

轨道交通全自动无人驾驶场景的新功能需求

侯震

通号城市轨道交通技术有限公司 北京 100070

摘要：本文深入探讨了轨道交通全自动无人驾驶技术的基本原理、运营场景需求及类型、现有功能特点，并重点分析了全自动无人驾驶场景下的新功能需求。通过引入先进传感器与物联网技术、人工智能与大数据分析、通信技术等关键技术支持，全自动无人驾驶系统得以在运营效率、安全性、乘客体验以及应对特殊场景方面实现显著提升。本文旨在为未来轨道交通全自动无人驾驶技术的发展提供理论参考和实践指导，推动该领域的技术创新与应用进步。

关键词：轨道交通；全自动无人驾驶；新功能需求

1 轨道交通全自动无人驾驶技术的基本原理

轨道交通全自动无人驾驶技术的基本原理是依赖于先进的控制系统与智能算法，实现对列车的全自动化操作与监控。这一技术彻底颠覆了传统的驾驶模式，将驾驶员的工作完全移交给运营控制中心（OCC），实现了从列车唤醒、自检、发车、运行、停靠到车门开关等全过程的自动化操作。具体来说，全自动无人驾驶系统通过高精度的信号控制器作为列车运行管理的核心，接收并处理来自各个子系统的数据，如轨道状态、列车位置、运行速度等。基于这些数据，信号控制器会根据预设的算法和规则，实时发出控制指令，指挥列车安全、准确地运行。在列车运行过程中，全自动无人驾驶系统还配备了多种传感器和检测设备，用于实时监测列车和轨道的状态，以及周围环境的变化。一旦检测到任何异常情况，系统会立即采取相应措施，如紧急制动或调整运行策略，以确保行车安全。另外，全自动无人驾驶技术还具备高度的灵活性和可扩展性。运营控制中心可以根据客流变化和运营需求，灵活调整列车运行计划，优化发车间隔和行驶速度，从而提高运营效率和服务质量^[1]。同时，系统还支持与其他交通方式进行无缝衔接，为乘客提供更加便捷、舒适的出行体验。

2 轨道交通全自动无人驾驶场景分析

2.1 运营场景需求

在轨道交通全自动无人驾驶场景下，运营需求受多种因素影响。从客流特征来看，工作日与节假日、早晚高峰与平峰时段的客流量差异巨大，这要求列车具备灵活的编组能力，在高峰时段能够增加车厢数量以满足大客流运输需求，平峰时则减少编组降低能耗。运营习惯方面，传统运营模式下积累的经验和操作流程需与全自动无人驾驶技术相融合，确保新老系统的平稳过渡。乘客行为也不容忽视，如乘客进出站的速度、上下车的习

惯等，都需要在系统设计中考虑，以优化车站设施布局和列车停靠时间。城市文化对运营需求也有一定影响，不同城市的居民出行偏好和文化特点，可能导致对车站服务设施、信息展示方式等方面的不同需求；复杂的线路走向、坡度变化以及弯道半径等，要求列车的自动驾驶系统具备更高的适应性和精准控制能力。车场的布局和规模决定了列车的停放、检修以及调度效率，需要合理规划车场设施，确保列车能够高效地进行唤醒、回库等操作。系统应具备快速检测和定位故障的能力，并能在最短时间内完成故障修复或切换到备用模式，保障运营的连续性。

2.2 运营场景类型分析

正常模式下，列车需实现自动化的唤醒、自检、正常运行、清客以及回库等流程。列车唤醒时，自动完成设备初始化和状态检查，确保各系统正常工作后进入运行状态。在正常运行过程中，根据预设的时刻表和客流情况自动调整运行速度和停靠时间，实现高效运营。清客环节则通过智能引导系统，快速疏散乘客。回库时，自动完成与车场设备的对接和停放。（1）降级模式主要用于应对各种故障情况。故障处理时，系统自动诊断故障类型和位置，并启动相应的应急预案。对位隔离可在部分车厢出现故障时，将故障车厢与其他车厢隔离，保证列车其他部分继续运行。选择性开关门功能则在站台出现异常或部分车门故障时，实现指定车门的开关操作。蠕动模式用于在低速、近距离移动时，确保列车的安全运行。（2）应急模式是保障乘客生命安全和系统安全的最后防线。紧急疏散时，通过车内和站台的紧急广播、灯光引导等方式，迅速引导乘客撤离到安全区域。救援过程中，列车与救援车辆能够实现高效通信和协同作业，快速完成救援任务。供电分区防护则在供电系统出现故障时，自动隔离故障区域，保障其他区域的正常

供电。维护模式下,系统主要进行恢复和设备维护工作,系统恢复旨在修复故障后,将系统恢复到正常运行状态^[2]。设备维护则通过定期的自动检测和保养,确保列车设备的性能和可靠性,延长设备使用寿命。

