

信息化在铁路通信中的分析研究

李泽沛

国能朔黄铁路发展有限公司原平分公司 034100

【摘要】随着重载铁路运输需求的快速增长,信息化技术在铁路通信系统中的应用成为提升运输效率和安全性的关键。信息化技术的深度融合能够显著优化铁路通信的实时性、稳定性和自动化水平,为重载铁路的高效运营提供技术支撑。本文从重载铁路通信系统的核心需求出发,梳理信息化技术的应用场景,并探讨信息化实施策略,旨在为行业技术升级提供理论参考与实践指导,为推动重载铁路智能化、数字化转型做出贡献。

【关键词】信息化;铁路通信;重载铁路

Analysis and research on informationization in railway communication

Li Zepei

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., LTD. Yuanping Branch 034100

【Abstract】 With the rapid growth in demand for heavy-haul railway transportation, the application of information technology in railway communication systems has become crucial for improving transport efficiency and safety. The deep integration of information technology can significantly enhance the real-time performance, stability, and automation level of railway communications, providing technical support for the efficient operation of heavy-haul railways. This paper starts from the core requirements of heavy-haul railway communication systems, outlines the application scenarios of information technology, and explores implementation strategies. It aims to provide theoretical references and practical guidance for industry technological upgrades, contributing to the intelligent and digital transformation of heavy-haul railways.

【Key words】 Information Technology; Railway Communication; Heavy-Haul Railways

引言:

重载铁路作为现代货运体系的重要组成部分,其运输能力和通信系统的可靠性直接影响国家经济建设和物流效率。传统的铁路通信技术已难以满足重载铁路对高带宽、低延时、广覆盖的需求,尤其在复杂环境下的信号稳定性与数据交互效率方面存在明显短板。信息化技术的快速发展为铁路通信系统的升级提供了新的解决方案。通过引入5G专网、边缘计算、人工智能等先进技术,可实现列车状态实时监控、智能调度决策和故障预警等功能,从而提升运输安全与运营效率。

一、重载铁路通信信息化的核心需求

重载铁路通信系统的建设需要满足以下几方面的应用需求:具有高度的安全性和稳定性:由于重载铁路的行车速度较快,因此对网络的可靠性和实时性的要求非常高;同时为了保证车地之间的通信不受外界电磁波的影响,在通信过程中必须有较强的抗干扰性能,并且要尽量减少信号传输过

程中的延时。能够提供大带宽的数据业务:由于目前我国重载铁路所使用的传感器数量较多(包括线路状态检测装置、轮轨关系测量仪以及各类环境检测设备),并且每种类型的传感器都会产生大量的数据,这就使得对车载终端的要求非常苛刻;能够提供精确定位功能并可以将位置信息融入列控系统来完成自动化的精确控制;具有良好的安全性及保密性:为了防止黑客或者病毒入侵导致整个系统的瘫痪,必须采取一些必要的措施来进行保护,比如设置防火墙,使用加密技术等;多系统协同互联实现调度、运维、监控等子系统无缝对接,提升整体运营效率;利用人工智能技术实现列车运行状态检测及预警;运用大数据进行调度计划优化,提升重载铁路运输组织水平;运用云计算平台对各子系统的数据进行存储管理等;应急通信能力在故障或灾害时维持关键通信;节能环保设计降低能耗,符合可持续发展要求。这些需求共同支撑重载铁路高效、安全、智能化的运输体系^[1]。

二、信息化关键技术及其应用

(一) 基础通信网络技术

通信网络技术是重载铁路信息化的关键基础和重要组成部分,通信网络的发展水平决定着整个铁路通信系统的可靠性、实时性和可扩展性。重载铁路对通信网络提出了大带宽、低时延、高可靠及全覆盖的要求,在此背景下,目前主要采用 5G-专网移动通信系统+光纤骨干网+WiredMesh (有线 Mesh) 混合组网结构。其中:①基于 NR/NR-D2D/NR-V2X 的 5G-专网移动通信系统能够支持多种不同类型的业务承载,并利用切片功能将不同的应用场景进行物理隔离并优先保证,从而实现各类业务间的相互隔离;同时由于具有极高的吞吐量以及极短的端到端时延特性,因此能极大提升重载列车群组运行过程中的调度指挥效率及编组间的信息交互速度。另外,5G-NR 还可以提供极高密度的接入终端数量,单小区最大用户数达到百万级别,这对解决我国现阶段高铁线路越长导致编组越多的问题提供了极大的帮助。因此,该技术对于我国建设大规模重载铁路运输体系有着重要的意义^[2]。②光纤骨干网可以向沿线各站点提供快速稳定的高速数据链路,特别是针对一些地形条件较为复杂的地区或长大区间隧道环境,可以通过铺设备用纤芯来保证主干链路的不断通信。同时,该方案也可以结合北斗定位导航技术来辅助完成车载设备位置信息的获取。③无线 Mesh 网络则通过自组织多跳中继技术弥补传统无线覆盖盲区,适用于站场装卸区、编组站等设备密集区域的灵活组网。

