

轨道交通智能调度系统的设计与优化

高 泰

通号城市轨道交通技术有限公司 北京 100070

摘 要: 本文全面探讨轨道交通智能调度系统,明确定义、功能、应用现状及其关键组件。深入剖析智能列控与虚拟编组技术的融合应用,包括技术前沿、核心技术与实施路径。进而提出系统设计与优化策略,涉及数据采集分析、智能决策、效率与乘客满意度平衡及故障应急处理。这些研究为提升轨道交通运营效率、安全及服务质量提供理论支撑与实践指引,促进轨道交通智能化转型与发展。

关键词: 轨道交通; 智能调度系统; 智能列控技术; 虚拟编组技术; 优化策略

引言: 城市化进程的加速推动了轨道交通客流量的持续增长,传统调度模式面临严峻挑战。为应对这一压力,智能调度系统应运而生。该系统依托先进的人工智能和现代信息技术,实时采集、精准处理与深度分析轨道交通运行数据,实现列车运行的智能化调度和高效管理。这不仅提升了轨道交通的运行效率和安全性,还显著改善了乘客出行体验,对轨道交通行业的可持续发展起到了积极的推动作用。

1 轨道交通智能调度系统的基本概念

1.1 智能调度系统的定义与功能

智能调度系统是一种基于人工智能和现代信息技术的自动化管理系统,专注于轨道交通领域的实时数据采集、处理与分析,以实现列车运行的智能调度和优化管理。其核心功能涵盖列车运行计划的制定与优化、实时监控与调整、故障预警与处理以及乘客服务质量的提升。通过整合列车的实时位置、速度、运行状态及乘客需求信息,智能调度系统能自动生成最优列车运行计划,确保列车安全、准时运行,减少延误和等待时间。系统实时监控列车状态,对异常情况或潜在故障进行即时调整或预警,保障运行安全。智能调度系统还通过分析乘客出行需求,优化发车间隔和停靠站点,提供实时乘客信息服务,如列车到站时间、车厢拥挤程度等,提升乘客出行效率和满意度。

1.2 智能调度系统在轨道交通中的应用现状

随着城市化加速和轨道交通网络的扩展,智能调度系统在轨道交通中的应用日益广泛。国内外众多城市的轨道交通系统,如北京、上海、广州等大城市地铁,以及日本、德国的铁路系统,均已或正在引入智能调度系统,以提高运行效率和服务质量。这些系统通过实时采集列车运行数据、乘客流量信息及设备状态,实现精确控制和优化调度。国际上的先进系统更能在复杂环境下实现高

效调度和管理,如日本铁路系统通过引入先进的信号和自动控制系统,显著提升了运行效率和服务水平。

1.3 智能调度系统的主要组成部分

智能调度系统主要由数据采集、数据处理与分析、决策与优化、执行与控制及用户界面五大模块构成。数据采集模块负责实时收集列车位置、速度、运行状态及乘客流量等数据,为系统提供基础信息。数据处理与分析模块则对这些数据进行处理,提取有价值的信息和规律,支持决策与优化^[1]。决策与优化模块是系统核心,根据分析后的数据自动生成最优列车运行计划。执行与控制模块将计划转化为具体控制指令,发送给轨道交通系统各设备和子系统,实现精确控制和优化调度。最后,用户界面模块提供与用户交互的接口,使用户能查看系统运行状态、调整参数设置并获取实时乘客信息服务。

2 智能列控技术在智能调度系统中的应用

2.1 智能列控系统的技术现状与发展方向

(1) 我国列控系统技术现状: 近年来,我国列控系统技术取得了显著进步,构建了具有自主知识产权的安全平台。自2003年起,借鉴欧洲ETCS经验,结合国内特点,制定了CTCS技术标准,涵盖CTCS-0至CTCS-4五级,显著提升了列车运行安全与运输效率。京张高铁作为智能高铁典范,应用了CTC和ATO技术,实现了时速350公里的自动驾驶,标志我国高铁技术领先世界。2016年,珠三角城际铁路C2+ATO系统成功开通,运营速度达200km/h,首次实现该速度等级下的自动驾驶,展现了我国在列控技术上的创新能力。(2) 国际列控新技术应用: 国际上,列控新技术同样引人注目。欧盟Shift2Rail计划推动轨道交通互联互通、降本提效和技术创新,聚焦FRMCS、GOA2级ATO、TIMS等,旨在构建智能化铁路系统。ERSAT计划集成卫星定位于铁路应用,应用于ETCS-3级系统,以虚拟应答器替代物理应答器,降低运

营成本,提高效率,2022年已投入商业运营。西门子的ETCS+ATO系统也在德国和英国得到应用,实现GOA2级ATO功能,GOA3/4级功能正在研发,集中在传感器和AI技术应用上。

