

文章编号：1005-8451（2017）07-0024-04

动车组故障检测机器人系统的设计与实现

李 卓

（中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所，北京 100081）

摘要：介绍故障检测机器人技术在动车组故障检测中的应用，研究以机器人技术代替人工进行动车组车底故障检测，解决检修压力过大，检修能力不足的问题，通过采用动车组故障检测机器人减少人为不可控因素对动车组车底故障检测的精度和工作效率的影响。降低对人工检测的依赖，提高动车组检修工作效率、工作质量、检测故障准确率，为动车组车底故障大数据分析提供数据基础。对动车组故障检测机器人的组成及功能、具体设计及柔性结构的实现进行详细的研究和叙述。

关键词：机器臂；AGV导航车；面阵相机；视觉识别技术

中图分类号：U266.2 : TP39 **文献标识码：**A

Fault detection robot system of EMU

LI Zhuo

（Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China）

Abstract: This article introduced the application of fault detection robot technology in the EMU fault detection, researched on the robot technology to replace manual work on EMU chassis fault detection, solved the problem of excessive maintenance pressure and insufficient maintenance capacity. Through the use of the fault detection robot system of EMU, it was reduced the effects on inaccuracy and low work efficiency caused by manual fault detection, decreased the dependence on manual detection, improved the efficiency, work quality and fault detection accuracy of EMU maintenance, and provided the data basis for the big data analysis of CRH. The article studied and described the composition, function, the specific design and the implementation of the flexible structure of the system in detail.

Keywords: robot arm; AGV navigation vehicle; plane array camera; visual recognition technology

云计算、物联网、大数据、人工智能、机器人、虚拟现实+轨道交通的发展思路已基本形成，推进智慧铁路、智能检修建设势在必行，将这些新技术应用于动车组检修，是铁路信息化、智能化发展的良好时机。

截止2016年底，全路已配属动车组2100多辆，随着动车组数量的不断增加，动车组检修的工作量也越来越大，为保证动车组检修作业的质量，对动车组检修人员素质和能力的要求也逐步提高。目前北京西、武汉、郑州火车站等地开始使用人脸识别刷卡闸机，机器人巡警来辅助现场工作人员的工作。机器人技术、人脸识别/图像检测技术正在逐步作为客运安全、铁路运输安全工作的重要手段，随着这些技术的不断成熟，将在铁路行业的更多领域得到应用。采用机器人故障检测技术手段代替人工检测

收稿日期：2017-03-10

基金项目：中国铁道科学研究院电子计算技术研究所基金（DZYF16-36）。

作者简介：李 卓，工程师。

已势在必行。基于现场的应用条件，本文研究通过机器人+视觉识别技术的方式来实现现场故障的自动化检测。

1 动车组检修机器人应用分析

动车组一级检修的检修周期是48 h或4 000 km（±10%），检修内容主要是进行动车组的例行检测，包括制动、轮轴、受电弓在内的全面检测，厕所排污、清扫保洁等操作。一级检修作业需要多个不同的班组配合才能完成，一般是由1、2号位作业人员完成车顶和车内相关项目的检测，由3、4号位人员完成车底以及车体两侧相关项目的检测。

目前动车组车底项目检测存在的问题有：

(1) 项目繁多复杂，包括对动车组走行部、制动配件、底架悬吊件、钩缓连接、转向架、踏面、轮缘、轮辋等部位车底多个重要部件的检测，目前的检测方式是通过手持摄像手电进行摄录及检测，受检修

