

信息化铁路建设中通信网络的完善探讨

王宝东

通号工程局集团有限公司天津分公司 天津 300000

摘要: 本文聚焦信息化铁路建设中通信网络的完善。先分析国内外铁路通信网络发展现状,指出国内在技术自主化等方面待提升,剖析现有网络架构及现存问题。接着阐述完善的关键技术,如5G-R融合、SDN/NFV等。最后提出完善策略,包括顶层设计、基础设施优化、构建智能化运维管理体系等。旨在为提升信息化铁路通信网络性能,推动铁路智能化发展提供参考。

关键词: 信息化铁路; 通信网络; 5G专网; 网络切片; 智能运维

引言: 我国铁路事业向智能化、数字化转型,信息化铁路成核心方向。通信网络作为其神经中枢,承担列车调度等关键任务,关乎铁路运行安全与高效。当前,我国铁路通信网络发展迅速,光纤覆盖、4G-R广泛应用,5G-R试点落地,但存在带宽不足、协同性差、运维滞后等问题。本文聚焦完善该网络,梳理现状、剖析挑战、探讨对策,助力铁路信息化高质量发展。

1 信息化铁路通信网络现状分析

1.1 国内外铁路通信网络发展现状

国外发达国家铁路通信网络已进入智能化成熟阶段,欧洲伽利略系统与铁路通信网络深度融合,实现列车运行状态实时精准监控,德国ICE高铁采用专用通信网络支撑自动驾驶,通信时延控制在毫秒级。日本新干线构建了覆盖全域的光纤通信网络,结合物联网技术实现设备状态全生命周期管理。国内铁路通信网络近年来发展迅猛,高铁线路已实现光纤通信全覆盖,4G-R技术广泛应用于列车调度、应急通信等场景,京张高铁等智能高铁线路试点应用5G-R技术,实现超高清视频回传、远程设备操控等功能^[1]。但与国外相比,国内在技术自主化、网络协同效率等方面仍有提升空间,部分普速铁路通信设备更新滞后,区域发展不均衡问题较为明显。

1.2 现有通信网络的技术架构

现有信息化铁路通信网络采用“骨干层-汇聚层-接入层”三级架构,骨干层以光纤传输网络为核心,采用波分复用技术构建高速传输通道,保障海量数据高效传输;汇聚层通过核心路由器、交换机实现数据汇聚与分发,连接骨干层与接入层,具备流量调度和负载均衡功能;接入层涵盖基站、光接入设备等,为列车、车站、沿线设备提供通信接入服务。在业务支撑层面,采用分层架构设计,包括传输网、业务网、支撑网三大板块,传输网承担基础传输任务,业务网涵盖调度通信、数据通

信等具体应用,支撑网提供时钟同步、网络管理等保障。

1.3 现存问题与挑战

现有信息化铁路通信网络面临多方面问题与挑战,在带宽支撑方面,随着高清视频监控、自动驾驶等业务普及,现有网络带宽趋于饱和,高峰时段数据传输延迟增加,影响业务正常开展。在网络协同方面,不同线路、不同时期建设的通信系统存在技术差异,采用不同厂商设备和协议标准,导致系统间兼容性差,难以实现全域统一调度管理。在运维管理方面,依赖人工巡检和故障排查,设备故障发现不及时,故障定位耗时久,增加运维成本和安全风险。在安全防护方面,网络攻击手段不断升级,现有防火墙、入侵检测等传统防护技术难以抵御新型网络攻击,数据泄露、设备被入侵等安全隐患突出。在技术适配方面,新兴技术与现有网络融合不足,缺乏成熟的融合应用方案,技术优势难以充分发挥。

2 信息化铁路通信网络完善的关键技术

2.1 5G-R与下一代通信技术融合

5G-R作为铁路专用通信技术,具备高带宽、低时延、广连接特性,与下一代通信技术融合可大幅提升网络性能。在时延优化方面,将5G-R的边缘节点部署与量子通信的加密传输结合,实现数据传输时延控制在1毫秒以内,满足列车自动驾驶对实时性的严苛要求。在带宽拓展方面,采用5G-R载波聚合技术,结合太赫兹通信的高频段优势,使单链路带宽提升至10Gbps以上,支撑超高清视频回传、三维实景建模等大带宽业务。在连接能力方面,通过5G-R与窄带物联网融合,实现每平方公里百万级设备接入,覆盖列车车载设备、沿线传感器、道岔设备等全场景。融合过程中,通过统一协议接口设计,解决技术标准差异问题,构建“5G-R为核心、多技术补充”的立体通信网络,为铁路通信提供全方位技术支持。

2.2 软件定义网络(SDN)与网络功能虚拟化(NFV)