2.2 智能列控系统的关键技术

(1) 高安全可靠的列控技术:高安全可靠的列控技术是核心。通过减少轨旁设备、提升系统鲁棒性,利用北斗卫星定位、虚拟应答器等技术实现列车自主定位和完整性检查,提高安全性和可靠性。车车通信增强系统安全性,实时掌握前车位置和状态,与行车许可比较,降低地面设备风险。(2) 高等级自动驾驶技术:自动驾驶技术是另一大关键。基于视频分析、数据挖掘、环境感知与预测、障碍物检测等技术,构建驾驶策略优化模型和自动驾驶评价体系,实现智能驾驶。(3) 移动闭塞技术:移动闭塞技术是实现高效运行的关键。替代固定闭塞,确保安全同时增加列车密度,提高运输效率。与车地无线通信结合,实现运行计划实时更新和精确控制。(4) 智能运维技术:智能运维技术保障系统稳定运行。通过集成卫星、无线通信、车载安全计算机和地面控制中心,实现远程监控和故障预警,降低运维成本,提高系统可用性和可靠性。

2.3 智能列控技术在智能调度系统中的实现

(1) 数据采集与传输技术:智能列控技术在智能调度系统中的实现依赖于数据采集与传输。构建传感器网络实时采集列车状态、环境参数和乘客流量等信息。利用5G、Wi-Fi等无线通信技术,实时传输数据至地面控制中心,为智能调度提供信息支持。(2) 数据处理与分析技术:数据处理与分析技术在智能调度中同样重要。通过机器学习、数据挖掘等技术,深度分析采集的数据,提取列车运行规律、乘客流量分布等有用信息。这些信息为智能调度提供决策支持,优化运行计划和停站时间,提高运输效率。(3) 决策算法与模型的应用:决策算法与模型是实现智能调度的关键。利用强化学习、规划算法等技术,构建适用于不同场景的决策模型和算法,如运行计划优化算法、乘客流量预测模型等。这些模型和算法根据实际情况智能调度,避免拥堵和延误,提高准点率和整体运输能力。随着大数据、云计算等技术的不断发展,智能列控技术将进一步融合先进的信息技术,实现更加智能化、高效化的调度管理,推动铁路运输行业的持续发展和创新^[2]。智能列控技术在未来的发展中还将面临诸多挑战,如技术兼容性、系统安全性、数据隐私保护等问题,需要不断加强技术研发和标准制定,确保技术的稳健发展和广泛应用。

3 虚拟编组技术在智能调度系统中的应用与优化

3.1 虚拟编组技术的概念与原理

(1) 定义与发展背景:虚拟编组技术,作为列车运行管理的新手段,正逐步成为智能调度系统的核心。它起源于提升铁路运营效率和安全性的需求,尤其在高速铁路和城市轨道交通中更显重要。随着物联网、大数据、人工智能技术的飞速发展,虚拟编组技术得以快速迭代,为列车运行管理带来了颠覆性变革。(2) 虚拟编组技术的核心理念:虚拟编组技术的核心在于“相对制动距离原则”,即在物理连接不变的前提下,通过先进通信与控制系统实现列车间的虚拟连接与协同运行。每列列车根据前车状态动态调整自身速度与位置,保持安全且高效的相对距离。这种逻辑上的紧密联系大幅提升了运输效率,确保了运行安全。

3.2 虚拟编组技术在智能调度系统中的实现

(1) 实现架构与流程:虚拟编组技术依赖于智能调度系统,包括列车控制系统、无线通信网络、数据中心、调度决策支持系统。列车控制系统收集状态信息并执行指令;无线通信网络确保信息实时传输;数据中心处理数据,为调度决策提供支持;调度决策支持系统生成最优运行计划。实现流程包括数据收集、综合分析、计算最优间距与速度曲线、发出控制指令,实现虚拟编组。(2) 列车追踪与间隔控制应用:在列车追踪方面,虚拟编组技术通过精确计算列车相对位置和速度,实现实时追踪,提高运行透明度,使调度员能准确预测和应对潜在冲突。在间隔控制上,该技术动态调整列车相对制动距离,确保安全间隔,最大化利用线路容量,提升运输效率。

