

基于5G+AI的通信设备远程故障诊断技术

廉梦杰

日海恒联通信技术有限公司 河南 郑州 450016

摘要：为了提高通信网络的运维效率和智能化水平，本文围绕基于5G+AI的通信设备远程故障诊断技术展开研究，分析了5G与AI融合的必要性，构建了远程故障诊断体系架构，并深入探讨了数据采集、数据预处理、智能诊断模型、模型训练优化以及实时监控与预警等关键技术。研究表明，该体系能够利用5G的高速低时延传输优势，以及AI的智能分析与决策能力，实现精准、实时的远程故障诊断，提高通信网络的稳定性和维护效率。本研究为未来5G智能运维系统的优化提供了理论支持和技术参考。

关键词：5G；人工智能；远程故障诊断；智能运维

引言

随着现代通信网络的复杂化和智能化发展，传统的设备维护和故障诊断模式已无法满足高效运维的需求。5G网络的高速率、低时延特性，为远程实时数据传输提供了技术保障，而人工智能（AI）在大数据分析、智能调度和模式识别方面的优势，使得自动化、智能化的故障诊断成为可能。基于5G+AI的远程故障诊断技术通过智能算法分析海量设备运行数据，实现精准的故障检测、预测和预警，减少人工巡检成本，提高维护效率^[1]。特别是在大规模分布式网络环境下，如智慧城市通信基础设施、远程基站管理等场景，该技术能够实现自主监测、快速诊断，并优化资源调配，有效提升网络的可靠性和服务质量。因此，研究和构建基于5G+AI的远程故障诊断体系，对于推动通信行业的智能化运维和网络管理模式创新具有重要的现实意义。

1 5G 与人工智能在通信领域的融合

5G技术具有高速率、低时延、大连接等技术优势，能够极大提升数据传输能力，为各类智能化应用提供基础支撑，其核心特性包括毫米波技术、超密集网络、网络切片以及边缘计算等，能够满足不同场景下的差异化需求^[2]。人工智能（AI）技术能够从大规模数据中提取特征，进行智能分析和决策优化。AI在通信网络中的应用主要体现在网络优化、智能调度、故障预测、资源分配等方面，可有效提高网络运行效率，降低运维成本。

5G与AI的融合是未来智能通信网络发展的关键方向。首先，5G网络能够提供高效的数据传输环境，使得AI系统能够实时获取、分析并处理海量数据，提升智能化水平。

作者简介：廉梦杰（1993.04-），女，汉族，籍贯：河南省焦作市，本科，工程师，研究方向：通信设备环境。

其次，AI可对5G网络进行动态管理与优化，例如通过深度学习算法预测网络拥塞情况，提前进行资源调度，提高网络稳定性和用户体验。在远程故障诊断方面，5G与AI的结合使通信设备能够实现智能监测、自主分析与精准诊断，减少人工干预，提高维护效率。最后，边缘计算技术的引入使AI算法能够在5G网络的边缘节点进行计算，减少数据传输时延，提升实时响应能力。

2 通信设备远程故障诊断的需求分析

在现代通信网络中，设备的稳定运行对保障通信质量和用户体验至关重要。然而，传统的故障诊断方法主要依赖人工巡检、定期维护和被动响应模式，存在诸多局限性^[3]。首先，传统方法高度依赖工程师的经验，无法实现精准、实时的故障预测，容易导致突发故障无法及时处置，影响网络稳定性。其次，人工巡检方式受地理位置限制，特别是在复杂地形、远程地区或高危环境（如基站塔顶、海上平台等）下，维修人员难以及时到达，导致故障修复周期延长，影响通信服务连续性。传统方法难以有效应对现代通信设备的复杂性，随着5G网络的推广，设备种类和部署规模持续扩大，单纯依赖人工排查和静态规则的方式已难以满足需求。

面对上述问题，远程故障诊断技术的需求愈发迫切。首先，现代通信网络要求更高的可靠性和稳定性，远程诊断可以借助实时数据监测、智能分析和自动故障定位技术，减少人工干预，提高故障处理效率。其次，随着网络结构的复杂化和边缘计算的发展，远程故障诊断能够通过5G超高速传输和AI智能算法，实现海量数据的实时分析，精准识别设备异常状态，提前预警潜在故障，降低设备损坏风险。远程诊断技术能够降低运维成本，减少人员巡检需求，尤其是在大规模分布式网络（如智慧城市通信基础设施）中，能够有效提升管理效

率和资源利用率。然而,远程故障诊断仍面临一定挑战,例如数据安全与隐私保护问题,在远程访问过程中,敏感设备数据可能面临被窃取或篡改的风险,需要通过加密传输和访问控制机制加以防范。同时,AI算法的准确性和可解释性也是一大挑战,深度学习模型的决策机制往往难以直接解释,可能导致误判或错误预测,对运维决策造成影响。不同设备厂商采用的通信协议和数据格式可能存在差异,如何建立统一标准,实现跨平台远程诊断也是需要解决的问题。

