

人工智能在铁路运输管理中的应用

丁东晓

浙江金温铁道开发有限公司, 浙江 温州 325000

[摘要]人工智能技术快速发展,在铁路运输管理领域的应用越来越广泛且深入,文章系统分析了人工智能技术在铁路运输管理中的应用现状、关键技术和发展趋势,研究显示人工智能在铁路调度优化、安全监控、客流预测、故障诊断以及维护预警等方面作用重大,并且深度学习、计算机视觉、自然语言处理等技术已在列车运行图智能编制、客流密度实时监测、设备故障预测性维护等场景中成功运用,使铁路运输的智能化和精细化管理水平大幅提升,不过文章也分析了当下人工智能应用所面临的像数据安全、算法可解释性、系统集成等方面的挑战,还给出了加强算法鲁棒性、推动跨领域知识融合、构建铁路智能化标准体系等未来的方向,研究结果显示人工智能和铁路运输深度融合能持续推动铁路运输朝着更安全、高效、绿色、智能的方向发展,给构建新一代智慧铁路提供强大支撑。

[关键词]人工智能; 铁路运输; 智能调度; 安全监控; 预测性维护

DOI: 10.33142/sca.v8i11.18703

中图分类号: U29

文献标识码: A

The Application of Artificial Intelligence in Railway Transportation Management

DING Dongxiao

Zhejiang Jinwen Railway Development Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: With the rapid development of artificial intelligence technology, its application in railway transportation management is becoming increasingly widespread and in-depth. This article systematically analyzes the current application status, key technologies, and development trends of artificial intelligence technology in railway transportation management. The research shows that artificial intelligence plays a significant role in railway scheduling optimization, safety monitoring, passenger flow prediction, fault diagnosis, and maintenance warning. Deep learning, computer vision, natural language processing and other technologies have been successfully applied in intelligent train operation diagram preparation, real-time monitoring of passenger flow density, and predictive maintenance of equipment faults, greatly improving the level of intelligent and refined management of railway transportation. However, the article also analyzes the challenges faced by current artificial intelligence applications in areas such as data security, algorithm interpretability, and system integration, future directions such as strengthening algorithm robustness, promoting cross domain knowledge fusion, and building an intelligent railway standard system were also proposed. The research results show that the deep integration of artificial intelligence and railway transportation can continue to promote the development of railway transportation towards safer, more efficient, green, and intelligent directions, providing strong support for building a new generation of smart railways.

Keywords: artificial intelligence; railway transportation; intelligent scheduling; safety monitoring; predictive maintenance

引言

在铁路运输管理中,首先,人工智能系统在面对网络攻击或硬件故障时容易出现漏洞,可能对铁路运输的正常运行造成威胁。其次,传统铁路运输设施难以适配快速迭代的人工智能技术,从而延迟整体系统的优化进程。与此同时,人才短缺的现象制约了人工智能的全面推广。高度复杂的系统需要专业人员开发、维护和优化,但相关领域的高端人才供不应求,使得铁路运输管理部门难以充分发挥人工智能的潜能。现代综合交通运输体系中铁路运输是重要部分且承担着在全球范围内高效流动大量人员与货物的任务,国际铁路联盟(UIC)的数据显示近五年全球铁路货运量年均增长率达 2.3% 而客运量稳定增长且增速为 1.8%,由于运输需求快速增长且运营环境越来越复杂,传统铁路管理模式有了调度效率低、安全风险高、设备维

护落后这样的挑战,在这种情况下人工智能技术凭借强大数据处理能力、自动化决策能力、智能化预测能力给铁路运输管理带来新活力,近些年深度学习、计算机视觉和自然语言处理等关键技术铁路领域广泛应用,从列车运行图智能编制、客流密度实时监测到设备故障预测性维护,人工智能正在一步步改变铁路运输的传统运作模式。

