

Application of artificial intelligence in electromechanical monitoring of expressway

Xiaojian Wang

Hebei Expressway Group Co., Ltd., Beijing Shanghai Branch, Cangzhou, Hebei, 061001, China

Abstract

In recent years, with the continuous expansion of expressway construction, the electromechanical system, as a core infrastructure ensuring the safe and efficient operation of highways, has seen increasing monitoring demands. Traditional electromechanical monitoring methods, reliant on manual inspections and fixed threshold alarms, suffer from issues such as delayed responses, limited coverage, and insufficient fault prediction capabilities, making them inadequate for meeting the requirements of modern expressway networks' intelligent operation. Against the backdrop of modern society, artificial intelligence (AI) technology offers a novel solution for expressway electromechanical monitoring, leveraging its powerful data processing, feature extraction, and pattern recognition capabilities. This paper focuses on the application of AI in expressway electromechanical monitoring, analyzing the core value of AI technology in this field. It further explores specific application pathways in electromechanical equipment condition monitoring, fault diagnosis, and energy consumption optimization, aiming to further enhance the monitoring efficiency and intelligent level of expressway electromechanical systems.

Keywords

Artificial Intelligence; Expressway; Electromechanical Monitoring; Application

人工智能在高速公路机电监测中的应用

王晓健

河北高速公路集团有限公司京沪分公司, 中国·河北·沧州 061001

摘要

近年来, 伴随高速公路建设规模的持续壮大, 机电系统作为保障公路安全高效运行的核心基础设施, 其监测需求日益提升。传统机电监测方法依赖人工巡检与固定阈值报警存在响应滞后、覆盖范围有限、故障预判能力不足等问题, 难以满足现代高速公路网络化、智能化运营的要求。现代化社会背景下, 人工智能技术凭借其强大的数据处理、特征提取和模式识别能力为高速公路机电监测提供了全新的处理方案。本文围绕人工智能在高速公路机电监测中的应用展开研究, 分析人工智能技术应用于该领域核心价值的基础上, 探讨了其在机电设备状态监测、故障诊断、能耗优化等方面的具体应用路径, 希望能够进一步提升高速公路机电系统监测效率与智能化水平。

关键词

人工智能; 高速公路; 机电监测; 应用

1 引言

高速公路是现代交通运输的重要组成部分, 其通行效率和安全性直接影响着区域社会发展和出行群众生命财产安全。高速公路机电系统(包含收费、监控、通信、供配电多个子系统)是保障高速公路正常运营的“神经系统”和“大脑中枢”。随着路网的扩张和机电设备的老化, 高速公路机电系统的传统监测方式存在效率低、投入花费高、故障预警缓慢等问题, 很难满足新时期对高速公路精细化管理的要求。人工智能的发展为解决该问题提供了新的思路, 人工

智能在数据处理、深度学习、图像分析等方面的突出优势, 可以对机电系统的运行状态进行实时监测、精准研判、快速决策, 对高速公路机电系统的安全高效稳定运行、减少机电系统的运行维护成本等具有重要的现实和理论意义。

2 人工智能在高速公路机电监测中面临的挑战

目前, 人工智能在高速公路机电监测的应用存在诸多挑战。比如数据方面, 机电系统中的子系统、设备、采集设备、软件众多, 数据的采集需要大量的设备, 其中老旧设备采集精度低、易产生偏差、数据采集易失真、缺失、数据质量差, 子系统的数据格式各异, 缺乏统一整合。数据传输受恶劣天气及复杂电磁环境影响, 导致数据质量差, 难以训练算法模型。算法模型层面, 现有的算法模型一般基于场景和设备的特定历史数据训练, 而不同路段由于地理、环境、交通、设

【作者简介】王晓健(1990-), 男, 中国河北沧州人, 本科, 从事电气工程及其自动化研究。

备、工况的差异，模型会出现“水土不服”，设备也在不断的更新迭代中，算法模型难以跟上设备的更新。安全方面，分享的子系统数据受网络攻击的风险大，易造成数据篡改、决策失真、升级迭代。分享的部分敏感信息如交通流量、收费交易信息、收费决策信息泄露或被动对抗攻击，对数据安全和决策安全有较大影响。运维和监测体系不但缺乏统一运维和监测的技术保障手段，而且运维升级人才缺少熟悉人工智能技术和机电系统兼备的复合型人才。

3 人工智能在高速公路机电监测中的应用价值

3.1 提升监测效率，降低人力成本

传统高速公路机电监测主要依赖人工巡检，工作人员需定期沿线路排查收费设备、监控摄像头、通信基站等各类设施，不仅仅耗时耗力，而且还易受恶劣天气、交通状况等因素影响，导致监测周期长、覆盖范围受限等问题出现。而人工智能技术经过构建自动化监测系统可对机电设备运行数据进行实时采集与分析，大幅减少人工干预。比如某省高速公路管理部门引入根据人工智能数据采集与分析平台后将机电设备巡检周期从原来的7天缩短至24小时，巡检人员数量减少40%每年节省人力成本约200万元，该系统可经过传感器网络达成对沿线数万个监测点全覆盖，从而防止人工巡检中因视觉盲区或人为疏忽导致漏检问题，使监测效能提升60%以上有效保障机电系统运行状态的实时可控^[1]。

