层主要涉及到某地铁公司列车司机、检修人员、专家人员和技术维护人员等。功能应用层包括 BIM 模型管理、电气仿真和电气检修三个功能。智能分析层采用模糊贝叶斯算法对运维数据进行分析,得出各系统故障概率并实现故障预警。支持平台层为系统功能研发提供技术支持,包括应用服务器中间件、BIM 协同中间件和数据库等。基础设施层主要分为车载及地面网络和服务器等,为信号和数据的传输提供保障。系统架构如图 1 所示。这里,针对功能应用层中的各个功能设计展开研究论述如下。

2.1 模型信息管理功能

建立 BIM 模型是进行电气仿真和电气检修的基础。BIM 模型管理功能的作用可描述为:首先,集成设备的名称、型号和编码等信息,实现地铁设备模型的结构展示以及各系统间信息的关联,提高设备维修管理效率;其次, BIM 模型与数据库信息相关联,对地铁设备 BIM 模型库进行设计,研发得到良

好的存储和交互功能。

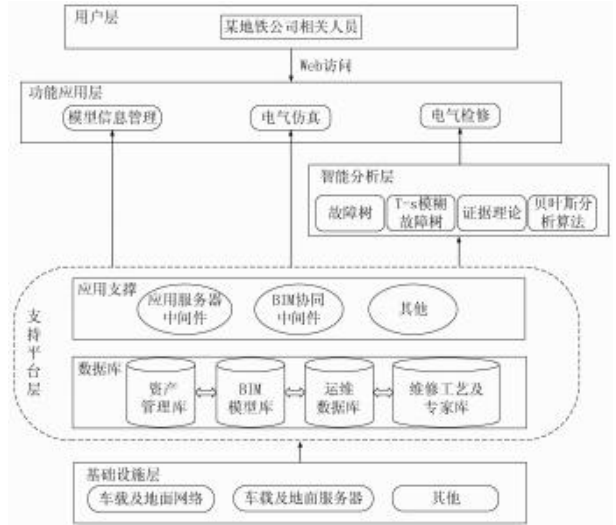


图1 系统架构

Fig. 1 System architecture

2.2 电气仿真功能

电气仿真模块模拟地铁车辆各电气系统工作原理,为用户展示电路逻辑,包括电路得电、电流走向、元器件动作、电气设备运行等过程,为车辆电气检修提供参考和依据。

2.3 电气检修功能

该系统实时收集车辆的运行状态和故障数据并进行录入管理,这些数据主要来源于多功能车辆总线、以太网即车载控制系统故障数据和车辆离线检修故障数据。应用模糊贝叶斯网络算法,对地铁列车的运维数据进行分析,计算各环节关键重要度和后验概率,找出薄弱项,为用户提供故障预警和诊断功能。

3 系统开发

3.1 模型建立

根据现场调研的车辆电气设备空间位置及各部分尺寸,运用 Autodesk Revit 软件的建筑工具模块建立车顶、车厢和车底三部分的参数化模型,包括受电弓、电气柜、电磁阀、继电器、转向架等设备。在建立模型过程中可以对零部件的属性及参数进行录入和存储,信息包括电气负荷、设备型号、产品说明等多种运维数据^[7],详情如图 2 所示。

3.2 电气仿真设计

根据电气设备功能需求,对电路进行简化并逐步进行建模。运用 Autodesk Revit 软件的机电工具模块对电气线路建模,包括受电弓升降线路、车门控制线路、牵引制动线路等,清晰显示线路及元器件的