作业人员的经验和记忆等问题的影响，漏检问题普遍存在。

动车组车底故障检测项目位置多变，受照明条件不足、目视长时间使人体疲劳度上升等不可控因素影响，比较容易造成错检。

(2) 检测方式为人工检测，对检测过程中的故障点的记录不能有效分离，对于事后查找问题、复现检测过程比较复杂。

(3) 对于人工检测方式，检修作业人员的检修经验因人而异，很难进行有效的经验积累和传递，无法为动车组检修故障大数据分析提供有效依据。

(4) 动车组车底故障检测为一级修作业，所在股道的长度较长约 500 m，整个动车组车底故障检测的时间较长，工作效率不高。

针对以上问题，本文提出通过故障检测机器人技术手段代替检修作业人员人工检测作业。

2 系统架构

2.1 总体架构设计

动车组故障检测机器人系统是用故障检测机器人代替检修作业人员对动车组车底故障来进行测量、识别和判断。动车组故障检测机器人是通过故障检测机器人技术(自动引导运输车(AGV)和六轴机械臂)，及自动控制图像采集设备(面阵相机，分为 CMOS 和 CCD 两类)，通过预编程的方式，对动车组车底故障进行自动行走、智能定位、自动拍摄，将被摄取目标故障图像信息(故障的形态特征及像素分布等信息)，以编码的方式传输给专用的图像处理服务器进行处理，与动车组车底原始图像数据进行对比、分析，进行自动报警提示，实现对动车组底部故障的自动排查。再通过检修作业复核人员人工复核、报警信息查询、故障统计分析等手段完善动车组一二级修管理工作。动车组故障检测机器人系统总体架构，如图 1 所示。

2.2 业务流程设计

动车组故障检测机器人在收到检修任务后，自动开始逐步对每个预设故障点进行检测，检测完毕后将所有的预设故障点图像信息数据发送至故障识别处理服务器，故障识别处理服务器通过图像识别、

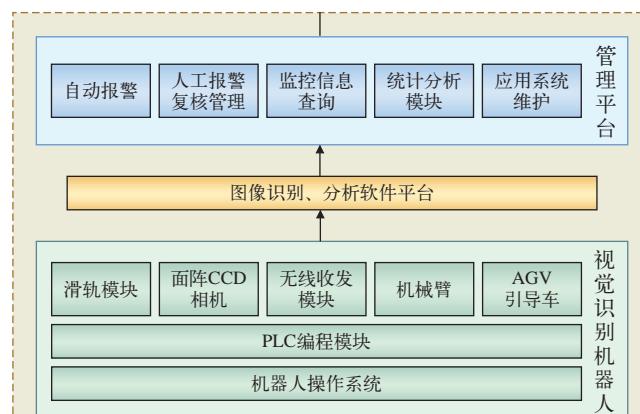


图1 动车组故障检测机器人系统总体架构

分析算法对所有故障特征进行识别、分析，发现异常故障特征将该异常故障进行自动上报，对该异常故障信息可以通过人工确认或者复核等方式最终确定目标故障，如果确认则将故障上报至故障数据库存储，并且由相关检修作业人员对该故障进行及时的修复。主要的业务流程，如图 2 所示。

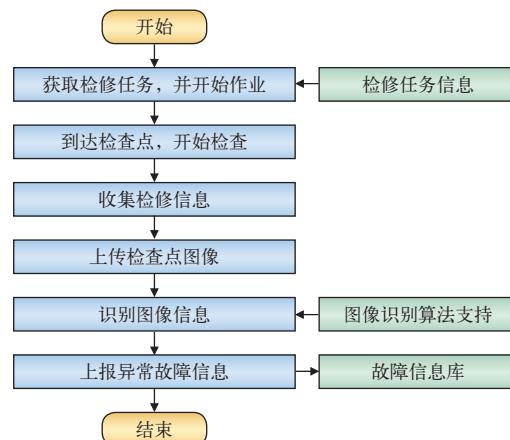


图2 动车组故障检测机器人系统业务流程设计图

2.3 硬件设计

动车组故障检测机器人系统硬件主要包括 AGV、轨道平台、六轴机器人和 CCD 面阵相机设备、可编程控制器(PLC)、故障识别服务器等硬件设备，通过对所有硬件设备的集成，建立的自动化、智能化检测系统，其总体物理设备构成，如图 3 所示。

