

铁路轨道几何状态动态检测数据的智能分析与养护决策系统

李海

国能(天津)大港发电厂有限公司

DOI:10.12238/jsse.v3i3.14934

[摘要] 国外在铁路轨道检测与养护技术方面的起步较早,其研究成果丰富。像美国、德国等国家都已研发了先进的轨道检测设备和智能化分析系统,均能够实现轨道几何状态的高精度动态检测与自动化分析。虽然国内近年来在铁路轨道检测与养护领域也取得了显著的进展,已然研发出了多种轨道检测设备,并且还在智能分析算法和养护决策系统研究方面不断地进行深入。但与国外相比而言,国内在检测设备的精度、智能分析算法的准确性和养护决策系统的智能化水平等多个方面仍存在一定的差距,需要进一步进行加强研究与创新。为此本文针对于铁路轨道几何状态检测与养护需求,深入地研究了铁路轨道几何状态动态检测数据的智能分析方法与养护决策系统构建,希望可以有效地提升轨道检测分析效率与养护决策准确性,进而为保障铁路安全高效运行提供技术方面的支持。

[关键词] 铁路轨道; 几何状态; 动态检测; 智能分析; 养护决策系统

中图分类号: F530.32 文献标识码: A

Intelligent analysis and maintenance decision-making system for dynamic detection data of railway track geometry status

Hai Li

Guoneng (Tianjin) Dagang Power Plant Co., Ltd.

[Abstract] Foreign countries started early in railway track inspection and maintenance technology, and their research results are abundant. Countries such as the United States and Germany have developed advanced track detection equipment and intelligent analysis systems, which can achieve high-precision dynamic detection and automated analysis of track geometry status. Although significant progress has been made in the field of railway track inspection and maintenance in China in recent years, various track inspection equipment has been developed, and research on intelligent analysis algorithms and maintenance decision systems is continuously deepening. However, compared with foreign countries, there is still a certain gap in the accuracy of detection equipment, the accuracy of intelligent analysis algorithms, and the intelligence level of maintenance decision-making systems in China, and further research and innovation are needed. Therefore, this article focuses on the requirements of railway track geometry state detection and maintenance, and deeply studies the intelligent analysis method of dynamic detection data of railway track geometry state and the construction of maintenance decision-making system. It is hoped that this can effectively improve the efficiency of track detection and analysis and the accuracy of maintenance decision-making, and provide technical support for ensuring the safe and efficient operation of railways.

[Key words] railway track; Geometric state; Dynamic detection; Intelligent analysis; Maintenance Decision System

引言

铁路是国家重要的基础设施,它在国民经济发展中占据着关键的地位。但由于铁路运输持续地向着高速化、重载化方向发展,因此对铁路轨道的安全性及稳定性提出了更高的要求。此时就需要注意到轨道几何状态这一衡量轨道质量的重要指标,

其状态的优劣会直接地影响到列车运行的安全性、平稳性和舒适性。一般情况下,铁路轨道在长期列车的荷载作用及自然环境影响下,一定会出现轨距变化、水平不平顺、高低不平顺等几何状态的问题。可是传统的人工检测与经验式养护方式效率低、主观性强,它已经难以满足现代铁路运输的需求。

1 铁路轨道几何状态动态检测数据采集

1.1 动态检测原理

铁路轨道几何状态的动态检测主要是基于惯性导航、激光测量、图像识别等技术。就惯性导航系统来说,该系统主要是通过加速度计和陀螺仪来实时地测量列车的加速度和角速度信息,再结合已知的轨道参数,计算出轨道的高低、水平、轨向等几何状态参数。激光测量技术则利用的是激光传感器发射激光束,借此测量轨道表面的轮廓信息,从而获取轨距、轨面平整度等数据。而图像识别技术主要是通过高清摄像头来采集轨道图像,随后利用图像处理算法识别出轨道部件的特征,以此检测轨道几何状态异常^[1]。

1.2 检测设备

目前常用的铁路轨道几何状态动态检测设备包括了轨道检测车、车载式检测装置等。展开来说:轨道检测车是一种专门用于轨道检测的车辆,通常会为它配备先进的检测系统,保证它能够在列车运行过程中对于轨道的几何状态进行全面地检测,并确保检测数据是准确可靠的。虽然轨道检测车的检测效率高,但其设备成本较高。而车载式检测装置可以安装在普通列车上,仅利用列车运行进行轨道检测即可,它具有成本低、灵活性强的特点,可是检测的精度相对轨道检测车来说略低。一般不同的检测设备适用于不同的检测场景和需求,相关人员在实际应用中可根据具体的情况选择合适的检测设备进行检测。