3 基于5G+AI的远程故障诊断体系架构

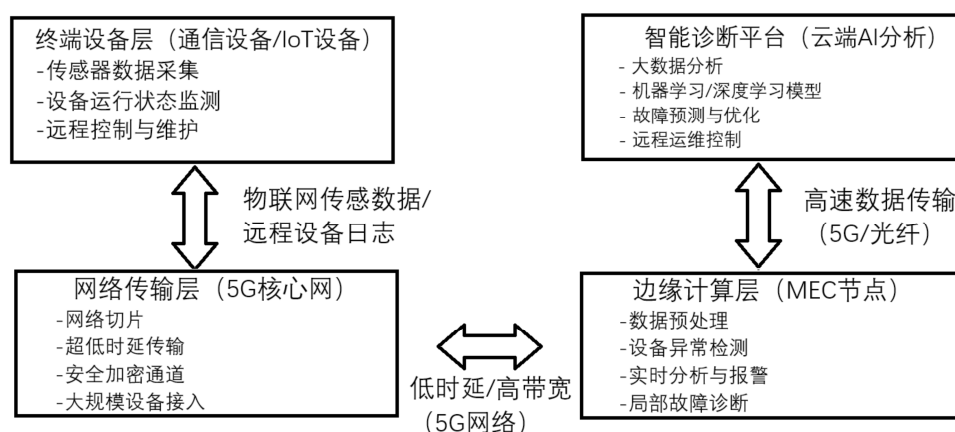


图1 基于5G+AI的远程故障诊断体系架构图

终端设备层负责数据采集,包括通信基站、路由器、交换机等设备上的传感器和日志系统,这些终端通过物联网(IoT)技术实时收集设备运行状态、环境参数和历史故障记录,并将数据传输至上层处理系统。网络传输层依托5G网络的高带宽和超低时延特性,实现数据的快速传输,特别是在远程和高密度部署环境下,5G的网络切片技术可以针对不同业务需求提供专用的传输通道,确保关键数据的稳定传输。边缘计算层在远程故障诊断体系中起到桥梁作用,其主要功能是对设备运行数据进行预处理、特征提取和初步异常分析。智能诊断平台作为核心处理层,集成了大数据分析、机器学习和故障决策系统。该平台接收边缘计算层传输的数据,并利用多种AI算法进行深入分析,例如采用支持向量机(SVM)进行分类、使用长短时记忆网络(LSTM)进行时间序列预测,或者通过强化学习优化维护策略。

4 关键技术分析

4.1 数据采集与传输

5G网络凭借其高速率、低时延和大连接的优势,为远程数据传输提供了技术支撑。首先,5G网络采用毫米波技术和大规模MIMO(多输入多输出)天线,实现了更高的

在现代通信网络的运维管理中,基于5G+AI的远程故障诊断体系架构旨在利用5G的高速率、低时延和广连接特性,以及人工智能的深度学习、模式识别和智能决策能力,实现对通信设备的高效监测、故障预测和远程诊断。通过多层次协同架构,将数据采集、传输、分析和故障处理无缝集成,形成一个自动化、智能化的诊断闭环^[4]。

从总体架构设计来看,该体系主要包括终端设备层、网络传输层、边缘计算层和智能诊断平台四个关键部分,如图1所示。

无线传输速率,使得设备故障数据可以毫秒级别传输至云端或边缘计算平台,确保数据的实时性。其次,5G的超低时延特性(低至1ms)使远程监测和诊断能够即时响应,这对于需要快速故障恢复的通信基站、核心网设备至关重要。5G网络的切片技术可以为不同应用场景提供定制化的数据传输通道,例如,通过网络切片为远程运维提供高可靠性和高优先级的专用信道,确保关键数据的稳定传输。与此同时,5G的海量连接能力支持物联网(IoT)设备的大规模部署,使得通信设备能够广泛接入智能监测系统,形成更加完善的故障诊断数据网络。

4.2 数据预处理

在远程故障诊断过程中,采集到的原始数据通常包含噪声、冗余信息和缺失值,直接输入AI模型会影响诊断的准确性。数据预处理主要包括数据清洗和特征提取。数据清洗的核心目标是消除异常值、填补缺失数据,并剔除无关信息。对于传感器数据中的误差,可采用统计方法检测异常点,并通过插值或均值填充等方法修复缺失值。利用小波变换、傅立叶变换等信号处理方法,可有效去除噪声,提高数据质量。在数据清洗后,特征提取是进一步优化数据表示,可分为手工特征工程

