

地铁综合监控系统的未来发展

朱思航

徐州地铁信息科技有限公司 江苏 徐州 221000

摘要：地铁综合监控系统未来发展前景广阔。智能化上，边缘计算与AI实现故障预测、客流优化，数字孪生用于应急演练与能效优化；通信方面，5G专网与TSN融合、卫星通信作备份；安全体系重构采用零信任架构与区块链；绿色低碳导向明确。同时，在应用场景与商业模式上也有拓展创新。不过，发展面临旧系统改造、算法解释、数据共享等挑战，需采取针对性对策加以应对。

关键词：地铁综合监控系统；未来发展；关键技术

引言：在城市化进程不断加速、轨道交通网络日益繁密的当下，地铁已成为城市交通的关键命脉。地铁综合监控系统作为保障其安全、高效运行的“智慧大脑”，重要性愈发凸显。当前，该系统虽已实现分层管控，但存在数据传输延迟、子系统协同不足等问题。随着技术革新，智能化、通信突破、安全重构等趋势为其带来新契机。探索其未来发展，对提升地铁运营质量、推动城市交通智慧升级意义重大。

1 地铁综合监控系统现状分析与技术瓶颈

1.1 现有系统架构特征

（1）分层式结构（中央级-车站级-现场级）：中央级负责全局监控与调度，统筹线路整体运行状态；车站级聚焦单站设备与客流管理，执行中央指令并反馈局部信息；现场级直接对接传感器、控制器等终端设备，采集实时运行数据。该结构虽实现层级管控，但层级间数据传输存在延迟，尤其在高峰时段易出现信息同步滞后。

（2）子系统独立运行与数据互通不足：系统包含电力监控、环境控制、安防监控等多个子系统，各子系统多由不同厂商开发，采用独立硬件与软件架构。虽部分系统通过接口实现基础数据交换，但缺乏深度协同，如安防报警信息难与列车调度系统联动，无法形成一体化应急响应。

1.2 核心痛点

（1）数据层面：多源异构数据融合困难：数据来源涵盖设备运行数据、客流数据、环境数据等，格式包括结构化的数据库数据与非结构化的视频流数据，现有技术难以高效整合，导致数据价值挖掘受限，无法为决策提供全面支撑。（2）功能层面：被动响应为主，缺乏预测能力：系统多在故障或异常发生后报警并触发处置流程，难以基于历史数据与实时趋势预测设备故障、客流拥堵等情况，无法提前制定应对策略，增加运营风险。

（3）安全层面：网络攻击风险与隐私保护矛盾：系统联网程度提升，易遭受黑客攻击、病毒入侵等威胁；同时，客流监控涉及乘客隐私，如何平衡安全防护与隐私保护成为难题。（4）标准层面：协议不统一导致扩展性受限：各子系统采用不同通信协议，如Modbus、BACnet等，新增设备或子系统需额外开发适配接口，不仅增加成本，还降低系统扩展性，阻碍智慧地铁升级。

2 地铁综合监控系统的未来发展趋势与关键技术

2.1 智能化升级路径

（1）边缘计算+AI：实现实时故障预测与自主决策：边缘计算将数据处理能力下沉至车站级、现场级终端，减少数据向中央级传输的延迟，搭配AI算法可实现毫秒级响应。以基于深度学习的轨道磨损预测模型为例，系统通过现场传感器实时采集轨道振动、应力等数据，边缘节点利用训练好的CNN-LSTM混合模型分析数据特征，提前7-14天预测轨道磨损趋势，当磨损值接近阈值时自动生成维护工单并推送至运维平台，避免故障发生。同时，AI还能优化客流调度，通过计算机视觉识别站台客流密度，自主调整闸机开放数量与列车到站间隔，提升运营效率^[1]。（2）数字孪生技术：构建全要素虚拟映射系统：依托三维建模与实时数据同步技术，将地铁线路的车站建筑、轨道设施、设备运行状态等全要素映射至虚拟空间，形成与物理系统1:1对应的数字孪生体。在应急演练模拟场景中，可模拟火灾、设备故障等突发情况，通过虚拟推演测试不同应急预案的效果，优化疏散路线与资源调配方案，避免实地演练对运营的影响；在能效优化方面，数字孪生体可实时分析空调、照明等设备的能耗数据，模拟不同运行参数下的能耗变化，找到最优节能方案并同步至物理系统，降低运营成本。