空间位置。运用 3DMax 软件制作受电弓和车门等车辆设备的工作动画, 还原和模拟电气设备运行动作, 受电弓升降电路如图 3 所示。

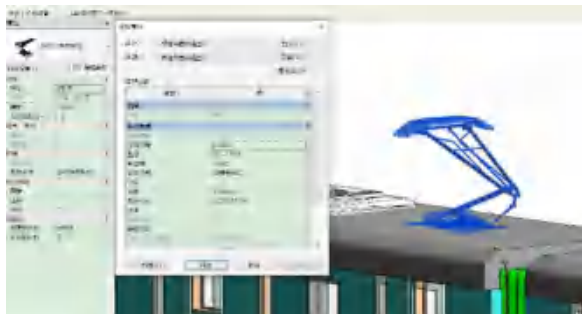


图 2 设备信息录入

Fig. 2 Device information input

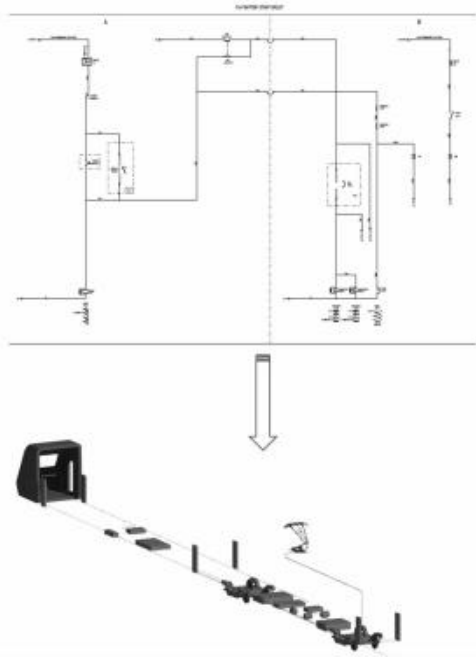


图 3 受电弓线路

Fig. 3 Pantograph line

3.3 故障检修模块建立

在实际的设备系统可靠性分析中, 存在地铁列车电气设备故障类型多样、故障之间的逻辑关系不明确, 历史数据的不完善和数据的多源异构等问题^[8]。因此, 采用模糊贝叶斯分析法可分析多种故障状态并使分析过程得到简化, 提高分析效率。

研究中, 先是根据地铁车辆系统的故障树建立 T-S 模糊故障树。其次, 按照转化规则建立模糊贝叶斯网络模型。最后, 结合证据理论分析法, 对车辆各系统数据进行分析。系统将各故障状态的计算结果与设置阈值相比, 作为故障诊断和预警的参考, 为检修决策提供依据。

以某型受电弓为例, 根据已建立的故障树构建

T-S 模型故障树, 如图 4 所示。其中, S 是顶事件, $M_1 \sim M_5$ 为中间事件, $X_1 \sim X_{18}$ 为基本事件, $L_1 \sim L_6$ 为 T-S 模糊门。

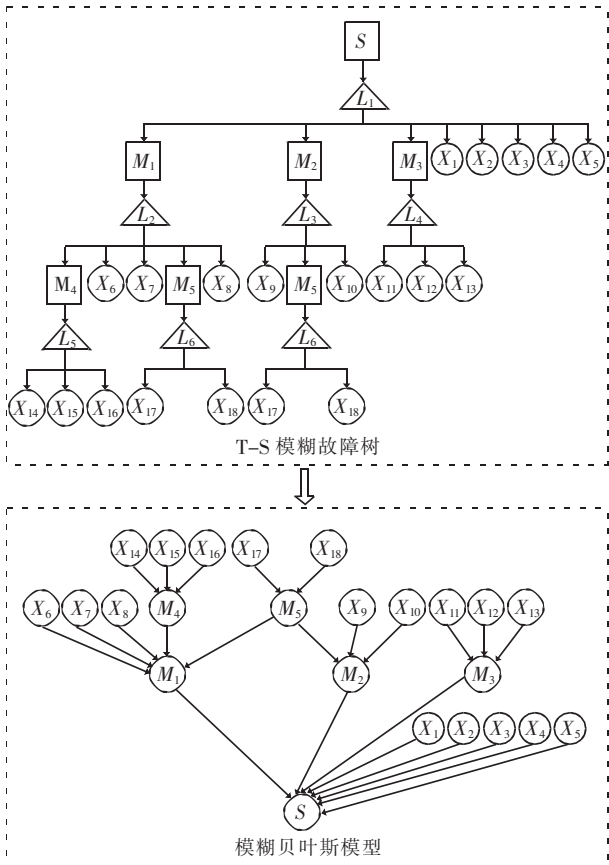


图 4 建立模糊贝叶斯

Fig. 4 Establishes a fuzzy bayesian

经计算可得, 在受电弓系统处于轻微故障时, 各根节点的概率重要度依次为 x_{18} (碳棒磨损)、 x_{15} (气阀漏气)、 x_9 (风管漏风) 等, 且都大于预设的预警阈值, 系统可根据此排序进行故障预警; 当受电弓系统处于完全故障时, 各根节点的概率重要度依次为 x_{15} (气阀漏气)、 x_9 (风管漏风)、 x_{14} (气缸漏气) 等, 且都大于预设的故障阈值, 可根据此排序进行故障诊断。

4 系统实现

4.1 系统编程方法

该运维管理系统以 B/S 架构为基础进行开发, 采用 Java 语言开发系统网页端并以 HTML 结合 Java Script 等 Web 技术展现前端页面。开发环境基于 Windows 操作系统, Visual Studio 2015 作为系统集成开发环境, 系统间的信息传输和交互通过 Web Service 接口进行连接。

