

城市轨道交通既有线路闭路电视监控系统智慧化升级

张天宁

浙江华展研究设计院股份有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：城市轨道交通既有线路闭路电视监控系统（CCTV）长期运行后，存在画质模糊、功能局限、智能化欠缺等问题，难以契合当下高效运营与安全保障要求。本次智慧化升级方案着重从前端设备入手，推进高清化与智能化改造；优化扩容传输网络；对后端系统进行算法升级与平台整合。同时强化与轨道交通其他系统的协同联动，借助高清摄像机、智能算法、大数据及云计算等技术，达成精准感知、智能分析与快速响应，为城市轨道交通保驾护航。

关键词：城市轨道交通；既有线路；闭路电视监控系统；智慧化升级

1 城市轨道交通既有线路闭路电视监控系统构成与功能

城市轨道交通既有线路的闭路电视监控系统（Closed-Circuit Television，简称CCTV）是保障轨道交通运营安全与效率的重要技术手段。该系统主要由前端采集设备、传输网络、中心控制设备及显示存储设备四大部分构成。前端采集设备包括高清摄像机、云台、防护罩等，负责实时采集车站、隧道、列车车厢等区域的视频图像；传输网络采用光纤、同轴电缆或无线传输方式，确保视频信号稳定、高效地传输至中心控制室；中心控制设备由视频矩阵切换器、数字视频录像机（DVR）、网络视频录像机（NVR）及管理服务器等组成，负责视频信号的切换、处理、存储与管理；显示存储设备则包括监视器、大屏幕显示系统及存储阵列，用于实时显示监控画面并长期保存视频资料^[1]。

该系统的主要功能包括；实时监控：对车站出入口、站台、通道、设备区等关键区域进行全天候、全方位监控；录像存储与回放：支持视频数据的长期存储与快速检索，便于事后追溯与分析；智能分析：部分系统集成人脸识别、行为分析等智能算法，实现异常行为预警；远程控制：支持中心对前端摄像机的云台旋转、焦距调整等远程操作；应急指挥：在突发事件中，为运营调度、应急指挥提供直观的视频信息支持。

2 既有 CCTV 系统存在的问题

2.1 视频画质与清晰度欠佳

既有闭路电视监控系统（CCTV）中，部分早期建设的设备因技术标准较低，导致视频画质与清晰度无法满足当前运营需求。部分摄像机使用年限超过十年，传感器性能衰减，成像质量下降，夜间或低光照环境下噪声明显；早期系统多采用标清（SD）或早期高清（720P）设备，难以适应4K/8K超高清监控的发展趋势，细节捕

捉能力不足；部分摄像机防护罩密封性差，长期暴露于户外或高湿度环境，导致镜头起雾、图像模糊；部分线路采用模拟信号传输，受线路老化、电磁干扰等因素影响，视频信号衰减严重，画面出现卡顿、丢帧。

2.2 智能化分析能力薄弱

既有CCTV系统在智能化应用方面存在显著短板，主要体现为；缺乏智能算法：系统多以基础录像存储与回放为主，未集成人脸识别、行为分析、目标跟踪等AI技术，难以实现异常行为的自动预警；数据分析能力不足：对海量视频数据的挖掘与利用效率低下，无法通过结构化分析提取有价值信息（如客流统计、区域热度分析等）；系统兼容性差：早期设备与软件平台多采用封闭式架构，难以接入第三方智能分析模块，限制了功能扩展；运维依赖人工：异常事件检测仍依赖人工巡检，效率低且易漏报，无法满足实时性要求。

2.3 数据处理与传输效率低下

既有CCTV系统在数据处理与传输环节面临严峻挑战，随着监控点位与视频数据量的激增，部分线路的存储设备已接近饱和，导致历史数据覆盖周期缩短，关键证据可能丢失；早期网络架构以同轴电缆或低带宽光纤为主，难以支撑高清视频的实时传输，多画面同时调用时易出现卡顿；视频信号从采集到显示需经过多级处理，导致应急指挥中画面延迟，影响决策效率；数据冗余严重；未采用高效编码格式（如H.265），导致相同画质下数据量增大，进一步加剧存储与传输压力。

3 城市轨道交通既有线路 CCTV 系统智慧化升级的技术支撑

3.1 高清与超高清视频技术

高清（HD，1080P）与超高清（4K/8K）视频技术作为智慧化升级的基础，通过提升传感器分辨率、优化编码算法（如H.265/HEVC）、增强图像处理能力，实现了