2.2 通信技术突破

（1）5G专网与时间敏感网络（TSN）的融合应用：

5G专网具备高带宽、低时延、广连接的特性,可满足高清视频监控、大容量传感器数据传输需求;TSN则能保障数据传输的确定性与可靠性,确保关键控制信号(如列车调度指令、设备控制命令)的传输时延控制在毫秒级以内。二者融合后,可实现监控数据与控制信号的统一传输,打破传统系统中数据通信与控制通信的割裂状态,例如在列车运行过程中,5G专网传输车厢内高清视频,TSN保障列车牵引系统的控制信号实时传输,提升系统协同性。(2)卫星通信作为地面网络的冗余备份方案:当地铁沿线遭遇自然灾害(如地震、洪水)导致地面光纤、基站受损时,卫星通信可作为应急备份通信通道,保障中央级与车站级、现场级的基本数据传输。通过在车站部署卫星接收终端,即使地面网络中断,仍能实时上传设备故障信息、客流数据,接收中央调度指令,为应急救援与故障抢修提供通信支撑,提升系统抗灾能力^[2]。

2.3 安全体系重构

(1)零信任架构在工控系统的落地实践:打破传统“内外网隔离”的安全理念,采用“永不信任,始终验证”的原则,对所有接入系统的设备(如传感器、控制器、运维终端)与用户进行身份认证、权限管控与行为审计。例如,运维人员远程登录系统时,需通过多因素认证(如密码+USB密钥+生物识别),且仅能访问授权范围内的设备与数据;传感器上传数据前,需验证其设备证书与数据完整性,防止非法设备接入或数据被篡改,抵御网络攻击。(2)区块链技术用于设备身份认证与数据溯源:将设备的身份信息(如设备编号、型号、厂商信息)与数据流转记录(如数据采集时间、传输路径、处理节点)存储于区块链中,利用区块链的不可篡改特性,确保设备身份的唯一性与数据的真实性。当系统检测到异常数据时,可通过区块链追溯数据来源,快速定位被篡改的环节或非法接入的设备;同时,设备身份信息上链后,可有效防止伪造设备接入系统,降低安全风险。

2.4 绿色低碳导向

(1)能耗监测与智能调光系统的协同优化:通过部署能耗传感器,实时采集车站、车厢内各设备的能耗数据,构建能耗监测平台;智能调光系统则依据自然光强度、客流密度自动调整照明亮度(如白天自然光充足时降低灯光亮度,夜间客流减少时关闭部分非必要照明)。二者协同工作时,能耗监测平台分析照明系统的能耗规律,为智能调光提供优化参数,例如根据历史数据确定不同时段、不同区域的最优照明亮度,实现能

耗与照明效果的平衡,年均可降低照明能耗15%-20%。

(2)再生制动能量回收的监控集成:将列车再生制动系统与监控系统联动,实时采集列车制动过程中产生的电能数据,通过监控系统分析能量回收效率与存储状态。当列车进站制动产生再生电能时,监控系统判断电网负荷情况,若电网负荷较低,将电能存储至储能设备;若电网负荷较高,直接将电能反馈至电网供其他设备使用。同时,监控系统可实时监测储能设备的充电状态与健康度,确保能量回收与存储过程安全稳定,提升能源利用率^[3]。

3 地铁综合监控系统的应用场景拓展与商业模式创新

3.1 乘客服务维度

(1)室内定位技术(UWB/蓝牙AOA)与客流热力图结合:UWB(超宽带)与蓝牙AOA(到达角定位)技术可实现地铁站内亚米级定位,结合监控系统生成的客流热力图,为乘客提供动态路径规划。例如,乘客通过地铁APP开启定位功能,系统会根据实时热力图避开拥堵区域(如高峰时段的换乘通道),推荐最优进站、乘车、出站路线;同时,定位数据还能辅助监控系统精准识别滞留人群,及时触发广播疏导,提升乘客出行体验。

(2)AR导航在站内寻路中的应用:依托监控系统的站内空间建模数据,在乘客手机端实现AR实景导航。当乘客需寻找特定出口、卫生间或商铺时,打开APP即可通过摄像头看到叠加在现实场景中的导航箭头,直观指引行进方向;对于换乘复杂的车站,AR导航还能提前标注换乘站台位置,降低乘客寻路难度,减少站内滞留时间。

3.2 城市级协同层面

(1)与智慧城市平台的接口标准化:制定地铁综合监控系统与智慧城市平台的数据交互标准,实现设备运行状态、客流数据、能耗数据等信息的规范化传输。例如,将地铁客流量数据同步至智慧城市交通模块,辅助城市交通部门统筹调配地面公交、共享单车等资源,缓解地铁接驳压力;将车站能耗数据上传至智慧城市能源平台,为城市整体能效优化提供数据支撑。(2)地铁数据反哺城市交通规划(如OD分析):通过监控系统采集乘客的起点(Origin)与终点(Destination)数据,构建OD分析模型,精准识别乘客出行热点线路与高峰时段。这些数据可反哺城市交通规划,例如在OD流量大的区域新增地铁站点、优化线路走向,或调整地面交通线路与地铁的接驳频次,提升城市交通整体运行效率^[4]。