3 现有全自动无人驾驶系统的功能特点

3.1 列车唤醒、休眠与自动驾驶

全自动无人驾驶系统具备列车唤醒与休眠功能,这是其自动化流程的重要组成部分。在每日运营开始前,系统能够自动唤醒处于休眠状态的列车,启动自检程序,确保列车各系统处于正常工作状态。一旦自检完成且一切正常,列车便可自动进入运营准备阶段,无需人工干预。在运营结束后,系统又能自动引导列车返回车厂或指定地点,执行休眠程序,为次日的运营做好准备。自动驾驶功能则是全自动无人驾驶系统的核心,它允许列车在无需驾驶员操作的情况下,按照预设的路线和速度自动行驶,大大减轻驾驶员的工作负担,提高运营效率。

3.2 站台精确停车与车门控制

为了确保乘客的安全与舒适,全自动无人驾驶系统配备了精确的站台停车与车门控制功能。当列车接近站台时,系统会利用高精度定位技术和传感器,实时计算列车与站台之间的距离和速度,自动调整列车制动策略,确保列车能够平稳、准确地停靠在指定位置。同时,车门控制系统会根据列车停稳信号和站台门状态,自动开启或关闭车门,与站台门实现同步联动,为乘客提供便捷的上下车体验。这一功能不仅提高了乘客的满意度,还有效避免了因停车不准或车门控制不当引发的安全事故。

3.3 故障检测与自动恢复功能

全自动无人驾驶系统具备强大的故障检测与自动恢复功能,这是保障列车安全运行的关键。系统内部集成了多种传感器和监测设备,能够实时监测列车各部件的工作状态和性能参数。一旦检测到任何异常或故障,系统会立即发出警报,并通过内置的智能算法分析故障原因,尝试自动恢复或采取应急措施,以减小故障对运营的影响。若故障无法自动恢复,系统会及时通知运营控制中心,由专业人员介入处理。这种故障检测与自动恢复机制大大提高了列车的可靠性和安全性,降低了因故障导致的运营中断风险^[3]。

4 全自动无人驾驶场景的新功能需求分析

4.1 提高运营效率的新功能

在全自动无人驾驶场景下,灵活的列车编组与智能调度系统是提升运营效率的关键。传统轨道交通依赖人

工经验进行列车编组和调度,难以精准匹配客流变化。而全自动无人驾驶技术使得列车编组可根据实时客流数据自动调整。例如,在高峰时段,系统自动将列车编组增加,以满足大客流运输需求;低谷时段,则减少编组,降低能耗和运营成本。智能调度系统借助大数据分析和人工智能算法,能根据线路实时运行状况、站点客流情况,动态优化列车运行间隔和时刻表,实现列车的高效运行,减少乘客等待时间,提高整体运营效率。另外,自动洗车与设备保养功能可实现设备的自动维护,减少设备维护时间,提高设备利用率,进一步保障运营的高效性。

4.2 增强安全性的新功能

通过在列车关键部件和轨旁设备上部署大量传感器,实时采集设备运行数据,运用机器学习和数据分析技术,对设备状态进行实时监测和故障预测。一旦检测到潜在故障,系统立即发出预警,并提供故障位置和原因分析,以便维修人员及时处理,避免故障扩大导致运行事故。在紧急情况下,如火灾、地震等,自动报警、紧急制动和疏散引导功能至关重要。列车自动报警系统能迅速将事故信息传输至控制中心,紧急制动系统确保列车安全停车,疏散引导系统通过车内显示屏、广播等方式,引导乘客快速有序疏散,保障乘客生命安全。

4.3 提升乘客体验的新功能

为提升乘客体验,全自动无人驾驶场景下需配备高效的乘客服务功能。自动售票、检票系统应更加智能化,支持多种支付方式,如手机支付、人脸识别支付等,减少乘客购票排队时间。车内智能交互设施可提供实时的列车运行信息、站点介绍、换乘指南等,还能根据乘客需求提供个性化服务,如调整车内温度、灯光亮度等。在站台设置智能引导系统,通过显示屏和语音提示,引导乘客快速找到候车位置,避免乘客在站台盲目寻找,提升乘客出行的便捷性和舒适性。

4.4 应对特殊场景的新功能

针对特殊场景,如恶劣天气、突发大客流等,全自动无人驾驶系统需要具备相应的应对功能。在恶劣天气条件下,如暴雨、暴雪、大雾等,高精度的环境感知技术和自适应控制算法是关键。通过融合多种传感器数据,如激光雷达、毫米波雷达、摄像头等,提高列车对周围环境的感知能力,确保在能见度低的情况下仍能安全运行^[4]。同时,自动调整列车运行速度和制动距离,适应恶劣天气下的轨道条件。面对突发大客流,系统能够迅速启动应急预案,自动增加列车班次,优化列车运行线路,实现快速疏散乘客,避免车站拥堵。