数据库平台使用 SQL Server 2008 数据库及专

家数据库。采用 Spring DAO 等数据访问技术,不仅可以在持久化技术间来回切换,而且可以提升数据录入和查询效率。在系统服务后台调取数据资源后,利用 J2EE 技术架构结合 Java 服务器页面与 Java Script 程序的方法对图形用户层进行渲染。通过结合 Java Script 程序与 Unity player 等 BIM 协同中间件的交互实现 BIM 模型的操作与展示。

4.2 数据交互流程

地铁车辆设备 BIM 模型库与资产管理数据库和运维数据的交互可以组成完整的数据,能够使用户进行资产查询和定位,为车辆设备维修和管理提供了良好的数据支持。

BIM 模型库和资产管理库的交互,首先初始化 BIM 模型,加载系统。其次,用户填写资产信息并提交,系统调用数据接口进行查询。然后,若查询结果存在,那么将此模型载入资产列表;若查询结果不存在,那么返回提交信息。最后,载入并显示模型信息。

5 应用效果展示

5.1 功能主界面

该系统共有 4 个功能模块,包括整车浏览、BIM 管理、电气仿真、故障检修和系统管理。对此可得研发剖述如下。

整车浏览模块可使用户查看各系统电气设备结构组成及空间位置。BIM 管理模块使 BIM 模型与数据库信息建立起关联共享,实现与资产管理的交互,使用户进行资产查询和定位。电气仿真模块模拟地铁各电气系统工作原理,为用户展示电路逻辑。故障检修模块为车载控制系统和离线检修的故障数据提供了录入、故障预警和诊断功能。系统管理模块为权限设置模块,即仅允许技术开发人员登录,与服务后台相连,可对数据库进行增删查改、以及兼具系统维护等管理功能。

5.2 电气仿真界面

电气仿真功能模块如图 5 所示。首先,用户可以在“电路选择”项中选择受电弓升弓电路,该系统能够展示相应电路的 BIM 三维模型。用户通过操作司机操控板上的命令按钮,系统将以流水的动画形式模拟受电弓升弓的电路逻辑和升弓动作,电路进程状态即电流从带司机室的拖车(Tc)底部的辅助逆变器开始,经过司机室操控台、Tc 车电气柜、带受电弓的动车(Mp)中的电气柜、受电弓电机等,直至受电弓升起。在电路进程中可以任意调动观察视

角,以达到良好的可视化。在界面底部设有返回、暂停和进退等按钮,易于用户操作。



图 5 电气仿真界面

Fig. 5 Electrical simulation interface

5.3 电气检修界面

电气检修模块具有如下功能:车载控制系统的故障数据管理、车辆离线检修故障数据的管理和故障智能分析等。如图 6 所示,车载控制系统故障管理包括故障数据导入、检修记录录入、检修记录查询、故障编码维护等功能。其中,故障数据录入用于批量上传文件和查询等工作;检修记录录入用于检修信息的维护;故障编码维护用于故障数据的编码工作等。在检修记录录入功能中,用户可以通过查询条件栏对检修记录进行查询,并通过维护检修信息来对检修记录进行录入和修改。

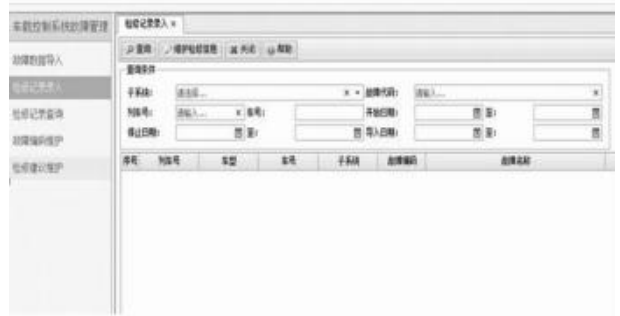


图 6 车载故障数据管理

Fig. 6 Vehicle fault data management

综上所述,还需指出,故障智能分析功能即是利用模糊贝叶斯方法对运维数据进行分析,根据各根节点故障概率重要度排序来发送提示。当点击各组成构件时,在系统界面中会弹出构件名称及故障概率重要度。如图 7 所示,深红色构件为碳棒且故障概率重要度最大,为 0.422;橙红色构件为气缸及风管,黑色构件为可靠性较强构件。在地铁运营期间,若出现电气设备故障报警,用户可根据颜色迅速排查故障,实现快速检修。



