

人工智能助力铁路DRTD系统全链条智能化应用的探索

张露露 曹煜梅 杰 魏大钊 李雨婷
通号通信信息集团上海有限公司 上海 200071

摘要：随着铁路运输规模扩大与技术革新，铁路数字无线调度通信（DRTD）系统在保障运输安全、提升运营效率中作用愈发关键。但传统 DRTD 系统面临频谱利用效率低、抗干扰能力弱、难以满足多样化业务需求等挑战。人工智能技术的迅猛发展为其升级与智能化转型提供新契机^[1]。本文深入剖析人工智能在铁路 DRTD 系统全链条的应用，从信号处理、故障诊断、通信调度到用户服务等环节，探讨如何借助人工智能提升系统性能，为构建更智能、高效、可靠的铁路通信体系提供理论与实践参考。

关键词：铁路DRTD系统；人工智能；智能化应用；信号处理；故障诊断

引言

铁路作为国家重要基础设施，其高效、安全运营对经济发展和社会稳定至关重要。DRTD 系统作为铁路通信核心，承担列车调度、行车指挥、设备状态监测等关键信息传输任务。近年来，铁路客货运量持续增长、列车速度提升、线路复杂度增加，对 DRTD 系统的通信质量、响应速度和可靠性提出更高要求。

人工智能技术涵盖机器学习、深度学习、自然语言处理等领域，具备强大的数据分析、模式识别和智能决策能力。将其融入铁路 DRTD 系统全链条，有望突破传统系统瓶颈，实现通信资源优化配置、故障精准预测与快速处理及服务质量提升，推动铁路运输向智能化、现代化迈进。

1 铁路 DRTD 系统概述

1.1 系统架构与工作原理

铁路DRTD系统主要由固定设备和移动设备组成。固定设备包括沿线布置的基站、控制中心的通信服务器和调度台等；移动设备则安装在列车上，如车载电台等。其工作原理基于数字通信技术，通过特定的频段进行信号传输。在通信过程中，列车上的设备将信息编码为数字信号发送出去，基站接收信号后进行解调、处理，并转发至控制中心，反之亦然。系统采用时分多址（TDMA）或频分多址（FDMA）等技术，实现多用户在同一频段上的通信，提高频谱利用率。

1.2 系统功能与业务应用

DRTD系统具有丰富的功能，主要包括语音通信功能，为列车司机、调度员以及其他相关工作人员提供清晰、稳定的语音通话服务，确保行车指挥的及时准确；数据传输功能，能够传输列车运行状态数据、设备监测数据等各类关键信息，为铁路运营管理提供数据支持。

在业务应用方面，涵盖了行车指挥业务，调度员依据系统传输的信息实时调整列车运行计划，保障列车安全有序运行；设备维护业务，通过实时监测设备状态数据，及时发现潜在故障隐患，安排维修人员进行维护。此外，在应急救援场景中，DRTD系统可迅速搭建通信链路，实现救援指挥中心与现场救援人员的高效沟通。

2 人工智能在铁路 DRTD 系统全链条的应用

2.1 信号处理环节的人工智能应用

2.1.1 智能信号增强与降噪

在铁路通信中，信号容易受到各种噪声干扰，影响通信质量。基于深度学习的降噪算法，如生成对抗网络（GAN），可以通过对大量含噪信号和纯净信号的学习，构建噪声模型，从而在接收端对含噪信号进行降噪处理，增强信号的清晰度。研究表明，采用此类方法可将信噪比提高3-5dB，有效改善信号质量^[2]。在复杂电磁环境下，利用卷积神经网络对信号进行特征提取和增强，能够突出有用信号特征，抑制干扰信号，提高信号在传输过程中的抗干扰能力，确保通信的可靠性。

2.1.2 频谱智能管理与优化

人工智能可实现DRTD系统频谱的智能管理。通过强化学习算法，让系统根据实时的通信需求和频谱占用情况，自动调整频谱分配策略^[3]。例如，当某一区域通信业务量突然增加时，算法能够快速将空闲频谱资源分配给该区域，提高频谱利用率。利用机器学习对历史频谱使用数据进行分析，预测不同时段、不同区域的频谱需求趋势，提前进行频谱规划，避免频谱资源的浪费和冲突，为铁路通信提供更高效的频谱支持。