视频画质的质的飞跃。相比传统标清（SD）系统，超高清视频的像素密度提升16倍以上，能够清晰捕捉人脸特征、物体细节及环境动态，为后续的智能分析提供了高质量的数据源。在实际应用中，高清与超高清视频技术可广泛应用于精准监控、智能运维和应急指挥等场景。为确保高清与超高清视频技术的有效实施，需在设备选型、网络升级和存储优化等方面下功夫。选择宽动态、低照度、强光抑制型摄像机，以适应隧道、站台等复杂光照环境；部署万兆光纤骨干网与5G无线回传，保障超高清视频的低延迟传输；采用分布式存储与分级存储策略，平衡成本与数据留存周期，满足不同业务场景的需求。

3.2 人工智能技术

人工智能（AI）技术作为智慧化升级的核心驱动力，通过深度学习、计算机视觉、行为识别等算法，赋予了CCTV系统“感知-分析-决策”的能力。在具体应用中，AI技术可实现人脸识别、行为分析和目标跟踪等功能。人脸识别技术可用于实现黑名单人员预警、客流属性分析（年龄、性别）；行为分析技术可检测徘徊、奔跑、攀爬等异常行为，并联动报警系统；目标跟踪技术可跨摄像头追踪可疑人员或物品，生成行动轨迹^[2]。近年来，人工智能技术在轨道交通CCTV系统中的应用取得诸多技术突破。边缘计算技术的出现，使得在前端摄像机内嵌AI芯片成为可能，实现本地化智能分析，降低中心服务器的压力；多模态融合技术结合视频、音频、传感器数据，提升复杂场景下的识别准确率；小样本学习技术通过少量标注数据训练模型，适应了轨道交通场景的多样性。为推动人工智能技术在轨道交通CCTV系统中的广泛应用，需在算法训练、系统集成和隐私保护等方面制定实施路径。基于轨道交通历史数据（如千万级人脸库、百万级行为样本）训练专属模型，提高算法的针对性和准确性；开发AI中间件，兼容既有视频管理平台（VMS），实现无缝对接；采用脱敏技术、本地化存储等手段，确保乘客信息的合规使用，保护乘客的隐私权益。

3.3 大数据与云计算技术

大数据与云计算技术为轨道交通CCTV系统的智慧化升级提供了强大的数据存储、处理和分析能力。轨道交通CCTV系统每日产生PB级视频数据，通过大数据技术可实现这些数据的结构化分析，挖掘其中的潜在价值。在云计算架构方面，可采用混合云部署模式，将实时监控数据存储于私有云，确保数据的安全性和实时性，将历史数据归档至公有云，降低存储成本；利用云服务器的弹性扩展能力，按需分配算力，应对突发大客流或重大活动保障；通过云平台实现多线路、多系统（如PIS、

AFC）的数据共享与联动，提高系统的整体协同效率。然而大数据与云计算技术在实施过程中也面临着一些挑战。需建立统一的数据标准与标签体系，解决异构数据融合难题，确保数据的一致性和可用性；采用GPU虚拟化、AI加速卡等技术，降低深度学习模型推理成本，提高计算效率；遵循《数据安全法》《个人信息保护法》等相关法律法规，构建数据全生命周期安全防护体系，保障数据的安全和合规使用。

3.4 物联网技术

物联网（IoT）技术通过传感器、RFID标签、低功耗无线通信（如LoRa、NB-IoT）等技术手段，实现了CCTV系统与轨道交通其他子系统的深度融合，拓展了系统的感知能力和应用范围。在设备互联与感知方面，物联网技术可在隧道、车站部署温湿度、烟雾传感器，联动视频画面分析火灾风险；将摄像机状态（如倾斜角度、存储容量）接入设备管理系统（EAM），实现主动运维；通过Wi-Fi探针、蓝牙信标，结合视频定位技术，为乘客提供精准化信息服务。物联网技术还可与其他技术进行融合创新^[3]。为推动物联网技术在轨道交通CCTV系统中的应用，需采取一系列实施策略。采用OPCUA、MQTT等工业协议，确保异构设备之间的互联互通；部署物联网安全网关，防范设备劫持、数据篡改等攻击，保障系统的安全稳定运行；基于IoT数据预测摄像机故障，提前备件更换，减少停机时间，提高设备的可用性和维护效率。