(二) 基于 IPv6 的语音、数据、视频统一承载

以 IPv6 为基础的 VoIP、Data、Video 三合一统一承载的信息化应用,充分利用了 IPv6 巨大的地址空间优势以及其高安全性与 QoS 保证能力,实现了多种业务的综合承载。其中,语音通信方面主要采用 VoIP 技术,在 IPv6 中通过设置报文的优先级字段和流量整形算法来确保调度电话具有更低的时延和更高的音质;数据业务包括对轨道检测设备采集的信息、列车运行信息及外部环境传感器收集的数据进行汇总后统一传送至控制中心,由于数据量较大且要求较低的时延,因此可使用 IPv6 高效的路由机制与组播技术完成;对于视频监控业务,则是将现场获取的高清或 4K 视频图像经由网络实时回传至远程平台,并借助 AI 算法对该类信号中的关键特征如道岔位置状态、线路内有无异物入侵等情况做出判断并发出告警提示。此外,IPv6 还具备端到端加密功能,可通过 IPsec 协议进一步提高系统的安全性,避免被恶意修改;SDN 则能够有效解决传统网络无法动态调整的问题,根据不同的应用场景划分出专用通道从而更好地满足各业务之间的差异化的服务质量。

(三) 大数据与云计算

利用大数据和云计算技术对重载铁路通信进行融合应

用,是建设智能运维、科学决策的基础保障^[3]。借助于云计算平台强大的弹性和分布式的存取能力,将重载铁路每天产生大量的多元化数据(如:机车车载轴温及轴承震动在线监控装置采集的数据;道岔转辙器尖轨动程曲线;钢轨探伤仪检查数据;无砟轨道结构沉降位移数据;无线闭塞中心、列控地面设备、联锁控制台操作记录;沿线综合视频图像信息;气象灾害预警数据;各类环境传感器数据;货票电子化系统中货车追踪信息;站场集中联锁控制系统数据等),汇集到云计算平台上,经过 Hadoop、Spark 等大数据框架完成 TB 数据量级的清洗加工,并且采用机器学习算法建立的预测性维护模型可以深入挖掘出机车轴承振动、牵引电机温度等时间序列数据之间的隐含关系并提前 14 天以上的预判设备劣化的走向,极大提升了检修人员的工作效率。同时利用云计算的资源共享池化优势能够根据货运高峰时段的需求及时扩展运算资源来满足大量列车实时定位数据流的处理要求。边缘计算节点的应用使得接触网绝缘子污秽度检测、区间异物侵限告警、隧道壁结冰报警等场景下能够做到毫秒级别的分析判断。货运调度优化系统通过对过往的大数据进行特征提取后发现不同的矿点港口组合具有各自独特的运输规律,再结合当前正在执行的任务车辆的位置信息和货物属性信息,不断修正形成最优的编组计划从而达到增加年运能的目标,为未来数字孪生铁路的实现奠定了数据基座。

(四) 人工智能与自动化

随着人工智能和自动化工控技术的发展,新一代的人工智能技术和自动化技术开始逐步应用于重载铁路通信信号系统中,并实现了由点到线再到面的全线贯通。“AI+”理念渗透于整个重载铁路通信信号系统建设过程中,其基础在于“感知”,即利用各种传感设备采集现场环境信息;然后是“决策”,即对采集的信息进行分析并做出相应的判断以指导下一步动作;最后是“执行”,即将决定的结果反馈给被控制对象使其产生相应的变化(如改变速度)。具体而言就是:首先借助深度学习算法获取大量历史图片作为样本集,经过特征提取后得到高维向量表示来描述各类缺陷的具体形态及位置特点,从而建立分类器,最终形成一个能够完成接触网绝缘子缺陷检测任务的卷积神经网络模型(CNN);其次采用 LSTM 模型进行机车轴承状态在线监测,通过对轴温传感器测量值以及加速度计输出频率特性曲线进行分析,可以快速发现异常情况并通过报警提醒驾驶员及时停车检查,避免发生严重后果造成重大损失;再次通过车载激光雷达和摄像头等多种传感器获得周围环境三维地图信息,再根据里程标确定当前所处的位置,结合 GPS 定位信息便可计算得出当前位置距离前方车站的距离以及行驶方向上的坡度变化趋势等情况,同时还能估算出预计到达时间(ATC);

最后通过多源异构时空大数据挖掘方法建立数学模型来研究列车编组方案选择问题,并将结果反推回实际场景当中去验证可行性,进一步完善原有设计方案中的不足之处并在后续工作中不断改进优化。

