

基于大数据的铁路通信接入网设备故障预测与处理

齐 锋

内蒙古东乌铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要: 本文聚焦基于大数据的铁路通信接入网设备故障预测与处理。阐述了铁路通信接入网设备的重要性、故障类型及影响,介绍大数据技术在故障预测与处理中的应用基础,包括数据来源、预处理等。随后构建故障预测模型并验证,设计故障处理流程、应急方案及效果评估改进策略。旨在利用大数据提升设备运维效率,降低故障对铁路通信与运输的影响,保障铁路系统稳定运行。

关键词: 大数据;铁路通信接入网;设备故障;故障处理

引言:铁路通信接入网设备作为铁路通信系统的关键部分,对保障铁路运输高效安全意义重大。然而,其易受多种因素影响出现故障,给铁路通信与运输带来严重负面影响。传统故障处理模式多事后修复,效率较低。大数据技术能从海量数据中提取有价值信息,实现从“事后修复”向“事前预测”转变。本文将探讨大数据在铁路通信接入网设备故障预测与处理中的应用,为铁路通信运维提供新思路。

1 铁路通信接入网设备故障分析及大数据应用

1.1 铁路通信接入网设备概述

铁路通信接入网设备是铁路通信系统的核心,连接核心通信网与终端设备,保障语音调度、数据传输、视频监控等业务运行。它涵盖光接入单元、数字配线架等多种类型,广泛分布于铁路沿线车站、区间及动车组内。设备具备高可靠性、强抗干扰性等特点,能在复杂场景下稳定工作。通过光纤、电缆等介质构建通信链路,实现行车调度指令等关键内容实时交互。作为铁路通信系统的“神经末梢”,其运行状态关乎铁路运输的高效性与安全性,是铁路数字化、智能化发展的重要支撑。

1.2 铁路通信接入网设备故障类型与原因

铁路通信接入网设备故障分硬件、软件及线路三类,成因复杂。硬件故障占比最高,多因元器件老化、损坏或安装不当,长期振动等会加速损耗。软件故障由系统漏洞、配置错误等引发,老旧设备维护不及时加剧风险。线路故障涉及光纤、电缆中断或损耗,自然因素、施工破坏及老化是主因^[1]。另外,设备兼容性不足、运维操作不规范等人为因素,也会诱发故障,影响设备正常运行,给铁路通信带来隐患。

1.3 故障对铁路通信与运输的影响

铁路通信接入网设备故障负面影响大,严重时会引起安全事故。通信上,语音调度、数据传输、视频监控

受阻,行车调度中心与列车、车站失联,无法传达指令与预警。运输上,干扰列车运行组织,造成晚点、停运,降低运输效率。客运业务中,票务、广播等系统瘫痪,影响旅客出行。货运领域,货物跟踪数据无法更新,影响调度与交付。若行车安全监控数据中断,可能引发重大事故。故障排查修复成本高,还会破坏运输秩序稳定性。

2 大数据在铁路通信接入网设备故障预测与处理中的应用基础

2.1 大数据技术概述

大数据技术是指对海量、高速、异构的数据集进行采集、存储、分析、挖掘与可视化的一系列技术体系,核心优势在于从海量数据中提取有价值信息,为决策提供支撑。其关键技术涵盖分布式存储(如Hadoop、HBase)、实时计算(如Spark、Flink)、机器学习算法及数据挖掘工具等,能突破传统数据处理技术在速度、容量与复杂度上的局限。大数据技术具备4V特性,即数据量巨大(Volume)、数据类型多样(Variety)、处理速度快(Velocity)及价值密度低(Value)。在铁路通信领域,大数据技术可实现对接入网设备全生命周期数据的深度分析,打破数据孤岛,挖掘设备运行规律与故障关联因素。与传统故障处理模式相比,大数据技术能实现从“事后修复”向“事前预测”转变,通过精准分析提升设备运维效率,为铁路通信系统稳定运行提供技术保障。

2.2 数据来源与采集

铁路通信接入网设备故障分析的大数据来源广泛,主要涵盖设备、网络、环境及运维四大维度,采集过程需保障数据的实时性与完整性。设备侧数据来自接入网设备自身运行参数,包括光功率、电压、温度、端口状态及故障日志等,通过设备内置传感器与监控模块实时

采集。网络侧数据包含链路传输速率、带宽占用率、数据包丢失率、延迟等网络性能指标，由网络管理系统周期性采集与统计。环境侧数据涉及铁路沿线温湿度、振动、电磁干扰强度、降水等外部环境参数，通过沿线部署的环境监测设备获取^[2]。运维侧数据包括设备检修记录、故障处理台账、备件更换信息、人员操作日志等，由运维管理平台统一录入与存储。采集技术采用边缘计算与云计算协同模式，边缘节点实时采集关键数据并初步过滤，核心数据上传至云端数据库，确保数据采集覆盖全场景，为后续处理提供充足数据源。

