 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i6.10794

Research on Integrated Video Surveillance System and Communication Integration Technology for Railways

Wenjun Zheng

Guoneng Shuohuang Railway Yuanping Branch, Xinzhou, Shanxi, 034100, China

Abstract

Railway integrated video surveillance systems play a pivotal role in transportation organization, operational safety, and equipment maintenance. With the advancement of digitalization and intelligent infrastructure development in railways, traditional video systems are evolving toward networked integration. Communication technologies serve critical functions in railway systems, including data transmission, dispatch support, and operational assurance, while their convergence opens new possibilities for railway security systems. Video surveillance systems face challenges such as high bandwidth consumption, sensitivity to link latency, and complex transmission paths, while communication networks demand enhanced reliability and real-time performance. Establishing an integrated technical framework to ensure stable video transmission within communication networks and achieve seamless coordination with dispatching, signaling, and maintenance systems remains a core research focus. This paper proposes integrated development strategies encompassing system architecture, technical approaches, security mechanisms, and engineering deployment, providing theoretical and practical references for the unified development of railway video surveillance and communication systems.

Keywords

railway video surveillance; communication convergence; network architecture; data transmission; intelligentization

铁路综合视频监控系统与通信融合技术研究

郑文君

国能朔黄铁路原平分公司，中国 · 山西 忻州 034100

摘　要

铁路综合视频监控系统在运输组织、行车安全和设备运维中起着关键作用。随着铁路数字化与智能化建设的推进，传统视频系统正向网络化和融合化方向发展。通信技术在铁路系统中承担数据传输、调度支撑与运维保障的重要任务，二者的融合为铁路安防体系带来了新的发展空间。视频监控系统面临带宽消耗大、链路延迟敏感和传输路径复杂等问题，而通信网络对可靠性和实时性提出更高要求。如何构建融合型技术体系，确保视频监控系统在通信网络中的稳定传输，并与调度、信号、工务等系统协同工作，是当前研究的核心。本文从系统架构、技术路径、安全机制和工程部署等方面提出融合建设思路，为铁路视频监控与通信系统的一体化发展提供理论与实践参考。

关键词

铁路视频监控；通信融合；网络体系；数据传输；智能化

1 引言

铁路综合视频监控系统的建设经历了从独立化、分散化到网络化、集中化的发展过程，在保障行车安全、客运组织、场景管控与设备维护方面具有不可替代的功能。随着铁路线路规模迅速扩张、列车密度不断提高、调度模式日益智能化，视频监控对系统传输能力、数据容量与实时性能提出更高要求，传统孤立的视频网络难以支撑如此庞大的业务需求。通信技术的发展使融合成为可能，通过在统一网络架构中承载视频数据，使铁路系统在信息流通、安全管控与资源调度方面获得更大优势。视频监控与通信网络的结合不仅是技术演进趋势，也是铁路智能化建设的必然要求。融合过程涉及网络结构重构、传输机制优化、数据调度策略调整与安全体系升级，对系统设计、设备选型与运维模式均带来深远影响。本文从融合发展的背景与需求出发，分析关键技术路径，并提出可持续演进的架构体系，为铁路综合视频监控系统的优化提供参考依据。

【作者简介】郑文君（1990–），男，中国山西原平人，本科，助理工程师，从事铁路通信维护研究。

2 铁路综合视频监控系统的结构特点与发展需求

2.1 系统结构的层级化与分布式特征

铁路综合视频监控系统一般由前端采集设备、传输网络、中心处理平台和存储体系构成。前端设备数量庞大，分

布在站场、隧道、桥梁、区间线路、控制中心及动车运用区域，呈高度分布式结构。采集设备种类多样，包括高清摄像机、红外监控设备、智能分析终端等。由于铁路沿线环境复杂，前端设备在不同场景中承担的监测任务具有差异性，导致数据类型与编码格式多样。系统中涉及的传输链路包括光纤网络、无线网络及专用传输通道，其覆盖范围广、链路路径长，在不同区段间存在网络容量与稳定性差异。中心平台需要同时处理海量视频流、报警数据、智能分析结果等信息，使系统整体呈现层级化结构。分布式系统在稳定性上受外界环境、节点性能与网络拓扑等因素影响，使视频监控对通信网络提出更高的可靠性与带宽要求。

2.2 视频监控业务对通信网络的性能需求

铁路视频监控业务具有高码率、高并发、低延时的特点。高清与超高清摄像技术的广泛应用使单路视频数据量显著增加，在站场与枢纽区域，大量摄像头同时接入，对传输网络的带宽分配与调度能力构成持续压力。视频监控对实时性的要求极高，尤其在行车监控、应急指挥、客运组织等场景，延迟过大会影响判断与决策，甚至引发安全风险。视频流对丢包极为敏感，链路抖动与短时中断可能导致画面卡顿或信号丢失，在长距离传输中更易受到外部干扰影响。因此，通信网络在承载视频业务时必须具备高稳定性与强抗干扰能力。