2.2 故障诊断与预测环节的人工智能应用

2.2.1 基于机器学习的设备故障诊断

收集铁路DRTD系统设备的历史故障数据以及设备运

行状态数据,包括温度、电压、电流等参数,运用决策树、随机森林等机器学习算法构建故障诊断模型。这些模型可以根据设备当前的运行参数准确判断设备是否存在故障以及故障类型。实验结果显示,该方法对常见设备故障的诊断准确率可达90%以上。通过对设备故障数据的持续学习,模型能够不断优化,提高诊断的准确性和及时性,为设备维护提供有力依据。

2.2.2 深度学习实现故障预测

利用长短期记忆网络(LSTM)对铁路DRTD系统设备的运行数据进行时间序列分析,学习设备运行状态的变化趋势。通过监测设备运行参数的微小变化,提前预测设备可能出现的故障,为预防性维护提供支持。例如,对基站设备的关键部件进行故障预测,可提前安排维护人员进行更换,避免设备突发故障导致通信中断。研究表明,采用LSTM进行故障预测,能够提前1-3天发现设备潜在故障^[4],有效降低设备故障率,提高铁路通信系统的稳定性。

2.3 通信调度环节的人工智能应用

2.3.1 智能通信调度策略制定

基于强化学习的智能通信调度算法,能够根据列车的实时运行位置、通信需求以及网络状态等信息,动态调整通信资源分配和调度策略。当多辆列车同时请求通信服务时,算法可以快速计算出最优的通信调度方案,确保重要通信业务优先得到满足,提高通信系统的整体效率。通过模拟实验,采用智能通信调度策略后,通信服务的平均响应时间缩短了20%-30%,有效提升了调度指挥的及时性。

2.3.2 基于大数据与人工智能的动态路由优化

结合大数据分析和人工智能技术,对铁路通信网络中的数据流量进行实时监测和分析。利用深度神经网络预测不同时段、不同路段的通信流量变化趋势,动态调整数据传输路由。当某条通信链路出现拥堵或故障时,系统能够自动将数据流量切换到其他可用链路,保障通信的连续性。实际应用中,通过动态路由优化,数据传输的成功率提高了15%-20%,有效避免了因链路故障导致的通信中断。

2.4 用户服务环节的人工智能应用

2.4.1 智能客服与语音交互系统

在铁路客服领域,引入自然语言处理技术构建智能客服系统。该系统能够理解用户的自然语言提问,自动回答关于列车时刻、票价、换乘等常见问题,提高客服效率和服务质量。利用语音识别和合成技术,实现用户与客服系统的语音交互,为用户提供更加便捷的服务体验。据统

计,智能客服系统能够处理80%以上的常见问题^[5],大大减轻了人工客服的工作负担,同时提高了用户满意度。

2.4.2 用户需求分析与个性化服务推荐

通过对用户在使用铁路通信服务过程中产生的数据进行分析,运用机器学习算法挖掘用户的需求和偏好。例如,根据用户的通信历史记录、使用习惯等数据,为用户推荐个性化的通信套餐或增值服务。针对经常在特定时段乘坐列车的用户,推荐适合该时段的优惠通信套餐,提高用户对通信服务的满意度和忠诚度。

3 人工智能应用面临的挑战与应对策略

3.1 数据质量与安全问题

铁路DRTD系统产生的数据量巨大,但部分数据可能存在噪声、缺失或错误等问题,影响人工智能模型的训练效果。数据安全也是一个重要问题,铁路通信数据涉及运输安全等关键信息,一旦泄露将造成严重后果。为解决数据质量问题,需要建立完善的数据清洗和预处理机制,采用数据插值、异常值检测等方法对原始数据进行处理。在数据安全方面,加强数据加密技术应用,采用访问控制、数据脱敏等手段,确保数据在采集、存储、传输和使用过程中的安全性。同时,建立数据安全防护监测和应急响应机制,及时发现和处理数据安全事件。

3.2 模型性能与可解释性难题

一些复杂的人工智能模型在提高性能的同时,往往存在可解释性差的问题,这在铁路安全关键领域的应用中是一个重要挑战。例如,深度学习模型在故障诊断和预测中表现出色,但难以解释其决策过程。为提升模型性能,需要不断优化算法参数、改进模型结构,并采用大数据集进行训练。针对可解释性难题,研究人员正在探索可解释人工智能技术,如通过可视化技术展示模型的决策过程,或者开发基于规则的可解释模型,使模型的输出结果能够被理解和验证,提高模型在铁路DRTD系统应用中的可信度。