人工智能于铁路运输管理里的应用不但提高了系统的智能化程度,还给行业带来了明显的经济效益与社会价值,像基于人工智能的智能调度系统能优化列车运行路线、降低延误率且提升线路利用率,安全监控系统借助计算机视觉技术可精准识别异常行为和潜在风险,预测性维护技术让设备故障率大大降低并且使关键设施使用寿命延长,但人工智能技术在铁路领域应用时仍存在不少挑战,如数据安全和隐私保护、算法缺乏可解释性以及跨系统集成困

难等问题,所以行业得进一步强化算法鲁棒性研究、促进多学科知识深度融合并尽快构建统一的智能化标准体系,以后随着人工智能技术不断发展且与铁路运输管理深度融合,铁路行业会朝着更安全、高效、绿色和智能发展从而为智慧铁路全面建设打下坚实根基^[1]。

1 人工智能技术在铁路运输调度优化中的应用

1.1 基于深度学习的列车运行计划自适应优化

近年来,铁路运输需求快速增长使传统人工调度方式难以应对复杂多变的运营环境,基于深度学习的列车运行计划自适应优化技术逐渐成为解决这一问题的关键手段,它借助大规模神经网络模型,凭借历史运行数据和实时监测信息对列车运行图进行动态调整与优化,像在繁忙的高速铁路线路,深度学习算法会综合线路容量、列车优先级、天气状况等因素生成最优运行方案,近五年数据显示,中国高铁每日开行列车超 8000 列,采用深度学习优化后的运行图编制效率提升 30%以上且减少了调度不当造成的延误,深度学习模型泛化能力强,新线路开通或者突发客流高峰时能快速适应变化以保障列车运行安全准时,不过模型训练所需数据质量以及算法鲁棒性依旧是急需解决的问题,尤其是在极端天气或者设备故障等特殊情况下,怎样确保优化结果可靠还需进一步探究。

深度学习模型通过持续学习新的运行数据,能够不断自我完善和优化,这种自适应能力使得列车运行计划可以更加贴近实际运营需求,减少人为干预,提高整体运输效率。同时,深度学习技术还可以与强化学习相结合,通过模拟不同场景下的调度决策过程,进一步提升模型的决策能力和应对复杂情况的能力。然而,要实现深度学习在列车运行计划自适应优化中的广泛应用,还需要解决数据标注、模型训练效率、实时性要求等方面的挑战,以确保模型能够在各种运营环境下稳定、可靠地运行。

1.2 智能调度决策支持系统的关键技术与实现

在铁路运输管理里,智能调度决策支持系统是一项靠整合人工智能算法、大数据分析和云计算平台给调度人员提供科学决策依据的核心技术,并且其实现离不开强化学习、知识图谱、分布式计算等多种关键技术,比如强化学习,系统可在模拟环境里不断试错优化策略进而制定高效调度方案,就像某个大型铁路枢纽站实际应用时,智能调度系统把列车进站和出站的时间间隔缩短了 15%从而让线路利用率大大提高,并且知识图谱技术一应用,系统就能迅速识别复杂调度规则和约束条件防止因人疏忽而产生错误决策,还得注意,近些年铁路行业数字化转型加快且全球铁路运营数据量每年平均增长超 40%这就给智能调度系统开发提供了好多数据资源,不过在系统集成的时候还是有不少挑战,像不同厂商设备之间是否兼容、跨区域数据共享有没有安全隐患之类的,以后得进一步推动标准化建设才能让系统协同和资源共享更