2.3 铁路数字化与智能化背景下的融合趋势

铁路行业全面推进数字化建设，视频监控不再仅用于图像呈现，而是成为智能检测、设备状态分析、客流预测与安全预警的重要数据源。大量智能化应用需要以统一的通信网络作为支撑，使视频数据能够与调度、信号、车载系统等信息实现交互与共享。信息融合带来资源整合优势，使通信网络逐步成为承载多系统业务的基础设施。随着通信技术向高速率、低延时、大容量方向演进，视频监控和通信网络的融合成为提升系统整体性能的重要途径。融合趋势明显增强铁路系统的整体感知能力与运行智能化水平，使视频监控具备更广泛的业务价值。融合发展为未来铁路运行的智能调度、自动驾驶、全景监督与应急响应提供了关键技术基础。

3 铁路通信网络的结构特征与融合条件

3.1 通信网络的多层级结构体系

铁路通信系统通常由骨干传输网、接入网、无线通信网和调度通信系统构成，呈现多层级、广覆盖的结构特点。骨干传输网多采用光纤环网结构，实现跨区域高速传输；接入网负责前端设备的数据采集与初级汇聚，是承载视频监控的重要环节；无线通信网主要用于移动通信与设备间的数据交换，对铁路高速运行场景的通信稳定性具有重要意义；调度通信系统则承担指挥与调度任务，对可靠性要求极高。通信网络在铁路场景中具有抗干扰能力强、结构冗余度高、覆盖范围广等优势，使其具备承载视频监控业务的基础条件。

3.2 通信设备性能的演进与视频业务承载能力提升

在通信与网络技术快速发展背景下，铁路通信设备在带宽、容量、处理速度与可靠性方面不断提升，具备了承载高清视频与智能化监控业务的能力。现代路由交换设备支持高密度端口与高速转发，可满足大量视频流的并发需求；光传输设备支持多波长传输，使链路资源利用率显著提高；无线通信设备在抗频繁切换与高速移动干扰方面得到优化，为移动场景下的视频采集提供稳定通道。通信设备的智能化程度不断提高，可通过动态调度、链路优化与自动恢复机制提升系统的运行效率。通信设备能力的增强为视频监控与通信网络的融合奠定了坚实基础，使二者能够在统一架构中协同运行。

3.3 融合技术实施的环境与管理条件

视频监控与通信网络的融合不仅依赖设备能力，也依赖管理制度、工程实施条件与运维体系的支持。铁路系统具有管理体系严格、责任划分明确的特点，需要在融合过程中建立统一的技术标准与业务规范，使不同系统间的接口兼容、协议一致、资源配置合理。设备安装与网络搭建需结合沿线地理环境、站场布局与施工条件进行规划，确保系统部署的可靠性。运维体系需具备跨系统管理能力，通过培训、流程优化与平台化管理实现融合后的统一运维。融合实施的管理条件对系统长期运行稳定性具有重要影响，是保障融合技术可持续发展的重要前提。

4 视频监控与通信融合的关键技术路径

4.1 统一网络架构的构建与优化

融合型架构的核心在于构建统一的承载网络，实现视频业务与通信业务在同一网络体系中的协同运行。该统一架构要求在网络拓扑、路径规划、带宽分配和节点部署等方面进行整体设计。骨干网络可以采用多环多链结构，以提高链路的可靠性；站场区域则通过层次化汇聚结构来实现视频数据的高效集中；区间线路则应采用冗余链路与分布式路径，以确保在长距离传输过程中视频数据的稳定性。统一架构还强调带宽的动态管理，利用智能调度算法根据不同业务的需求进行资源分配，从而提高网络的整体利用率。在架构优化过程中，还需结合视频业务在不同场景中的流量变化规律，确保网络在高峰负载下依然具备高可靠性。这种统一而灵活的架构设计，能够有效提升网络的稳定性和资源利用率，为铁路系统的融合发展提供坚实的基础。

4.2 视频数据的智能编码与传输机制

视频监控系统的数据量巨大，融合过程中必须通过智能编码与优化传输机制提升传输效率。高效编码技术可在保证画质的前提下降低码率，使通信网络压力显著减轻。编码策略可根据场景复杂度调整压缩参数，使资源利用更加精细化。视频数据在传输过程中需要采用流量调节、缓冲策略、丢包补偿等机制，减少网络抖动与干扰影响。长距离传输中