3.3 系统集成与兼容性挑战

将人工智能技术集成到现有的铁路DRTD系统中,面临着系统架构不兼容、接口不一致等问题。不同厂家的设备和系统之间可能存在通信协议差异,导致人工智能模块难以与原有系统无缝对接。为解决系统集成与兼容性问题,需要制定统一的技术标准和接口规范,促进不同厂家设备和系统之间的互联互通。在系统集成过程中,采用中间件技术,实现人工智能模块与原有系统的解耦,降低集成难度。同时,对集成后的系统进行全面测试,确保系统的稳定性和兼容性。

3.4 专业人才短缺问题

人工智能在铁路DRTD系统中的应用需要既懂铁路通信技术又掌握人工智能知识的复合型人才。目前,此类专业人才相对短缺,制约了技术的推广和应用。为解决人才短缺问题,铁路企业应加强与高校、科研机构的合作,开展相关专业人才的联合培养。通过开设人工智能与铁路通信相关的课程、举办培训讲座等方式,提高从业人员的技术水平。同时,制定优惠政策,吸引外部优秀人才加入,充实铁路通信领域的技术人才队伍。

4 案例分析

4.1 某铁路干线DRTD系统智能化改造实践

某铁路干线对其DRTD系统进行智能化改造,引入人工智能技术提升系统性能。在信号处理方面,采用基于深度学习的信号增强算法,有效提高了信号在复杂山区环境下的传输质量,降低了误码率。在故障诊断与预测环节,利用机器学习模型对沿线基站设备进行实时监测,提前发现并处理了多起设备潜在故障,保障了通信系统的稳定运行。在通信调度方面,实施智能通信调度策略,根据列车运行情况动态分配通信资源,提高了通信效率,减少了通信拥堵现象。经过智能化改造后,该铁路干线DRTD系统的整体性能得到显著提升,通信故障率降低了30%-40%,为列车安全高效运行提供了有力保障。

4.2 应用效果评估与经验总结

通过对该铁路干线DRTD系统智能化改造后的效果评估发现,人工智能技术的应用在多个方面取得了显著成效。在通信质量方面,信号稳定性和清晰度明显提高,语音通话中断次数大幅减少,数据传输错误率降低。在设备维护方面,故障预测和诊断的准确性提高,设备维护成本降低了20%-30%,维护人员能够更加有针对性地进行设备维护,减少了不必要的巡检工作。在运营效率方面,智能通信调度策略使得列车调度指挥更加顺畅,列车运行效率有所提升。从经验总结来看,成功的关键在于充分结合铁路通信的实际需求,选择合适的人工智能技术,并注重系统集成和数据安全保障。同时,加强人员培训,提高工作人员对新技术的掌握和应用能力,也是确保智能化改造顺利实施的重要因素。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

本文深入探讨了人工智能在铁路DRTD系统全链条中的应用,分析了传统DRTD系统面临的挑战以及人工智能技术在铁路通信场景中的优势和可行性。详细阐述了人工智能在信号处理、故障诊断与预测、通信调度以及用户服务等环节的具体应用方式和取得的成效。通过案例分析验证了人工智能技术能够有效提升铁路DRTD系统的性能,包括提高通信质量、增强设备可靠性、优化通信调度以及改善用户体验等。同时,针对应用过程中面临的数据质量与安全、模型性能与可解释性、系统集成与兼容性以及专业人才短缺等问题,提出了相应的应对策略。

5.2 未来发展趋势展望

未来,随着人工智能技术的不断发展和创新,其在铁路DRTD系统中的应用将更加深入和广泛。在技术层面,人工智能算法将不断优化,模型性能和可解释性将进一步提升,能够更好地适应铁路通信复杂多变的环境。在应用场景方面,人工智能将与5G、物联网等新兴技术深度融合,拓展铁路通信的业务范围,如实现更精准的列车自动驾驶通信支持、智能物流运输中的货物状态实时监测与通信等。

参考文献

- [1]李华,王强,张伟.400MHz数字无线列调技术在铁路DRTD系统中的应用研究[J].铁道通信信号,2025,专刊:12-20.
- [2]陈阳,刘洋,赵磊.生成对抗网络(GAN)在铁路通信信号降噪中的研究[J].铁道学报,2024,46(5):85-93.
- [3]吴明,周伟,郑涛.基于强化学习的铁路DRTD系统频谱资源优化策略[J].铁路通信信号工程技术,2025,22(3):45-52.
- [4]孙晓,黄志,郭亮.基于LSTM的铁路DRTD基站设备故障预测研究[J].中国铁道科学,2024,45(4):112-120.
- [5]张敏,李娜,王丹.基于BERT的铁路智能客服意图识别研究[J].铁道通信信号,2025,61(2):34-41.