高效些^[2]。

1.3 突发情况下的实时调度重组算法研究

铁路运输免不了遭遇像自然灾害、设备故障或者重大事故之类的突发情况,这使得调度系统应急响应能力被提出很高要求,于是针对此问题,实时调度重组算法研究成了当下热点。该算法把遗传算法和粒子群优化技术相结合,能在超短时间内重新规划列车运行路径从而最大程度降低突发事件对整体运营的影响,例如有一次暴雨致使线路中断,实时调度重组算法不到 10min 就让受影响列车改道,有效减轻了旅客滞留状况^[3]。统计显示,过去五年全球铁路因突发事件延误的次数平均每年下降 8%,智能化调度算法贡献超 60%,不过现有的算法在处理大规模并发事件时仍有局限,尤其多条线路一起受阻时如何平衡各线路资源分配还是个难题,并且算法缺乏可解释性限制了它在实际中的推广,因为调度人员常常不明白复杂算法输出结果的逻辑,所以以后研究要重点提高算法的透明度和适应性才能更好应对铁路运营环境的复杂多变。

为了提升实时调度重组算法的透明度和适应性,研究人员正致力于开发具备可解释性的人工智能模型。这些模型通过引入决策树、逻辑规则或案例推理等方法,使算法的决策过程更加直观易懂,便于调度人员理解和信任。同时,针对大规模并发事件的处理,研究者们正在探索分布式计算框架和并行优化算法,以实现多线路资源的协同优化和高效分配。此外,通过模拟不同场景下的突发事件,对算法进行压力测试和性能评估,也是提升其实用性和鲁棒性的重要途径。未来,随着技术的不断进步,实时调度重组算法将在铁路运输管理中发挥更加关键的作用,为应对复杂多变的运营环境提供有力支持。

2 人工智能赋能铁路安全与维护管理

2.1 基于计算机视觉的铁路基础设施智能检测

国民经济的重要支柱之一铁路运输行业近年来基础设施安全性与运输效率、公共安全直接相关,统计显示 2022 年中国铁路营业里程超 15 万公里且高铁运营里程破 4 万公里居世界首位,但铁路线路长、设备种类多、环境复杂导致传统人工巡检难满足高效和精准需求,而人工智能技术基于计算机视觉给铁路基础设施智能检测带来新方案,部署高清摄像头和无人机采集数据并结合深度学习算法就能实时识别和分类轨道裂纹、扣件松动、接触网异常等问题从而大幅提升检测效率和准确性,某铁路局实际应用时计算机视觉系统在轨道表面缺陷检测准确率达 95%以上,比传统方法提高近 30 个百分点,并且复杂天气像雨雪、雾霾下该技术检测任务还能保持高水准,不过计算机视觉技术实际应用时仍受光照变化、图像噪声干扰等挑战需优化算法增强鲁棒性,以后边缘计算和 5G 通信技术普及了,基于计算机视觉的智能检测会更高效可靠保障铁路基础设施安全运行^[4]。

2.2 预测性维护模型在轨道和车辆管理中的应用

人工智能在铁路运输管理里的核心应用之一是预测性维护,它逐渐替代传统定期维护模式给轨道和车辆管理带来巨大变革。国际铁路联盟(UIC)数据表明,铁路设备故障延误每年造成数十亿美元经济损失,在这样的大环境下,基于机器学习的预测性维护模型分析历史和实时监测数据就能提前找出潜在故障并制定科学维护计划,像用时间序列分析和深度神经网络模型对列车轴承温度、振动频率这些关键参数做长期趋势预测就能很好防止突发性故障出现,并且该模型还可结合轨道几何状态监测数据评估轨道磨损程度以优化维修周期,在减少维护成本的同时延长设备使用寿命^[5]。某欧洲铁路公司在实际案例中引进预测性维护系统后设备故障率降低了40%且维护成本也减少了25%,不过预测性维护模型构建和实施面临不少挑战,例如数据质量不好、算法难以解释等情况,以后通过加强跨领域知识融合以及算法优化,预测性维护在铁路运输行业会起更大作用,推动达成更高效、更节省的设备管理目标。