3 系统功能

3.1 自动报警

自动报警主要是指通过所在动车组故障检测机器人视频采集设备，对经检测各动车组车底的实时采集的图像数据与原始数据进行对比、检索故障状

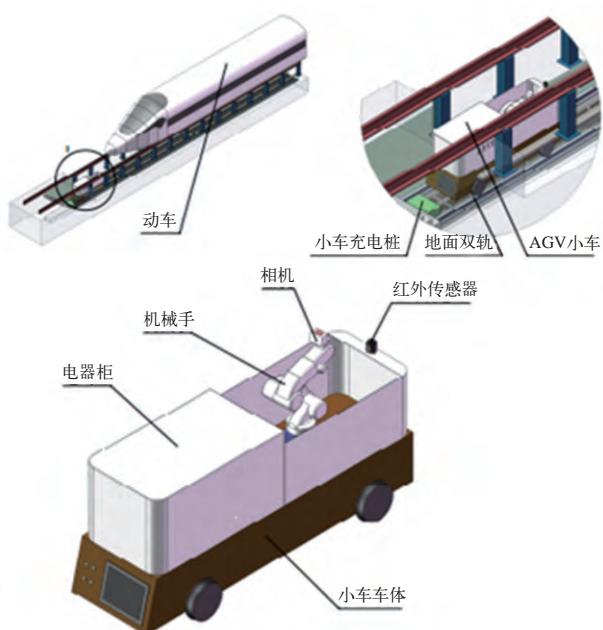


图3 动车组故障检测机器人系统物理设备构成图

态图像数据，并通过自动报警措施，对故障问题实时上报，对故障状态数据及相关信息实时上传，以及对监控设备自身运行状态实时检测等。主要包括：车底图像监控、传输监控、自动报警和设备监控等。

3.2 人工报警复核

人工报警复核主要是指动车组故障检测机器人系统上传报警信息后，经过人工确认后的复核信息、故障图像内容，以及故障反查内容的显示功能等。主要包括：图像报警、人工复核、图像反查和故障显示等。

3.3 监控信息查询

监控信息查询主要是指动车组故障检测机器人系统上传报警信息后，对经检测各动车组的车次、车号、车种车型、检测时间、故障发现单位、故障类型、故障处理状态、故障处理人、故障处理时间等信息查询并上报的功能。主要包括：车次信息查询、车辆信息查询、故障信息查询和设备信息查询等。

3.4 信息统计分析

统计分析主要是指动车组故障检测机器人系统对所收集的动车组运行状态、报警信息进行统计分析，形成汇总数据及相应报表，便于指导运输计划及检修计划等。主要包括：运行信息统计、故障信息统计、设备状态统计和信息分布统计等。

3.5 应用系统维护

系统维护主要是指动车组故障检测机器人系统自身维护的信息。主要包括：人员维护和设备维护等。

4 核心关键技术

4.1 高精度图像识别技术

高准确性的动车组故障检测自动报警，可以为运用检修提供有效的技术支撑。利用机器人检测动车组车底故障图像数据，研究高效的故障识别技术是动车组故障检测机器人系统的重要创新技术。通过参考动车组车底原图像与故障图像的自动分析和比对，对异常部位进行有效的差异识别，并自动进行报警等级的标记与分类，以实现动车组车底故障的自动识别与预报，为一级修检修作业、检修管理的高效率监控奠定基础。

4.2 机器人智能定位技术

研究机器人智能导航、智能定位技术是建设检测机器人系统的一项重要基础工作。围绕系统建设目标，根据各型机器人设备的技术特点、接入方式等因素，制定统一的控制流程，提出完整的控制方案，有效降低系统集成的技术复杂度，减少项目研发和实施的总体成本。

4.3 机器学习技术

机器学习是通过机器人对同一故障目标识别的反复训练，通过编程语言改进、故障特征识别准确度的提高，自动改进和完善的图像识别算法。利用机器学习，不断提升机器人故障识别技术判断的准确率，实现高准确率的故障上报，在足够海量数据的前提下，最终实现人工零复核。

4.4 海量图像数据传输与处理技术

针对海量车底故障图像数据与有限网络带宽之间的矛盾，研究制定相应的数据处理与传输方案是解决网络传输瓶颈的重要方法。根据车底故障图像数据的数据特点，设计高清图像压缩传输的技术方式，在保障图像质量的基础上有效地降低图像数据量，研究有限带宽下大数据量传输的网络传输方案，在高效利用网络带宽的基础上，实现海量数据的实时传输。