软件定义网络(SDN)通过分离网络控制层与数据转发层,实现网络资源集中管控,管理员可通过软件编程动态调整网络拓扑和资源分配,快速响应铁路通信业务需求变化,例如根据列车运行密度动态分配带宽资源,提升资源利用率。网络功能虚拟化(NFV)将传统专用硬件设备的功能通过软件实现,部署在通用服务器上,替代传统调度交换机、路由器等专用设备,降低设备采购和维护成本,同时通过虚拟化技术实现功能快速部署和升级,缩短新业务上线周期^[2]。两者融合应用时,SDN提供全局资源调度能力,NFV提供灵活的功能部署能力,共同构建虚拟化、可编程的网络架构。通过构建统一的网络管理平台,实现对SDN控制器和NFV虚拟化资源的集中管理,实时监控网络运行状态,动态调整网络配置,提升网络灵活性和可扩展性。

2.3 边缘计算与人工智能赋能

边缘计算将计算资源部署在铁路沿线基站、车站等边缘节点,使数据处理在靠近数据源的位置完成,减少数据传输至核心网的距离,降低传输延迟,例如列车车载传感器采集的运行数据可在边缘节点实时分析,及时发现设备异常。人工智能技术与边缘计算融合,在边缘节点部署智能算法模型,实现数据实时分析和智能决策。在设备运维方面,通过人工智能算法对设备运行数据进行分析,建立设备故障预测模型,提前识别潜在故障并发出预警,减少设备停机时间。在流量调度方面,利用人工智能算法分析网络流量变化规律,动态调整流量转发路径,避免网络拥堵。在安全防护方面,通过智能识别算法实时监测网络流量,快速识别异常访问行为,及时阻断网络攻击,形成“边缘计算实时处理+人工智能智能决策”的协同机制,提升网络智能化水平。

2.4 网络安全技术升级

信息化铁路通信网络安全技术升级需构建全方位防护体系,在数据安全方面,采用端到端加密技术,对传输数据进行全程加密处理,结合区块链技术构建数据溯源体系,确保数据完整性和不可篡改,防止调度指令、设备数据等敏感信息泄露。在设备安全方面,部署可信计算模块,对网络设备、服务器等硬件进行身份认证和状态验证,阻止非法设备接入网络,同时定期对设备固件进行安全更新,修复安全漏洞。在边界防护方面,采用下一代防火墙、入侵防御系统等技术,构建多层次边界防护体系,对进出网络的流量进行深度检测,拦截恶意攻击流量。在安全管理方面,建立智能安全监控平台,通过人工智能算法实时分析网络安全日志,快速发

现安全事件并自动响应。

2.5 多制式融合与异构网络协同

多制式融合与异构网络协同通过整合现有光纤通信、4G-R、5G-R、卫星通信等多种通信制式,构建全域覆盖、无缝切换的立体通信网络。在技术融合方面,采用统一的网络网关和协议转换技术,解决不同制式网络间的兼容性问题,实现数据在不同网络间的顺畅传输。在资源协同方面,构建统一的资源管理平台,对各制式网络的带宽、算力等资源进行集中调度,根据业务优先级和网络状态动态分配资源。在覆盖协同方面,针对铁路沿线复杂地形,采用“光纤覆盖为主、5G-R补盲、卫星通信应急”的策略,在隧道、山区等信号薄弱区域加强5G-R基站部署,在偏远地区利用卫星通信实现全覆盖,确保铁路全域无通信盲区,提升网络整体覆盖质量。

3 信息化铁路通信网络完善策略

3.1 顶层设计与标准制定

顶层设计与标准制定需立足铁路通信长远发展,构建“统一规划、分步实施、技术领先、适配需求”的总体框架。在顶层设计方面,由行业主管部门牵头,联合铁路运营企业、设备厂商、科研机构组建专项工作组,开展全域通信网络规划,明确网络架构、技术路线、建设时序等核心内容,统筹骨干网、汇聚网、接入网建设,避免重复投资和技术壁垒^[3]。在标准制定方面,建立涵盖技术标准、接口标准、安全标准、运维标准的完整标准体系,技术标准明确5G-R、SDN/NFV等关键技术的应用规范,接口标准统一不同设备、不同系统间的通信协议,安全标准界定数据加密、设备认证等安全要求,运维标准规范巡检流程、故障处置等运维环节。加强与国际标准组织对接,借鉴国外先进标准经验,结合国内铁路实际情况优化标准内容,推动标准落地实施,定期开展标准符合性检测,确保网络建设和运营符合标准要求。