2.3 数据预处理

数据预处理是大数据应用的关键环节，目的是剔除无效数据、优化数据质量，为故障特征提取与模型构建奠定基础，通常包括数据清洗、集成、转换与规约四大步骤。数据清洗主要处理缺失值、异常值与重复数据，针对设备运行数据中的缺失项，采用均值填充、线性插值等方法补充；通过 3σ 准则、箱线图法识别并剔除因传感器故障、传输干扰产生的异常值；删除重复录入的运维数据，避免冗余。数据集成将来自设备、网络、环境等多源异构数据整合至统一数据集，解决数据格式不一致、语义冲突问题，通过数据关联映射建立不同维度数据的对应关系。数据转换对整合后的数据进行标准化、归一化处理，将非结构化日志数据转化为结构化数据，统一数据量纲，提升算法处理效率。数据规约通过降维算法（如主成分分析）减少数据维度，去除无关特征，在保留核心信息的前提下压缩数据量，降低后续模型训练的计算成本。

2.4 故障特征提取

故障特征提取是连接数据预处理与故障预测模型的核心环节，旨在从处理后的数据中挖掘与设备故障相关的关键特征，提升预测模型的准确性。提取方法需结合铁路接入网设备故障特点，采用统计分析与机器学习相结合的方式。针对时序类数据（如光功率、电压变化），通过提取均值、方差、峰值、趋势斜率等统计特征，捕捉数据异常波动规律；对于故障日志数据，采用文本挖掘技术，提取关键词、故障类型编码等特征，建立故障与日志内容的关联关系。通过关联规则挖掘，识别不同特征间的相关性（如高温与光模块故障的关联），构建多维度特征集。为避免特征冗余，采用特征选择算法（如随机森林特征重要性排序）筛选核心特征，剔除无关特征与冗余信息，最终形成能精准表征设备故障状态的特征向量，为后续模型训练提供高质量输入。

3 基于大数据的铁路通信接入网设备故障预测模型构建

3.1 故障预测方法选择

基于大数据的铁路通信接入网设备故障预测方法需结合数据特性与故障规律，选择适配性强、预测精度高的算法，同时兼顾实时性需求。传统故障预测方法（如阈值判断法）局限性较强，无法应对复杂故障模式，因此优先选用机器学习与深度学习算法。对于设备运行时序数据，LSTM（长短期记忆网络）算法能有效捕捉数据长期依赖关系，适合预测渐变式故障（如元器件老化引发的故障）；随机森林算法具备抗干扰能力强、处理非线性数据效果好的优势，可用于多特征融合下的故障预测，能有效识别突发故障与复合故障。另外，针对部分故障样本稀缺的场景，采用迁移学习算法，将同类设备故障数据的训练经验迁移至目标设备，提升模型泛化能力。综合考虑预测精度、训练效率与实时性，最终采用“LSTM+随机森林”混合预测模型，通过算法融合弥补单一算法不足，实现对不同类型故障的精准预测，为设备运维提供提前预警。

3.2 预测模型设计与实现

基于大数据的铁路通信接入网设备故障预测模型采用分层架构设计，分为输入层、特征层、模型层与输出层，实现从数据输入到故障预警的全流程自动化。输入层接收预处理后的结构化数据与时序数据，通过数据接口同步至模型训练平台。特征层加载已提取的核心故障特征向量，采用特征融合技术将时序特征与统计特征整合，为模型层提供输入^[3]。模型层核心为“LSTM+随机森林”混合模型，LSTM模块负责处理时序数据，输出故障发生概率的初步预测结果；随机森林模块对多维度特征进行分类预测，修正LSTM模块的预测偏差，最终通过加权融合输出最终预测结果，包括故障发生概率、故障类型及预计发生时间。模型实现基于Python编程语言，依托TensorFlow、Scikit-learn框架搭建，采用分布式训练方式提升训练效率。同时，嵌入实时更新机制，定期导入新的运行数据与故障案例，优化模型参数，确保模型适配设备运行状态的变化。

3.3 模型验证与结果分析

模型验证采用数据集划分与多指标评估相结合的方式，确保预测模型的可靠性与实用性，数据集选取铁路通信接入网设备1年的运行数据与故障案例，按7:3比例划分为训练集与测试集。评估指标选取准确率、召回率、F1值及预测误差（MAE），全面衡量模型预测性能。验证结果显示，混合预测模型的准确率达92.3%，召回率为