4 城市轨道交通既有线路 CCTV 系统智慧化升级方案设计

4.1 前端设备升级

前端设备作为CCTV系统的“眼睛”，其性能直接决定了视频采集的质量。在智慧化升级中，需对既有线路的前端摄像机进行全面更新换代。一方面，引入高清（1080P及以上）与超高清（4K/8K）摄像机，采用先进的图像传感器和光学镜头，提升视频的分辨率、色彩还原度和动态范围，确保在各种光照条件下（如隧道内的低照度环境、站台的强光环境）都能获取清晰、准确的视频画面。另一方面，为摄像机集成智能分析模块，如基于深度学习算法的人脸识别、行为识别芯片，实现前端智能化。这样，摄像机可在本地对采集到的视频进行实时分析，检测到异常行为（如奔跑、攀爬、斗殴等）或可疑人员时，立即触发报警信号并上传至后端系统，减少数据传输带宽压力，提高系统的响应速度。另外，还需对前端设备的防护等级进行提升，采用防尘、防水、防爆、抗震等设计，以适应轨道交通复杂恶劣的运

行环境,确保设备的长期稳定运行。

4.2 传输网络升级

传输网络是连接前端设备与后端系统的“桥梁”,其带宽和稳定性对于视频数据的实时传输至关重要。在智慧化升级方案中,需对既有线路的传输网络进行全面优化。对于有线传输部分,可考虑采用万兆光纤骨干网,提升网络带宽,满足高清、超高清视频的传输需求。在车站、车辆段等关键节点部署工业级交换机,具备高可靠性、冗余备份和QoS(服务质量)保障功能,确保视频数据传输的稳定性和低延迟。对于无线传输部分,随着5G技术的不断发展,可充分利用5G网络的高带宽、低时延、大容量特性,在部分区域(如隧道、地下车站)部署5G微基站,为移动摄像机(如列车上的车载摄像机)提供高速稳定的无线传输通道。还可采用软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)技术,实现网络资源的灵活调配和动态管理,根据实际业务需求自动调整带宽分配,提高网络资源的利用率。

4.3 后端系统升级

后端系统是CCTV系统的“大脑”,负责对前端采集的视频数据进行存储、处理、分析和展示。在智慧化升级中,需对后端系统进行全面升级改造。在存储方面,采用分布式存储架构,结合RAID(独立磁盘冗余阵列)技术和数据冗余备份策略,确保视频数据的安全性和可靠性。根据视频数据的存储周期和访问频率,采用分级存储策略,将热数据存储在高速SSD硬盘中,冷数据存储在大容量机械硬盘中,降低存储成本。在处理和分析方面,引入大数据处理平台和人工智能算法,对海量视频数据进行实时分析和挖掘。还可开发智能运维管理系统,对前端设备、传输网络和后端服务器进行实时监控和管理,及时发现并处理设备故障和网络异常,提高系统的运维效率^[4]。在展示方面,采用先进的视频管理平台(VMS),提供直观、便捷的用户界面,支持多画面分割、视频回放、电子地图导航等功能,方便调度人员和管理人员对视频进行查看和管理。

4.4 系统集成与融合

城市轨道交通既有线路CCTV系统的智慧化升级不仅仅是单个系统的升级,还需要与其他相关系统集成与融合,实现信息共享和协同工作。一方面,将CCTV系统与轨道交通的其他子系统(如综合监控系统(ISCS)、乘客信息系统(PIS)、自动售检票系统(AFC)等)进行集成,实现数据交互和联动控制。例如,当CCTV系统检测到站台客流异常时,可自动联动ISCS系统调整通风、照明等设备运行状态,同时向PIS系统发送信息,引导乘客有序疏散;当AFC系统检测到某台闸机故障时,可联动CCTV系统将故障闸机的视频画面推送至相关人员的终端设备上,方便维修人员快速定位故障位置。另一方面,与城市公共安全系统(如公安天网系统)进行对接,实现视频资源的共享和协同作战。通过系统集成与融合,打破信息孤岛,实现轨道交通系统的整体智能化和协同化运行,提高城市轨道交通的安全性和运营效率。

结束语

城市轨道交通既有线路CCTV系统的智慧化升级是顺应时代发展的必然选择,也是提升轨道交通运营管理水平的关键举措。本次升级方案从多个维度对系统进行了全面优化,通过技术融合与创新应用,有效提升了系统的性能与功能。未来,随着技术的不断进步,应持续探索新技术在CCTV系统中的应用,进一步完善系统功能,为城市轨道交通的安全、高效、智能运营保驾护航,助力城市公共交通事业迈向新的台阶。

参考文献

- [1]向鹏成,吴柏廷.包容性城市更新理论框架构建[J].建筑经济,2020,41(3):109-113.
- [2]高见,鄢晓霞,张琰.系统性城市更新与实施路径研究:基于复杂适应系统理论[J].城市发展研究,2020,27(2):62-68.
- [3]裴立原.城市轨道交通Y形线路信号系统拆分改造方案[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(11):85-91.
- [4]陈绍文.列车自主运行系统下城市轨道交通线路配线需求研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(11):72-75.