3.3 商业化探索

(1)数据资产确权与增值服务开发(如商业广告精准投放):在保障乘客隐私的前提下,对地铁客流特

征、出行习惯等数据进行确权,开发增值服务。例如,基于客流热力图与乘客出行偏好,为车站商铺、沿线商圈提供精准广告投放服务,将广告推送给目标客群(如在通勤高峰时段向年轻乘客推送餐饮、零售广告),提升广告投放效果,为地铁运营方创造额外收益。(2)云化综合监控系统的SaaS模式:将地铁综合监控系统云化部署,采用软件即服务(SaaS)模式向中小城市地铁运营商、轨道交通相关企业提供服务。客户无需投入大量资金建设本地系统,只需按使用时长或功能模块付费,即可享受设备监控、数据分析、故障预警等服务;运营方可通过规模化服务降低边际成本,实现持续盈利,推动监控系统商业化落地。

4 地铁综合监控系统未来发展的挑战与对策建议

4.1 技术实施障碍

(1)旧系统改造中的兼容性问题:部分地铁线路仍运行传统工控系统,硬件接口、通信协议与新技术(如边缘计算、数字孪生)不兼容,直接替换易导致系统中断。对策:采用“过渡网关+模块化改造”方案,通过网关实现新旧协议转换,分阶段替换核心模块(先升级数据采集层,再优化控制层),同时在改造前进行多轮兼容性测试,保障过渡期系统稳定。(2)算法可解释性与轨道交通安全要求的冲突:AI算法(如故障预测模型)存在“黑箱”特性,难以解释决策逻辑,不符合轨道交通“可追溯、可验证”的安全要求。对策:研发“白盒化AI模型”,结合规则引擎明确算法决策依据,例如在轨道磨损预测模型中,同步输出关键影响因子(如振动频率、运行里程)及权重,确保决策可解释、可审计。

4.2 管理机制优化

(1)跨部门数据共享的权责划分:地铁运营涉及调度、运维、安防等多部门,数据共享易出现“权责模糊”问题(如数据泄露责任界定难)。对策:建立“数据共享清单+权责协议”,明确各部门数据所有权、使用权,例如调度部门负责客流数据提供,运维部门负责设备数据管理,同时设立跨部门协调小组,处理数据共享争议。(2)运维人员技能转型的培训体系设计:新技术落地需运维人员掌握AI、云平台等技能,现有人员技能

存在断层。对策:构建“分层培训体系”,基础层开展5G、边缘计算等技术普及培训,进阶层针对算法运维、数字孪生操作开展实操训练,同时与高校、技术厂商合作,引入认证考核机制,保障培训效果。

4.3 标准与法规完善

(1)推动IEC62443等工控安全标准的本地化适配:国际标准IEC62443未充分考虑国内地铁网络架构、设备特性,直接应用存在适配风险。对策:由行业协会牵头,联合运营商、厂商制定“国标+地方细则”,例如补充针对地铁5G专网、卫星备份的安全要求,形成本地化标准体系。(2)明确数据采集与使用的伦理边界:监控系统采集的客流数据、乘客定位信息涉及隐私,易引发伦理争议。对策:出台《地铁数据伦理规范》,明确“最小必要采集”原则(如仅采集客流密度,不采集个人身份信息),规定数据使用范围(仅限运营优化、规划,不得用于商业推销),并建立数据安全审计机制。

结束语

地铁综合监控系统的未来发展,是技术创新与城市交通需求深度融合的必然走向。智能化、通信升级、安全体系完善以及绿色低碳导向,为其勾勒出清晰的进化蓝图,拓展的应用场景与创新的商业模式更增添无限可能。然而,前行之路并非坦途,技术实施、管理机制及标准法规等方面的挑战亟待破解。唯有各方协同努力,跨越重重障碍,才能让地铁综合监控系统真正成为城市交通高效、安全、绿色运行的坚实保障,引领轨道交通迈向新征程。

参考文献

- [1]邢红霞.地铁综合监控系统的网络结构应用研究[J].自动化技术与应用,2020,(08):69-70.
- [2]周天鸣.地铁综合监控系统应用技术[J].电子技术与软件工程,2020,(06):48-50.
- [3]薛恒,吴迪,石晓宝.地铁综合监控系统应用技术分析[J].数码设计(上),2021,(14):133-134.
- [4]贺龙.基于地铁综合监控系统的运行与维护探究[J].科学与信息化,2023,(15):157-159.