4.5 运用检修与基础管理业务整合技术

(下转 P36)

多方面因素的影响，这在本文中尚未考虑，在后续工作中还应做进一步的研究。

参考文献：

- [1] 苗建瑞, 王莹, 杨肇夏. 基于最优接续网络的动车组交路计划优化模型与算法研究 [J]. 铁道学报, 2010, 32 (2) : 1-7.
- [2] 李华, 韩宝明, 张琦, 等. 动车组交路计划优化模型与算法研究 [J]. 铁道学报, 2013, 35 (3) : 1-8.
- [3] 王忠凯. 动车组运用检修计划优化方法的研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2012.
- [4] 杨文韬, 周强. 客运专线动车组交路计划模型研究 [J]. 铁道运输与经济, 2013, (12) : 30-36.
- [5] 黄兴亮. 动车组交路计划编制优化理论与方法研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [6] PJ Fioole, L Kroon, G Maróti, et al. A rolling stock circulation

model for combining and splitting of passenger trains [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174 (2): 1281-1297.

- [7] A Alfieri, R Groot, L Kroon, et al. Efficient Circulation of Railway Rolling Stock [J]. TRANSPORTATION SCIENCE, 2006, 40(30): 378-391.
- [8] SP Hong, KM Kim, K Lee, et al. A pragmatic algorithm for the train-set routing: The case of Korea high-speed railway [J]. 2009, 37(3):637-645.
- [9] 王继强. 基于 LINGO 的旅行商问题的建模方法 [J]. 计算机工程与科学, 2014, 36 (5) : 947-950.
- [10] I Kara, T Bektas. Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variation [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(3):1449-1458.

责任编辑 徐侃春

(上接 P26)

制定动车组故障检测机器人检测作业与管理业务流程的整合解决方案，在保障检修作业的基础上，开发统一的动车组车底故障机器人检测作业平台应用软件，使机器人检测作业、预警与故障处理、故障分析等相关业务流程密切融合，以形成通过多部门协调联动来快速响应预警、及时处理安全隐患和有效地控制事故发生。

5 结束语

动车组车底故障检修机器人已经中国铁道科学研究院电子计算技术研究所研制完成，相关同类产品并于 2016 年 11 月在上海动车段虹桥动车所进行了试验应用，实验效果得到确认，应用效果正在进一步完善：克服一级修检修条件的限制和人为不可抗拒因素的影响，避免了漏检情况发生，并在机器训练完善后达到零漏检零错检的目标；实现了车底故障的标准化、信息化录入，完成了独立故障事件的追述，实现对故障事件还原并复核操作要求；提供了故障录入的标准化格式，为故障的大数据分析提供了数据基础；提高了动车组车底故障检测效率，

单编组动车组车底重点故障检测时间 <60 min，伴随机器训练的不断完善，故障检测时间将 <30 min；提高了动车组车底故障检测精度，未来故障识别率将达到 100%。降低了检修作业工人的工作强度和工作压力，可以逐步替代人工检测，解放检修能力。通过建立动车组故障检测机器人系统可以有效代替一级修车底故障的人工作业检测，有效降低检修作业人员工作强度和压力；并通过机器训练的方式逐步完善，实现对故障检测零误报和漏报，极大地提高故障检测准确率、生产效率；并为动车组检修故障大数据分析提供标准格式的数据支持。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国铁道部运输局. 动车组管理信息系统总体方案 [R]. 北京: 中华人民共和国铁道部运输局, 2009.
- [2] 史天运. 动车组管理信息系统及其关键技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [3] 匡双芹. 动车组检修基地与动车检修分析 [J]. 产业与科技论坛, 2011, 10 (2) : 90-91.
- [4] 孙征. 机器人在助推智能制造产业 [R]. 北京: 中国机器人协会, 2017.

责任编辑 徐侃春