1.3 数据类型与特点

铁路轨道几何状态动态检测数据涉及到了轨距、水平、高低、轨向、曲率等几何参数数据,以及检测时间、检测位置等辅助信息。而上述这些数据具有以下特点:首先是数据量大,并且随着检测频率的提高和检测里程的增加,数据量会呈快速增长的趋势;其次是实时性强,表现为动态检测数据能够实时地反映出轨道当前的几何状态;再者数据还具有时空特性,即每个检测数据都与特定的时间和空间位置相关;此外数据还存在着噪声,其容易受到检测设备精度、列车运行振动等因素影响,所以检测数据中不可避免地存在着噪声干扰。

2 铁路轨道几何状态动态检测数据智能分析方法

2.1 数据预处理

由于原始的检测数据当中存在噪声和异常值,它们会影响到后续的分析结果,因此需要进行数据的预处理。而数据预处理即数据清洗、数据滤波和数据归一化等操作。展开来说:数据清洗是通过设定合理的阈值,去除掉明显异常的数据点;数据滤波则采用的是数字滤波算法,如均值滤波、中值滤波等,从而去除数据中的噪声;而数据归一化则是将不同量纲的数据转换到同一数值区间,以便于后续的数据分析和模型训练。

2.2 机器学习算法应用

2.2.1 轨道状态分类。轨道状态分类利用的是支持向量机(SVM)、随机森林等机器学习算法,基于此对轨道几何状态数据进行分类,此时会将轨道状态分为良好、一般、不良等类别。之后通过对大量历史检测数据的学习训练,建立起分类模型,即可

实现对轨道状态的快速准确评估。

2.2.2 异常检测。在实践当中进行异常检测时,一般会采用孤立森林、One-Class SVM等算法进行检测。原因在于上述这些算法能够在没有正常样本标签的情况下,依然识别出数据中的异常点,保证相关人员可以及时地发现轨道潜在的安全隐患。同时当检测到某段轨道的几何参数出现异常波动时,算法也能够快速地发出预警信号。

2.2.3 趋势预测。趋势预测一般运用的是时间序列分析算法,像ARIMA模型、LSTM(长短期记忆网络)等等,均可对轨道几何状态参数进行趋势预测。此操作的目的是通过分析历史数据的变化规律,来预测轨道状态在未来一段时间内的发展趋势,进而为提前制定养护计划提供坚实的依据。

2.3 深度学习算法应用

2.3.1 基于卷积神经网络(CNN)的图像识别。因为CNN能够自动地提取图像中的特征信息,从而识别出轨道部件的异常情况,如钢轨磨损、扣件缺失等。所以对于通过图像识别技术所采集到的轨道图像数据,可以采用CNN进行处理。进一步来说,通过大量的轨道图像数据训练CNN模型,不断地优化模型参数,还能够提高图像识别的准确率^[2]。

2.3.2 基于Transformer的序列数据分析。Transformer模型在处理长序列数据方面具有一定的优势,因此它可应用于轨道几何状态时间序列数据的分析。即将轨道几何参数随时间变化的序列数据输入Transformer模型,从中挖掘出数据中的复杂特征和规律,进而提高轨道状态分析和预测的准确性。

3 铁路轨道养护决策模型构建

3.1 养护决策影响因素分析

铁路轨道的养护决策会受到轨道几何状态检测数据、列车运行速度和密度、轨道结构类型、自然环境条件等多种因素的影响。其中轨道几何状态数据是养护决策的直接依据,当轨道几何参数超出了允许的范围时,就需要及时地进行养护维修。而列车运行速度和密度越大,对于轨道的磨损和破坏作用越强,此时养护的周期应相应地进行缩短。不同的轨道结构类型通常具有不同的性能特点,所以养护的策略也会有所差异。最后则是温度变化、降雨、冻融等自然环境条件的影响,其一般会对轨道状态产生影响,因此在养护决策时依然需要充分地考虑。

3.2 养护决策模型建立

3.2.1 基于规则的决策模型。基于规则的决策模型建立,即根据铁路行业标准和养护经验,制定出一系列的养护决策规则。例如当轨距偏差超过规定限值时,就应立即进行轨距调整,但当轨道高低不平顺超过了一定的阈值时,则需要安排起道捣固作业。在实践中这种模型虽然简单且直观,易于实现,但其缺乏了灵活性,因此难以适应复杂多变的轨道状态。

3.2.2 基于优化算法的决策模型。优化算法的决策模型当中一般采用的是遗传算法、粒子群优化算法等算法,要以养护成本最小化、轨道安全性最大化等为目标,建立起养护决策模型。其应用是通过对多个养护方案进行优化计算,选择出最优的养护

时间、养护方式和养护资源配置,以此提高养护决策的科学性和经济性。

3.2.3智能决策模型。结合机器学习和深度学习算法,构建起智能养护决策模型。随后可将轨道几何状态检测数据、列车运行信息、环境数据等作为模型输入,再通过模型学习和推理,自动地生成养护决策建议。如利用强化学习算法,能够让模型在不同的轨道状态和养护决策场景中进行学习,进而不断优化决策策略,最终可以提高养护决策的智能化水平。