3.3 虚拟编组技术的优化策略

(1) 列车间距优化计算与调整:列车间距优化是虚拟编组技术的核心挑战。需综合考虑线路条件、列车性能、客流需求及外部环境因素。采用基于机器学习的预测模型,实时预测列车状态,动态调整间距,实现安全与高效目标。(2) 车辆调度优化方案:车辆调度优化旨在提高运输能力和乘客满意度。虚拟编组技术使列车组合和分离更灵活,适应不同时段客流需求。结合大数据分析预测客流变化,提前调整列车编组和发车计划,减少乘客等待时间,提升服务质量。(3) 信号控制优化策略:信号控制是保障列车安全运行的关键。在虚拟编组系统中,信号控制需更智能化和自适应。通过动态调整信号灯显示时间和顺序,优化列车通过效率,确保安全间隔。利用车车通信技术实现列车间直接信息交换,减少对传统信号系统的依赖,提高系统灵活性和可靠性。

(4) 应对恶劣天气与异常情况优化措施: 面对恶劣天气或异常情况, 虚拟编组技术展现出强大适应性。集成气象监测系统和故障预警机制, 实时监测天气变化和列车状态, 发现异常立即启动应急预案, 如增加间距、降低速度或调整路径, 确保列车安全连续运行。虚拟编组技术的持续优化还需考虑技术兼容性、系统稳定性、数据安全性等方面。通过不断完善算法模型、加强系统集成、提升数据安全防护能力, 可以进一步发挥虚拟编组技术的潜力, 推动铁路运输向更高效、更安全、更智能的方向发展。随着技术的不断进步和应用的深入, 虚拟编组技术有望在更多领域实现创新应用, 为交通运输行业的转型升级提供有力支撑。

4 智能调度系统的设计与优化策略

4.1 数据采集与分析应用

智能调度系统的核心在于全面数据采集与深入分析。通过部署在列车、车站等关键位置的传感器网络, 实时监测列车状态, 包括位置、速度等关键信息。票务系统、乘客计数传感器等设备则精确统计乘客流量及分布情况, 对优化列车编组、调整发车间隔至关重要。系统运用实时数据分析技术, 识别列车异常并快速响应。利用历史数据挖掘技术, 分析列车运行规律、乘客出行模式, 为制定调度策略提供数据支持。如预测特定时段、线路的乘客需求, 提前调整列车运力。

4.2 智能决策支持实现

智能调度系统的另一亮点是智能决策支持功能。基于实时数据和运营状况, 系统运用先进算法模型, 实时计算并推荐最优调度方案, 综合考虑列车间距、准点率、人员分布、乘客舒适度、能源消耗等因素^[1]。宏观层面, 系统通过预测模型分析客流趋势, 动态调整列车运行图。微观层面, 则通过精确追踪与控制技术, 实现列车紧密衔接, 提升通行能力。系统还能根据天气、特殊事件等因素灵活调整策略, 确保运营连续稳定。

4.3 运行效率与乘客满意度平衡

设计时, 平衡运行效率和乘客满意度是关键原则。

系统通过优化列车计划、缩短发车间隔等措施提升效率, 满足出行需求。通过精准预测客流、分配车厢资源、提供实时信息服务等手段改善乘客体验。高峰时段, 系统自动调整列车编组, 增加容量, 减少等待时间; 非高峰时段, 则减少列车数量, 降低成本。系统还能根据乘客反馈和习惯, 优化列车停靠站点、发车时间等, 使服务更人性化、个性化。

4.4 故障处理与应急响应机制

智能调度系统具备完善的故障处理与应急响应机制, 确保突发情况下迅速响应, 保障运营安全稳定。系统实时监测设备状态, 及时发现并识别故障, 自动触发预警机制, 通知相关人员处理。在故障处理中, 系统提供详尽信息和建议, 辅助维修人员快速定位问题、修复故障。根据故障类型和影响程度, 自动调整运营策略, 如启用备用列车、调整路径等, 确保服务连续性。系统还具备强大应急响应能力, 在极端天气、突发事件等紧急情况下, 迅速启动预案, 保障乘客安全疏散, 减少损失。通过与其他应急管理系统联动, 实现信息共享和协同作战, 共同构建安全防线。

结束语: 轨道交通智能调度系统的设计与优化是一项复杂而系统的工程, 涵盖多项关键技术和多方面考量。未来, 随着技术不断创新、数据挖掘与算法持续优化, 智能调度系统将在轨道交通领域扮演更重要角色, 确保城市高效运转与居民便捷出行。我们应紧跟科技步伐, 洞察行业动态, 探索新技术应用与优化路径, 应对交通需求变化, 推动轨道交通事业迈向新高度, 实现智能化发展新水平, 助力构建现代化交通体系。

参考文献

- [1]施锦峰.城市轨道交通智能施工调度管理系统建设与应用[J].现代信息科技,2022,6(13):167-171.
- [2]黄泳霖.信息化技术在轨道交通智能调度系统中的应用与研究[J].中国信息化,2023(12):104-105.
- [3]赵兴东,周旭,杜斌.城市轨道交通智能行车调度系统分析[J].中国高新科技,2023(01):60-62.