和自动特征学习,前者主要依赖领域专家定义故障特征,如设备振动幅值、信号频谱特性等,而后者则借助深度学习模型(如CNN、LSTM)自动挖掘数据中的潜在模式。

4.3 故障诊断模型构建

故障诊断的核心在于构建高效的AI模型,以识别设备的异常状态并分类不同类型的故障。当前,基于人工智能的故障检测方法主要包括机器学习和深度学习两大类。传统的机器学习方法,如支持向量机(SVM)、决策树和随机森林,适用于特征维度较低、数据规模相对有限的故障检测场景。它们能够通过人工设计的特征进行分类,但对复杂的非线性模式识别能力有限。相比之下,深度学习模型,如卷积神经网络(CNN)、长短时记忆网络(LSTM)和变分自编码器(VAE),在处理高维数据和时序数据方面展现出卓越的性能。CNN可用于图像或频谱分析,识别设备振动或热成像异常,而LSTM擅长处理时序数据,可用于预测设备运行趋势,提前发现潜在故障。为了提升故障诊断的准确性,可采用集成学习的方法,如结合多种模型(如CNN-LSTM混合架构),利用不同模型的优势提高预测性能。最终,通过基于AI的故障检测和分类方法,能够精准识别设备异常,提高运维效率,减少通信设备的非计划停机时间。

4.4 模型训练与优化

在远程故障诊断体系中,AI模型的训练与优化是提升诊断精度的关键环节。模型训练的第一步是算法选择,根据数据特性和任务需求,选择合适的机器学习或深度学习算法^[5]。例如,在小样本数据场景下,可采用基于监督学习的随机森林、SVM等经典机器学习方法,而对于大规模时序数据,LSTM或Transformer架构则能有效提取时间依赖关系,提高预测精度。模型训练过程中,数据增强和迁移学习可用于缓解数据不足的问题。数据增强方法包括噪声添加、平移旋转等操作,以增加数据的多样性,而迁移学习则利用已有的预训练模型进行微调,减少对大规模标注数据的依赖。正则化(L1/L2正则)、批归一化和优化算法等优化方法,可有效防止模型过拟合,提高收敛速度。为了提升模型的自适应性,可引入联邦学习架构,使多个设备在不共享原始数据的前提下协同训练,增强模型的通用性,同时确保数据安全。

4.5 实时监控与预警

在远程故障诊断系统中,实时监控与预警机制的目

标是提前发现设备潜在异常,减少突发故障对网络运行的影响。基于5G+AI的智能预警系统能够实现主动监测和预测性维护,实时监控主要依赖传感器网络和物联网技术,通过5G高速传输,将设备运行状态数据实时上传至云端或边缘计算节点,确保对关键指标(如温度、电流、电压、信号质量等)进行持续跟踪。AI预警系统则利用机器学习模型分析历史数据和实时数据之间的偏差,识别潜在异常。例如,基于时间序列预测的LSTM模型可以学习设备运行规律,预测未来可能出现的异常趋势,而异常检测方法(如孤立森林、主成分分析)可用于发现设备运行的异常模式。强化学习技术可用于优化预警策略,使系统能够根据历史维护记录动态调整报警阈值,减少误报和漏报率。

5 结语

综上,基于5G+AI的远程故障诊断技术为现代通信网络的智能化运维提供了一种高效、精准的解决方案。通过构建远程故障诊断体系,实现了对设备状态的实时监测、智能分析和预测预警,有效提升了通信网络的稳定性和运维效率。5G网络的高速传输能力确保了数据的实时性,而人工智能技术在故障检测、模式识别和自主优化方面的优势,使得诊断过程更加精准和自动化。同时,边缘计算的引入进一步降低了数据处理时延,提高了系统响应速度。尽管该技术在智能运维方面展现出巨大潜力,但仍然面临数据安全、模型泛化能力和跨平台兼容性等挑战。随着5G-A和智能网络技术的持续发展,基于5G+AI的远程故障诊断体系将在更广泛的应用场景中发挥重要作用,推动通信行业迈向更高效、智能和自动化的新时代。

参考文献

- [1]姜峰,鞠建波.基于SSA-BP的通信设备故障检测[J].舰船电子工程,2024,44(2):157-160.
- [2]刘炎昌.基于知识图谱的电力通信设备故障诊断方法研究及应用[D].吉林:东北电力大学,2023.
- [3]王峰,李兴华,李晓龙,等.基于健康画像的光通信设备故障预测算法[J].光通信技术,2021,45(9):31-35.
- [4]林健,孙艳超,袁伶俐.基于贝叶斯网络的卫星通信设备故障诊断研究[J].舰船电子工程,2024,44(7):63-67.
- [5]李亚鹏,佟文朋,邵麒.基于迁移学习的先进通信设备故障诊断方法[J].电子质量,2021(11):11-14.