3.3 养护决策流程

铁路轨道的养护决策流程可分为数据采集与分析、状态评估、决策制定和方案实施这四个阶段^[3]。第一阶段是通过动态检测设备采集到轨道几何状态数据,并且对其进行智能的分析处理;第二阶段需要根据分析的结果,来评估轨道的状态,目的是判断出轨道是否需要养护以及养护的紧急程度;第三个阶段则是依据养护决策模型制定出具体的养护方案,其中应包括养护时间、养护方法、所需资源等多个方面的内容;第四阶段即组织实施养护方案,还要对养护的效果进行跟踪评估,此举可以为后续的养护决策提供参考。

4 铁路轨道几何状态智能分析与养护决策系统设计

4.1 系统架构设计

在铁路轨道几何状态智能分析与养护决策系统之中,一般应采用分层架构设计,当中主要包括了数据采集层(通过检测设备采集轨道几何状态数据并传输至数据存储层)、数据存储层(对采集到的数据进行存储和管理)、智能分析层(分析与处理数据,以实现轨道状态评估、异常检测和趋势预测等功能)和应用服务层(为用户提供可视化的操作界面,能够实现养护决策制定、方案管理、数据查询与统计等功能)。

4.2 功能模块划分

4.2.1数据管理模块。该模块需要保证轨道检测数据的导入、导出、存储、查询和删除等功能,且要对数据进行统一的管理,务必确保数据的完整性和安全性。同时还应支持数据的备份和恢复操作,防止数据丢失情况的发生。

4.2.2智能分析模块。智能分析模块包含了数据预处理、轨道状态分类、异常检测、趋势预测等功能。其可通过运用机器学习和深度学习算法,对于轨道几何状态数据进行深入地分析,以此为养护决策提供数据方面的支持。

4.2.3养护决策模块。此模块会根据智能分析结果,再结合养护决策模型,制定出具体的养护决策方案。随后用户可以在该模块中对养护方案进行编辑、优化和审批,接着生成最终的养护计划。

4.2.4可视化展示模块。在可视化展示模块会以图表、地图等直观的方式展示轨道几何状态数据、分析结果和养护决策信息。此时用户可以通过可视化界面实时地查看轨道状态分布、

异常位置和养护进度等情况,方便用户进行决策和管理。

4.2.5系统管理模块。系统管理模块负责的是系统用户管理、权限设置、系统参数配置等功能,其任务是保障系统的正常运行和数据安全。此外也要对系统日志进行记录和管理,便于相关人员进行系统维护和故障排查。

4.3 系统开发技术选型

推荐相关人员进行系统开发时采用B/S(浏览器/服务器)架构,其中前端采用HTML5、CSS3和JavaScript等技术来实现用户界面设计和交互功能,后端则采用Java或Python语言开发,再利用Spring Boot、Django等框架搭建起系统服务。对于数据库的选用,推荐的是MySQL、PostgreSQL等关系型的数据库,又或者使用MongoDB等非关系型的数据库进行数据存储。而智能分析算法部分则可采用TensorFlow、PyTorch等深度学习框架和Scikit-learn等机器学习库来实现。

5 结语

综合上述所有的内容来看,本文通过对动态检测数据采集原理的研究,明确了数据采集方法和设备,同时提出了运用机器学习和深度学习算法来实现对轨道几何状态数据的智能分析,其中包括数据预处理、状态分类、异常检测和趋势预测等。另外在文中还构建了科学的养护决策模型,且设计了合理的系统架构和功能模块,最终所构建的系统能够提高轨道检测分析效率和养护决策准确性,可以为铁路轨道养护提供科学的技术支持。

但是在未来随着人工智能、物联网等技术的不断发展,相信铁路轨道几何状态智能分析与养护决策系统一定会朝着更加智能化、更精准化的方向发展。针对于此,相关人员一方面可以进一步去优化智能分析算法,旨在提高算法的准确性和实时性,使其可以更好地适应复杂且多变的轨道状态;另一方面则是要加强系统与物联网设备的融合,目的是促使轨道状态的实时在线监测和智能预警更好的实现;此外还可以开展多源数据融合分析,即将轨道检测数据与列车运行数据、环境监测数据等进行融合,如此能够为养护决策提供更为全面的依据。

[参考文献]

- [1]苏宇.基于动态检测的线路状态评定与维修策略研究[D].甘肃省:兰州交通大学,2023.
- [2]刘雅萱.基于构架运动状态的轨道几何形位检测方法研究及应用[D].河北省:石家庄铁道大学,2024.
- [3]许豪.基于动态检测数据的铁路轨道质量状态评价研究[D].北京市:北京建筑大学,2021.

作者简介:

李海(1973—),男,汉族,河北省深州市人,本科,职称:工程师,从事的研究方向:铁路安全。