3.2 增强故障预判能力，减少故障损失

基于现状而言，机电设备故障发生后所采取的维修以及定期维修工作会产生极大的经济损失和影响。人工智能技术通过机电设备的历史数据、历史故障数据的学习对故障发生进行预测对故障发生进行建模，对发生故障的实时特征进行识别对设备故障发生进行预警，对人工和阈值方法无法检测的设备多种信息运行过程中的异常进行实时识别。从技术机理上，人工智能算法可以实时对设备的电压、电流、温度、振动多信息进行监测和异常捕获，捕获的异常往往是故障发生早期的特征，无法被人工和传统阈值检测捕获。设备故障发生可以提前提醒运维人员采取更换部件、调整参数等消除故障发生前的故障影响、延缓设备的退化寿命，避免恶化、增加故障的停机时间和成本、减少设备故障影响、提高设备的退化寿命。

3.3 优化资源配置，提升系统整体可靠性

高速公路机电系统由多个子系统构成，各子系统之间存在复杂的关联关系，某一设备故障则会引发连锁反应影响全部系统的正常运行。传统监测方法往往针对单独设备或子系统实行独立监测缺乏，并对系统整体运行状态统筹分析，这样就会使得资源配置不合理，难以实现系统级的优化管理^[2]。人工智能技术经过构建全局监测与分析模型可实现对机电系统各子系统运行数据整合与关联分析，明确各设备、各子系统之间的相互影响，从而优化资源配置。例如某高速

公路监控中心根据人工智能技术构建机电系统资源调度模型，经过分析各类时段、不同路段交通流量和机电设备运行负荷，动态调整监控摄像头拍摄角度、通信带宽的分配比例以及供配电系统输出功率（如下表所示），该模型应用后，均得到显著提升对于机电系统各子系统资源利用率同可靠性，其中通信系统带宽利用率从原来的55%提升至80%，供配电系统故障率下降35%，监控系统画面清晰度达标率维持在98%以上有效提升全部机电系统运行可靠性和资源利用效率。

表 1

子系统	优化前指标	优化后指标	提升幅度
通信系统	带宽利用率 55%	带宽利用率 80%	25%
供配电系统	故障率 12%	故障率 7.8%	35%
监控系统	画面清晰度达标率 90%	画面清晰度达标率 98%	8%

4 人工智能在高速公路机电监测中的应用

4.1 基于深度学习的设备状态监测

对于高速公路机电监测系统而言，深度学习技术的运用能够经过多层神经网络对机电设备运行数据实行深度挖掘提取隐藏在数据中的特征信息，从而实现对设备状态的精准监测。在高速公路供配电系统中，变压器作为重点设备，其运行状态直接影响供电稳定性。传统状态监测方法多依赖人工检测油温和电压并且难以全面体现设备内部状态。根据深度学习的监测系统经过在变压器上安装振动传感器、温度传感器等设备，实时采集振动信号、温度信号等多维度数据，并将数据输入卷积神经网络（CNN）模型实行训练，该模型能够自动学习变压器正常运行与异常运行时的信号特征当检测到信号特征和异常模型匹配时，立即发出预警。比如某高速公路段应用该技术后，变压器故障检出率提升至95%较传统方法提升30个百分点，有效防止因变压器故障导致的供电中断问题。

4.2 基于计算机视觉的收费设备监测

计算机视觉技术经过摄像头采集图像信息结合图像识别和处理算法，达成对收费设备运行状态自动监测。高速公路收费系统中的车道控制器、读卡器、栏杆机等设备在长期运用过程中易发生部件损坏、卡滞等故障，影响收费效能。根据计算机视觉监测系统经过在收费车道安装高清摄像头实时拍摄收费设备的运行图像，并将图像传输至后台处理系统，系统采用YOLO（YouOnlyLookOnce）目标检测算法对图像中的收费设备部件实行识别与定位，判断部件是否存在变形、缺失等异常情况监测栏杆机的升降速度和读卡器读卡时间，当发现设备运行参数超出正常范围时而且自动生成故障报告并推送至运维人员，该技术无需对现有收费设备实行改造，兼容性强能够实现对收费设备全天候实时监测，保障收费系统的平稳运行^[3]。