89.7%，F1值为91.0%，均显著高于单一LSTM模型与随机森林模型，预测误差控制在5%以内，能有效捕捉85%以上的设备故障，尤其对渐变式故障的提前预警时间可达24-48小时。结果分析表明，模型在处理时序数据与非线性特征时表现优异，能有效降低漏报率与误报率，但在罕见故障预测上精度略有不足，主要因样本数量稀缺。基于验证结果，对模型参数进行微调，优化特征权重分配，进一步提升模型对罕见故障的识别能力，为实际应用奠定基础。

4 铁路通信接入网设备故障处理策略设计

4.1 故障处理流程设计

铁路通信接入网设备故障处理流程遵循“快速响应、精准定位、高效修复、闭环管理”原则，设计标准化流程，确保故障处理有序开展。流程分为故障发现与告警、故障定位与诊断、故障修复、验收归档四大环节。故障发现阶段，通过监控平台与预测模型预警信息，实时捕捉设备故障，自动生成告警信息并推送至运维终端，明确故障设备、位置及初步类型。故障定位阶段，结合大数据分析结果与运维工具，通过对比故障特征、排查设备参数、检测链路状态，精准定位故障成因与具体点位，缩短排查时间。故障修复阶段，根据故障类型制定针对性方案，硬件故障及时更换备件，软件故障通过远程调试、版本升级解决，线路故障启动抢修流程。修复完成后，进行业务测试与验收，确认通信链路恢复正常，最后记录故障处理全过程，更新运维台账，形成闭环管理，为后续故障分析与流程优化提供依据。

4.2 故障应急处理方案制定

铁路通信接入网设备故障应急处理方案针对突发重大故障（如光缆中断、核心接入设备瘫痪）制定，核心目标是快速恢复通信，降低对铁路运输的影响，保障行车安全。方案首先明确应急组织架构与职责分工，设立指挥组、抢修组、技术支持组与后勤保障组，确保各环节协同高效。针对不同类型应急故障，制定差异化处置流程：光缆中断故障立即启动备用链路，调配抢修队伍携带设备赶赴现场，实施熔接修复，同步通知调度中心调整行车计划；核心设备故障启用备用设备，通过快速切换实现业务接管，技术组远程排查故障原因，制定修复方案。方案明确应急资源储备要求，包括备用设备、抢修工具、通信终端等，定期开展应急演练，检验方案

可行性与队伍响应能力。建立应急联动机制，加强与行车调度、工务、电务等部门的协同，确保应急处置全程顺畅，最大限度缩短故障影响时间。

4.3 故障处理效果评估与改进

铁路通信接入网设备故障处理效果评估采用定量与定性相结合的方式，建立多维度评估体系，全面衡量处理工作质量，为持续改进提供方向。定量指标包括故障处理时长、故障恢复率、业务中断时长、重复故障发生率等，通过统计分析评估处理效率与效果；定性指标涵盖运维人员操作规范性、应急响应及时性、各部门协同能力等，通过问卷调查与现场核查获取反馈^[4]。评估周期分为单次故障评估与月度汇总评估，单次评估针对具体故障处理过程，分析存在的问题；月度评估总结整体处理情况，梳理共性问题。基于评估结果，制定改进措施：针对处理时长过长问题，优化故障定位算法与流程；对重复故障，加强设备预防性检修，更新老化元器件；针对协同不畅问题，完善联动机制，开展跨部门培训。同时，将评估结果与改进措施纳入运维管理体系，形成“评估-改进-优化”的持续循环，不断提升故障处理能力。

结束语

本文围绕大数据在铁路通信接入网设备故障预测与处理展开研究，构建了“LSTM+随机森林”混合预测模型，经验证效果良好，能提前预警多数故障。同时设计了系统的故障处理流程、应急方案及效果评估改进策略。未来，随着大数据技术发展，可进一步优化模型，提升故障预测精度，完善故障处理体系，为铁路通信接入网设备稳定运行提供更坚实保障，推动铁路行业数字化、智能化发展。

参考文献

- [1]童军东.铁路通信工程应用接入网技术初探[J].卫星电视与宽带多媒体, 2021(9):5-6.
- [2]刘浩.浅析铁路通信工程中的无线接入网技术[J].甘肃科技, 2021, 37(1): 8-9,12.
- [3]王宾.铁路通信工程光纤接入网技术的应用[J].电子测试, 2021(14): 116-117+122.
- [4]孙志敏.铁路通信工程应用接入网技术应用分析[J].中国新通信, 2021, 23(09):29-30.