三、信息化实施策略

(一) 标准化建设

通信信息化标准化建设的基础是构建技术统一的标准和技术规范,主要包括以下内容:一是通信网络架构标准,主要对骨干网、接入网以及无线覆盖(包含5G/LTE-R/Wi-Fi6)制式进行统一;二是数据传输协议标准,统一使用IPv6为基础承载协议,统一MQTT/HTTP/3等物联网数据传输协议,统一PTP时间同步协议等;三是业务层接口定义,统一调度指挥(CTC)/列车控制(TCS)等系统与通信平台之间的交互接口;四是数据格式标准,RailML铁路行业数据字典等;五是网络安全标准,主要是等级保护2.0以及铁路专用加密算法的要求,包括身份认证、数据脱敏、入侵检测等模块;六是运维管理标准化,NETCONF网络管理协议、故障码库、基于AI的运维模型接口等。七是要对接UIC、IEEE1473-L国际标准,要支持GSM-R到FRMCS的演进路线图,八是要推进国产化自主标准的发展应用,比如北斗定位、自主可控通信芯片等^[4]。

(二) 分层架构设计

采用模块化和解耦化的思路进行设计,感知层利用智能传感器、车地通信终端以及轨旁检测装置来对轨道状况、车辆工况、周边环境等多种因素的数据进行采集(包括但不限于列车位置信息、线路坡度曲线、信号灯变化情况、桥梁隧道限速、轮缘厚度磨损程度等等),并通过IEEE802.15.4g统一接入标准将这些数据汇集到一起,在此基础上可以搭建起有线(工业以太网)和无线(LTE-R/Lora/Wi-Fi6)相结合的综合组网方案;网络层则采用了“骨干+接入”的双平面拓扑架构设计方案,其骨干网部分主要借助IPv6+SRv6的特性构建了高可靠的环状网络,而接入网则是依靠TSN

时间敏感型网络技术来确保低时延传输的需求,同时在此基础上也引入了LTE-R和Wi-Fi6多模式无缝衔接的技术手段并配置SDN控制器以便于后续根据实际需要来进行业务链路的动态编排^[5]。分层架构通过标准化接口(如OPCUA、DDS)实现跨层交互,安全体系贯穿各层,采用零信任架构与量子加密增强防护,运维层面依托数字孪生实现全生命周期管理。

(三) 网络安全防护体系

在物理层采用国产化自主可控设备,关键节点部署冗余架构与电磁屏蔽技术,防范硬件后门与物理破坏;网络层划分安全域并实施逻辑隔离,通过防火墙、入侵检测与流量清洗设备构建“接入-传输-核心”三级防护,结合IPv6的IPsec加密与路由实现数据防窃听与路径可信;数据层实施分类分级保护,采用国密算法加密敏感数据,区块链技术保障日志不可篡改,建立数据溯源追踪与脱敏机制;终端层推行零信任架构,基于身份认证与动态访问控制,对车载、轨旁及移动终端实施最小权限管理;监测预警层部署SOC安全运营中心,整合AI威胁检测与态势感知平台,实现APT攻击溯源与自动化响应;管理体系遵循等保2.0与《铁路关键信息基础设施安全保护要求》,制定应急预案并定期攻防演练,形成“监测-防护-响应-恢复”闭环。

四、结束语

信息化技术在重载铁路通信系统的运用研究随着信息技术的发展和进步,在当今社会中,计算机技术和网络通信技术得到了广泛的应用,并且已经渗透到我们生活的各个领域之中。信息化技术的深度融合能够显著优化通信实时性、增强故障诊断能力、提高调度自动化水平,从而满足重载铁路日益增长的运输需求。未来,随着通信技术的持续创新和智能化水平的不断提升,重载铁路通信系统将进一步向高可靠性、低时延、广覆盖的方向发展。同时,网络安全、数据标准化、多系统协同等问题仍需深入研究,以确保信息化技术在铁路领域的可持续应用。

参考文献

- [1]谷洪君. 光纤技术在铁路通信系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(03): 116-117.
- [2]王亚男. 浅谈光纤通信技术的特点及在铁路通信系统中的应用[J]. 哈尔滨铁道科技, 2022(1): 29-32.
- [3]李飞. 铁路通信网光纤传输安全与保护[J]. 数字通信世界, 2022(8): 114-116.
- [2]张文超, 祝绘青, 李丽萍. 光纤通信技术在铁路通信系统中的应用探究[J]. 中国设备工程, 2022(15): 220-222.
- [3]王亚男. 浅谈光纤通信技术的特点及在铁路通信系统中的应用[J]. 哈尔滨铁道科技, 2022(1): 29-32.

作者简介: 李泽沛(1995.7-)男, 河北栾城人, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 铁路通信专业。