5 轨道交通全自动无人驾驶场景新功能的实现技术与方法

5.1 先进传感器与物联网技术的应用

在轨道交通全自动无人驾驶场景中,先进传感器是实现新功能的基石。激光雷达能够以高精度测量周围环境的距离信息,构建出详细的三维空间地图,帮助列车精确感知轨道、站台以及周边障碍物的位置,为列车的安全运行和精准停靠提供关键数据支持。毫米波雷达则具有良好的穿透性,在恶劣天气如暴雨、暴雪等条件下,依然能稳定地检测目标物体的速度和距离,确保列车在复杂环境中的感知能力不下降。摄像头传感器可以捕捉丰富的视觉信息,通过图像识别技术,实现对信号标识、道岔状态以及乘客行为的监测;物联网技术则将这些分散的传感器连接成一个有机整体,实现数据的实时传输与共享。列车上的各个传感器所采集的数据,能够通过物联网迅速传输到车辆控制系统以及运营管理中心,使系统对列车的运行状态进行全面、实时的监控。例如,通过物联网技术,车辆的关键部件如电机、制动系统等的传感器数据能实时反馈给维修部门,以便及时发现潜在故障隐患,提前安排维护工作,保障列车的可靠运行。

5.2 人工智能与大数据分析的支持

在智能调度方面,大数据分析能够收集和整合历史客流数据、实时交通状况以及特殊事件等多源信息,为人工智能算法提供丰富的数据基础。人工智能算法据此预测不同时段、不同站点的客流量,从而优化列车的编组方案和运行时刻表。比如,在工作日早晚高峰期间,根据预测的客流量,自动调整列车编组数量,合理安排列车的发车时间间隔,提高运输效率,减少乘客的等待时间;在故障诊断与预测领域,人工智能通过对传感器采集的海量设备运行数据进行深度学习,建立设备健康模型。当设备运行数据偏离正常模式时,系统能够及时识别出潜在故障,并预测故障发生的时间和可能造成的影响,为维修人员提供准确的故障预警和维修建议,避免因设备故障导致的运营中断。人工智能还可应用于自动驾驶控制算法中,根据实时的路况和列车运行状态,动态调整列车的运行速度、加速度和制动策略,确保列车运行的平稳性和安全性。

5.3 通信技术的进步

车地通信技术是实现列车与地面控制中心实时交互的关键。目前,基于第五代移动通信技术(5G)的车地通信系统,具有高带宽、低时延和高可靠性的特点,能够满足列车大量数据的实时传输需求。例如,列车运行过程中的实时位置信息、设备状态数据以及乘客信息等,都可以通过5G网络快速传输到地面控制中心,同时,地面控制中心的控制指令也能及时准确地发送到列车上,实现对列车的远程监控和精准控制^[5]。列车之间的通信技术也至关重要,列车可以实时获取相邻列车的位置、速度等信息,实现列车之间的协同运行。在列车自动追踪运行时,前车能够将自身的运行状态实时传递给后车,后车根据这些信息自动调整运行速度和距离,保持安全的行车间隔,提高线路的利用率和运营效率。通信技术还与其他系统紧密融合,如与信号系统相结合,实现列车的自动防护和自动驾驶功能,确保列车运行的安全与高效。

结束语

综上所述,全自动无人驾驶技术在轨道交通领域的应用前景广阔,其不仅能够大幅提高运营效率,增强行车安全性,还能显著提升乘客体验,灵活应对各种特殊场景。随着先进传感器、人工智能、大数据分析及通信技术的不断融合与创新,全自动无人驾驶系统将更加智能化、自主化,为城市轨道交通的可持续发展注入新的活力。未来,期待看到更多创新技术的应用,共同推动轨道交通全自动无人驾驶技术迈向更高水平。

参考文献

- [1]黄涛,张军贤,蔡正凯,饶鑫,单奇.基于机器视觉技术的城市轨道交通列车定位与测速系统研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(07):8-12.
- [2]吴杰.城市轨道交通信号系统次级列车定位技术发展研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(11):37-40.
- [3]田斌.基于无线感应技术的城市轨道交通高精度列车定位系统设计[J].城市轨道交通研究,2020,23(11):122-125.
- [4]宋丽梅,周琪.城市轨道交通全自动无人驾驶安全性分析[J].信息通信,2020(3):148-149.
- [5]封宇.无人驾驶地铁列车控制系统的研究[J].运输经理世界,2023(10):1-3.