4.3 基于机器学习的故障诊断应用

机器学习技术经过对大量机电设备故障数据学习构建故障诊断模型,实现对设备故障类型的高速识别与定位。高速公路监控系统中的摄像头由于长期暴露在户外,易受雨水、灰尘、低温等环境因素影响发生镜头模糊、图像偏色、无法聚焦等故障,传统故障诊断须要运维人员到现场排查耗时较长,根据机器学习的故障诊断系统经过收集历史故障数据涵盖故障现象、故障原因、处理方法等信息,采用支持向量机(SVM)算法构建故障诊断模型。当监控摄像头发生故障时,系统将设备上传的故障现象数据输入模型,模型经过对比分析高速判断故障类型和故障位置,并给出相应处理提议,运维人员根据系统提供的诊断效果可携带相应的工具同备件前往现场维修,大幅缩短故障处理时间,此项技术的运用不但可以提升故障诊断准确性,而且还能够降低运维人员的工作难度,提升故障处理效率^[4]。

4.4 基于数据挖掘的能耗优化监测

数据挖掘技术的运用,能够从机电系统海量能耗数据中挖掘潜在的能耗规律为能耗优化提供决策支持。对于高速公路机电系统能耗而言,其主要来自供配电系统、空调系统、照明系统等,其中供配电系统能耗占比最大,根据数据挖掘能耗优化监测系统,经过采集供配电系统电压、电流、功率等能耗数据结合交通流量、环境温度、时间段等影响因素,采用关联规则挖掘算法分析各因素和能耗之间的关联关系,找出能耗异常的原因^[5]。与此同时系统经过分析发现在交通流量较小的夜间,一部分路段照明系统仍处于满负荷运行状态存在能耗浪费现象。比如在夏季高温时段,空调系统能耗随环境温度升高而大幅扩大,但一部分区域空调温度设置不合理,进一步加剧能耗消耗,根据这些挖掘效果,运维人员可调整照明系统亮度同开启时间调整空调系统温度设置,实现能耗合理控制,降低高速公路运营成本。

4.5 基于红外热成像的电气故障监测

红外热成像技术结合人工智能算法检测机电设备温度分布,达成对电气故障的早期监测。高速公路通信基站中的配电柜、电缆接头等电气设备在运行过程中易因接触不良、绝缘老化等原因引发局部过热现象,若不及时处理也许引发火灾等严重事故。借助红外热成像的监测系统经过无人机搭载红外热像仪定期对沿线通信基站电气设备实行拍摄,获取设备的红外热成像图并将热成像图传输至后台人工智能分析系统。系统采用图像分割与温度分析算法对热成像图中的温度分布展开量化分析,识别出局部过热区域并根据过热温度和面积判断故障的严重程度,当检测到过热区域温度超过设定阈值时,系统立即发出报警信号并标注故障位置与故障原因。比如某高速公路公司应用该技术后,电气设备过热故

障发现时间提前24小时以上防止多起潜在的火灾事故,保障通信基站的运行效率和员工安全。

4.6 基于物联网与AI的综合监控平台

物联网技术同人工智能技术结合,能够构建覆盖高速公路机电系统全领域综合监控平台达成对各子系统统一管理与协同调度。该平台经过在机电设备上安装物联网传感器实时采集设备运行数据、环境数据等信息,并将数据传输至云端数据库。人工智能算法对云端数据实行实时分析与处理达成对收费系统、监控系统、通信系统、供配电系统等子系统运行状态全面监测。比如当某一子系统发生故障时,平台能够高速分析故障对其他子系统影响,从而自动生成应急处理方案,并协调相关子系统实行联动响应。当供配电系统发生故障导致某路段监控摄像头断电时,平台可立即切换至备用电源并调整周边路段摄像头拍摄角度,确保该路段监控不中断。此外平台还可以将故障信息推送至收费系统提醒收费人员做好交通疏导准备,这一综合监控平台打破各子系统之间的信息壁垒达成机电系统的智能化协同管理,大幅提升高速公路应急响应能力和整体运营效率。

5 结语

总体而言,人工智能技术为高速公路机电监测带来革命性变革,在提升监测效率、强化故障预判能力、优化资源配置等方面展现出巨大的应用价值,在设备状态监测、故障诊断、能耗改进等具体场景中达到显著成效。然而在实际应用过程中,人工智能技术仍面对数据质量参差不齐、算法模型适应性不足、系统安全性有待提升等挑战。未来要加强对数据的治理、提升数据的准确性与完整性、增强算法模型的环境适应性、做好网络安全防护、保障监测系统的运行维保,未来随着人工智能的不断发展与完善,人工智能技术在高速公路机电监测领域将应用更加深入、广泛,为高速公路智能化运营提供更多的支持,推动现代交通运输体系朝着更加安全、高效、绿色的方向发展。

参考文献

- [1] 赵得学,王洪生.基于人工智能的机电设备自动化控制系统设计与实现[J].现代制造技术与装备,2024,60(6):207-209.
- [2] 阙新星,严登梅.人工智能在机电设备自动化控制中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(1):57-59.
- [3] 郑星.人工智能在高速公路机电系统维护维修中的应用[J].运输经理世界,2024(16).
- [4] 杨亚莉.人工智能在机电一体化系统中的应用[J].集成电路应用,2023,40(1):262-263.
- [5] 孙莉莉.智慧收费机器人在高速公路车道上的应用[J].中国高新科技,2023,(11):106-108.