3.2 基础设施优化与覆盖增强

基础设施优化与覆盖增强需聚焦网络性能提升,开展全方位升级改造。在骨干网优化方面,升级现有光纤传输网络,采用100Gbps及以上波分复用技术,扩大骨干网传输容量,构建多路径冗余链路,提升网络可靠性,确保核心业务数据稳定传输。在汇聚层优化方面,更换高性能核心路由器和交换机,提升数据汇聚和分发能力,部署流量调度系统,实现负载均衡,避免单点拥堵。在接入层优化方面,加大5G-R基站部署密度,在高铁沿线、枢纽站场实现5G-R连续覆盖,对普速铁路通信设备进行更新改造,提升接入速率。针对特殊场景,

在隧道内采用漏缆通信技术,在山区部署高山基站,在偏远地区利用卫星通信终端补充覆盖。同时,推进通信基础设施与铁路土建工程同步规划、同步建设、同步验收,减少后期改造成本,建立基础设施定期巡检和维护机制,及时更换老化设备,确保设施完好运行。

3.3 智能化运维管理体系构建

智能化运维管理体系构建需以数字化、智能化为核心,提升运维效率和管理水平。在平台建设方面,构建统一的运维管理平台,整合网络监控、设备管理、故障处置、数据统计等功能模块,实现运维全流程数字化管理。通过部署物联网传感器,实时采集设备运行参数、网络流量、环境数据等信息,接入平台进行集中分析。在智能诊断方面,引入人工智能算法,建立设备故障诊断模型,通过分析设备运行数据,自动识别故障类型、定位故障位置,并生成故障处置方案,推送至运维人员终端,实现故障“早发现、早处置”。在运维调度方面,采用大数据分析技术,预测网络流量变化和和设备损耗趋势,提前制定运维计划,合理调配运维人员、工具和备件,实现精准运维。建立运维人员培训体系,提升运维人员智能化工具操作能力,构建“平台智能分析+人员精准处置”的运维模式,降低运维成本。

3.4 安全防护体系强化

安全防护体系强化需构建“事前预防、事中监控、事后处置”的全流程防护机制。在事前预防方面,开展网络安全风险评估,全面排查网络架构、设备配置、业务流程等方面的安全隐患,制定风险防控方案,对发现的隐患及时整改。定期对网络设备和软件进行安全漏洞扫描,及时安装安全补丁,关闭不必要的服务和端口,减少安全攻击面。在事中监控方面,升级安全监控平台,整合入侵检测、日志分析、流量监测等功能,通过人工智能算法实时监测网络运行状态,快速识别异常流量、非法访问等安全事件,自动发出告警并采取阻断、隔离等应急措施。在事后处置方面,完善安全应急预案,明确应急响应流程、责任分工和处置措施,定期组织安全应急演练,提升应急处置能力。建立安全事件溯源机制,对发生的安全事件进行全面复盘,分析事件原

因,优化防护策略。

3.5 政策与产业协同支持

政策与产业协同支持需构建“政府引导、企业主导、科研支撑、市场驱动”的协同发展体系。在政策支持方面,行业主管部门出台专项扶持政策,加大对铁路通信网络建设的资金投入,设立技术研发专项基金,支持5G-R、网络安全等关键技术研发。制定税收优惠政策,对参与铁路通信设备研发、网络建设的企业给予税收减免,鼓励企业加大研发投入^[4]。在产业协同方面,建立产学研用合作机制,推动铁路运营企业、设备制造商、高校、科研机构深度合作,组建产业联盟,共享技术资源和研发成果,联合开展关键技术攻关,加快技术成果转化应用。搭建产业交流平台,定期举办技术研讨会、产品博览会等活动,促进企业间技术交流与合作。在市场机制方面,引入市场化竞争机制,鼓励多元市场主体参与铁路通信网络建设和运维,通过市场化运作提升服务质量和效率,同时加强市场监管,规范市场秩序,保障网络建设和运营质量,推动铁路通信产业健康发展。

结束语

信息化铁路建设是铁路行业发展的必然趋势,通信网络作为其核心支撑,完善工作至关重要。通过融合先进技术、优化基础设施、构建智能化运维及安全防护体系,并借助政策与产业协同支持,可有效提升通信网络性能。未来,需持续探索创新,紧跟技术发展潮流,不断优化通信网络,为铁路信息化、智能化发展筑牢根基,助力铁路事业迈向更高水平。

参考文献

- [1]安海星.信息化铁路建设中通信网络的完善探讨[J].数字通信世界,2025(9):42-44.
- [2]董波,吕宁.铁路通信网络在信息化铁路建设中的重要性研究[J].长江信息通信,2022,35(4):165-167,170.
- [3]曹新玥.铁路通信网络在信息化铁路建设中的重要性研究[J].科技与创新,2021(19):97-98.
- [4]李梓晨.铁路通信网络在信息化铁路建设中的重要性研究[J].工程建设与发展,2023,2(7):25-27.