图7 受电弓预警

Fig. 7 Pantograph warning

5.4 智能检修应用实例

故障现象:某地铁车辆,9:45分,回库,DDU未显示故障,受电弓无降落,后使用救援模式受电弓降落。

故障诊断步骤:登录智能运维管理系统,进入功能主界面。点击“故障检修”模块,进入“电路选择”选项,选择“受电弓降弓”。在“故障现象”一栏中输入“DDU显示异常”。

系统显示结果:压力传感器,降弓指示器,位置传感器三处有不同程度的颜色闪亮,且系统提示故障概率重要度分别为:0.035 2,0.011 3,0.030 7。经检查,压力传感器出现故障。

6 结束语

设计了一种基于BIM技术的地铁车辆电气设备智能运维管理系统。该系统实现了模型信息管理功能、电气仿真功能和电气检修功能,具有良好的实

用性,不仅展现出良好的电气设备可视化效果,而且也可得到完整的资产管理数据和较高的车辆电气系统检修效率。此外,该系统还预留了有关数据接口,根据未来应用需求可对相关功能模块进行优化和完善,有利于后续的二次开发。

参考文献

- [1] National building information modeling standard version1-part 1: overview, principles, and methodologies [S]. Washington DC: National Institute of Building Sciences,2007.
- [2] 李健.基于BIM的地铁车站机电设备维修研究与应用[D].武汉:华中科技大学,2016.
- [3] 莫志刚,骆汉宾.基于BIM的地铁信号设备维护管理系统设计[J].铁路计算机应用,2018,27(1):59-63,73.
- [4] 和杉剑.BIM技术在轨道交通车辆全寿命周期管理中的应用研究[J].铁路计算机应用,2018,27(9):48-51.
- [5] HOMAYOUNI H,NEFF G, DOSSICK C. Theoretical categories of successful collaboration and BIM implementation within the AEC industry [C]//Proceedings of Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, Banff:[s.n.].2010:778-788.
- [6] 施平望,夏海兵.城市轨道交通BIM项目协同平台应用研究[J].都市快轨交通,2018,31(2):26-31,44.
- [7] 李乘展,罗紫萍,龙丹冰.基于机器学习的智慧BIM运维管理系统及BIM+MR的检修应用程序—以医院建筑为例[J].土木工程信息技术,2017,9(6):22-27.
- [8] 李兴运,齐金平.基于模糊贝叶斯网络的受电弓系统可靠性分析[J].铁道科学与工程学报,2018,15(6):1383-1390.
- [9] 孙秋兰.基于BIM的建筑设备维修决策系统研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [10] 吴景泰,王莲莲.基于FMECA模糊贝叶斯网络的无人机起落架可靠性分析[J].沈阳航空航天大学学报,2018,35(6):90-96.

(上接第208页)

用本文方法进行鱼雷攻击目标检测的抗干扰能力较强,准确检测概率较高,具有很好的目标检测和识别能力,优化了鱼雷的攻击效能。

参考文献

- [1] 赵威.强海水混响背景下水中兵器攻击目标检测研究[J].智能计算机与应用,2016,6(2):51-54.
- [2] 郑振,甘新年,王丽媛.基于自适应波束形成的鱼雷对潜目标识别技术[J].智能计算机与应用,2016,6(2):31-33,37.
- [3] 刘家亮,王海燕,姜喆,等.垂直线列阵结构对PTRM阵处理空间增益的影响[J].鱼雷技术,2010,18(4):263-267.
- [4] 刘少坤,闫晓鹏,栗苹,等.脉冲多普勒引信抗周期调制干扰性能研究[J].北京航空航天大学学报,2018,44(5):1018-1025.
- [5] 罗亚松,胡生亮,刘志坤,等.正交频分复用声通信自适应调制算法[J].国防科技大学学报,2017,39(1):153-158.

- [6] 徐彤.舰船无线通信多信道参数的抗干扰控制研究[J].舰船科学技术,2018,40(16):100-102.
- [7] KUMAR A, POOJA R, SINGH G K. Design and performance of closed form method for cosine modulated filter bank using different windows functions [J]. International Journal of Speech Technology, 2014, 17(4): 427-441.
- [8] RAJAPAKSHA N, MADANAYAKE A, BRUTON L T. 2D space-time wave-digital multi-fan filter banks for signals consisting of multiple plane waves[J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2014, 25(1): 17-39.
- [9] 江伟华,曹秀岭,童峰.采用支持向量机的水声通信信号调制识别方法[J].厦门大学学报(自然科学版),2015,54(4):534-539.
- [10] 张刚,徐联冰,张天骥.基于频分复用的无信号内干扰多用户相关延迟键控通信系统[J].上海交通大学学报,2019,53(5):575-583.