可结合差错控制机制提升稳定性。智能编码与传输机制的应用使视频监控在通信网络中的运行更加平稳，为大规模接入设备提供技术支撑。

4.3 安全防护与访问控制体系的构建

融合体系需要应对多源威胁，安全防护措施必须贯穿编码、传输、存储与访问全过程。视频监控的数据内容涉及关键区域与设备状态，一旦泄露可能导致极大风险，因此需要采用加密技术保护数据机密性。访问控制体系可通过分级授权、身份认证与操作审计，确保系统仅被授权人员使用。融合网络中不同业务之间共享资源，安全策略需避免业务间的潜在干扰。通过建立全面的安全监测体系，可实时识别异常流量或访问行为，并采取隔离措施。安全防护的系统化建设可提高整体融合体系的可靠性与抗攻击能力，使视频监控与通信网络的融合在长期运行中保持安全性。

5 铁路视频监控与通信融合的工程化应用策略

5.1 融合系统的部署模式与分级建设路径

融合工程的实施应依据不同铁路线路类型、站场结构与业务需求，制定合理的分级建设路径。在干线和高速铁路中，建议采用集中式平台管理模式，通过大型数据中心对视频监控、通信、调度等业务进行统一调度与处理。这种模式能有效利用集中计算资源，提高数据处理效率和安全性。在区域铁路与支线铁路中，由于网络规模较小，可采用分布式部署模式，将视频监控数据在本地进行初步处理后，再汇聚至中心系统进行进一步分析与存储。此方式能够提高系统响应速度并减少数据传输压力。部署模式还需考虑沿线的供电条件、设备安装位置及环境适应性，确保系统在复杂环境中具备稳定性与持续运行能力。通过分级建设路径，融合体系能够根据不同铁路网络的规模逐步推进，最终实现资源的优化配置与高效利用，推动铁路信息化建设的稳步发展。

5.2 融合系统运行监测与维护机制

融合系统的运行涉及规模庞大、节点众多且链路复杂，因此，必须建立完善的监测与维护机制，以确保系统在干扰、故障或外部威胁下具备快速恢复能力。监测平台需要实时采集系统链路状态、业务负载、视频质量等关键参数，通过数据趋势分析提前判断潜在风险，并及时采取应对措施。此外，维护机制应与设备的运行状态密切结合，制定科学的检修计划，在系统性能下降之前实施维护，避免影响系统的整体稳定性。对于关键节点的监控和维护，尤其需要通过智能化手段实现自动识别与预警功能，以提高故障检测和响应速度。监测体系的精细化程度直接关系到融合系统的稳定性与可持续运行，智能化监测和数据分析能力将大大提升系统的恢复能力，使其在高负荷条件下依然能够稳定运行，确保铁路通信安全的高效保障。

5.3 融合体系的持续演进与技术更新策略

技术融合不是一次性完成的任务，而是一个随着铁路发展不断演进的过程。为了应对日益增长的业务需求和技术挑战，融合体系需不断引入新技术，如更高效的视频编码方式、智能分析算法以及自动优化路径的网络调度系统等。这些新技术的应用能够持续提升融合系统的性能，进一步满足铁路运输中对信息化、智能化的高标准要求。随着铁路业务需求的不断变化，融合系统应根据不同场景特点不断更新数据结构与传输模式，从而更好地支持智能化调度与精准的运行需求。技术更新策略的制定需要平衡系统的稳定性与未来发展潜力，通过模块化升级的方式，使新技术能够在不影响现有业务的情况下逐步推广。这种灵活且可扩展的技术更新方式，将为铁路信息化建设提供源源不断的动力，推动铁路系统向更高效、更智能的方向不断发展。

6 结语

铁路综合视频监控系统与通信网络的融合，是铁路行业在数字化、智能化背景下的重要发展方向。通过统一网络架构、智能编码技术、安全防护机制与工程化实施策略，可以有效提升视频系统的运行质量与通信系统的承载能力，使铁路运行的监测能力、调度效率与安全水平全面提升。融合体系构建不仅是技术创新，更是铁路系统结构优化与管理能力提升的重要实践。随着技术不断进步与业务需求持续增长，视频监控与通信融合将成为铁路行业长期发展的基础性工程，为未来智能铁路的建设提供更强支撑。

参考文献

[1] 赵耀,李珉璇,柴天娇.铁路综合视频监控系统与BIM融合应用研究[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(06):26-30.

[2] 夏项杰.面向铁路综合视频的多智能体联邦学习方法[D].中南大学,2023.

[3] 张佳欣.铁路通信综合视频监控系统的应用及发展[J].黑龙江科学,2021,12(20):122-123.

[4] 胡岩松.通信综合监控系统的视频监控融合[J].电子技术与软件工程,2018,(17):40.

[5] 谢虎,杜勇慧,李根胜.无线通信技术在铁路综合视频监控系统的应用[J].中国铁路,2012,(06):91-94.