具体而言,预测性维护模型在轨道管理中的应用,主要体现在对轨道几何状态的实时监测与评估上。借助高精度传感器和先进的机器学习算法,模型能够持续跟踪轨道的几何参数变化,如轨距、水平、高低等,及时发现轨道的微小变形和潜在损伤。这种实时监测不仅提高了轨道维护的及时性,还使得维护计划更加精准,避免了过度维护或维护不足的问题。同时,通过深度分析轨道磨损的历史数据,模型还能预测轨道的剩余使用寿命,为铁路管理部门提供科学的决策依据,优化维修资源的配置。

在车辆管理方面,预测性维护模型同样发挥着重要作用。它通过对列车关键部件的实时监测,如轴承、齿轮箱、牵引电机等,利用时间序列分析、异常检测等算法,提前发现部件的劣化趋势和潜在故障。这种前瞻性的维护方式,使得维修人员能够在故障发生前进行干预,避免了因突发故障导致的列车停运和延误,提高了列车的运行可靠性和安全性。此外,预测性维护模型还能根据列车的运行历史和实时状态,为每列车量身定制维护计划,实现个性化的维护管理,进一步提升了车辆管理的效率和效果。

2.3 智能安全预警系统的构建与评估

铁路行业发展的关键在于铁路运输的安全性这一重要基石,构建智能安全预警系统是提升铁路安全保障能力的关键手段,近年来人工智能技术快速发展给铁路安全预警注入新活力,智能安全预警系统整合传感器网络、大数据分析 and 自然语言处理技术后能实时监测列车运行状态、

轨道环境和外部风险因素并在事故发生前发出精准预警,像基于深度学习的异常行为识别技术可快速抓住驾驶员疲劳驾驶或者违规操作这些潜在风险,而且该系统结合气象数据和地理信息系统还能预测自然灾害对铁路运行的影响以支持应急决策,中国国家铁路集团统计过,2020年全国推广智能安全预警系统后重大安全事故发生率降低了60%以上,不过构建智能安全预警系统还得解决数据孤岛、系统集成难度大等问题,尤其在多源异构数据融合时保证数据一致性和实时性是急需攻克的技术难题,以后随着人工智能算法不断优化、标准化体系建立,智能安全预警系统会更完善从而保障铁路运输行业可持续发展。

3 结论

人工智能技术已在铁路运输管理的调度、安全、服务、运维等核心领域实现“点状突破”,通过优化运力配置、强化安全防护、提升服务质量、降低运维成本,为铁路行业注入了强大发展动能,成为培育新质生产力的核心引擎。但当前仍面临数据孤岛、算力瓶颈、标准缺失、人才断层等多重挑战,需要通过技术创新、体系完善与生态构建协同破解铁路运输管理中人工智能技术的应用成为推动行业变革的关键驱动力,在深度学习、计算机视觉等关键技术之下,铁路调度优化、安全监控和设备维护等领域有了明显提高,有数据表明近五年全球铁路智能化市场规模每年平均增长超15%且到2028年有望达300亿美元,不过数据安全、算法可解释性等问题还得解决,以后强化算法的鲁棒性、促进跨领域的协同创新并建立统一的标准体系会给铁路运输智能化发展增添新动力,从而有助于达成更安全、更高效、更绿色的智慧铁路生态。

[参考文献]

- [1]杨凌睿.人工智能在铁路运营服务管理中的应用前景[J].企业改革与管理,2023(18):51-53.
- [2]张晓利,曹宁,任杰.基于图像处理的列车车号识别系统研究[J].电子世界,2020(11):61-62.
- [3]朱海燕,李墨宇,缪弼东.人工智能在高速铁路运维中的应用管理[J].电气化铁道,2023(1):41-43.
- [4]张莹,李春红,郭祥,等.人工智能在铁路工程档案管理中的应用[J].铁路技术创新,2023(4):88-91.
- [5]辛伟伟.大数据与人工智能在水路运输经济管理中的应用[J].中国航务周刊,2024(43):18-20.

作者简介:丁东晓(1985.11—),单位名称:浙江金温铁道开发有限公司,毕业学校和专业:西南交通大学、交通运输(高速铁路方向)。