

基于人工智能的空管通信设备智能巡检与故障处理

周 宇

民航西南空管局 四川 成都 610000

摘要: 空管通信设备是保障飞行安全的核心支撑,其巡检与故障处理的实时性、可靠性直接关系航空运行安全。本文结合机器学习、深度学习及物联网技术,设计空管通信设备智能巡检系统,构建AI驱动故障处理机制,涵盖故障特征分析、模型训练、分级处置及应急响应。实践表明,该方案可打破信息壁垒,实现设备状态精准监测、故障提前预警与高效处置,降低人工运维成本,提升空管通信设备运维智能化水平,为航空安全提供技术支撑。

关键词: 人工智能;空管通信设备;智能巡检;故障处理

引言:随着航空运输业快速发展,空管通信设备种类增多、运行负荷加大,传统人工巡检模式存在效率低、漏检率高、故障响应滞后等弊端,难以满足行业安全保障需求。当前,人工智能技术在各行业深度渗透,为空管运维转型提供可能。本文聚焦空管通信设备智能巡检与故障处理,融合AI核心技术与空管运维业务,设计适配系统与机制,破解传统运维痛点,助力空管通信运维向智能化、高效化转型。

1 相关理论与技术基础

1.1 空管通信设备相关概述

(1) 空管通信设备核心类型:通信传输设备及机房配套设施(UPS、空调等)。其中通信传输设备是空管地空通信核心,负责管制员与机组的实时语音通信,覆盖机场终端区及航路近程范围;同时用于远程航路通信,保障跨区域飞行联络;机房配套设施是设备稳定运行的基础,UPS提供不间断供电,避免突发停电导致设备中断,空调维持机房恒温恒湿,防止设备因环境因素损坏。(2) 空管通信设备巡检与故障处理核心要求:实时性、可靠性、安全性及行业标准。实时性要求巡检及时、故障响应迅速,避免通信中断影响飞行安全;可靠性要求通过规范运维,降低设备故障率,保障通信持续稳定;安全性需符合空管行业安全规范,防范设备故障引发的飞行风险;同时需严格遵循民航行业相关标准,确保巡检与故障处理流程合规。

1.2 人工智能核心技术原理

(1) 机器学习技术:故障特征提取、异常检测相关算法(决策树、随机森林)。通过算法对设备运行数据进行分析,提取故障相关特征,借助决策树的分层决策、随机森林的集成学习优势,实现设备异常的精准识别,为故障预警提供支撑。(2) 深度学习技术:神经网络在故障诊断中的应用,大语言模型(LLM)与检索增强生成

(RAG)技术。神经网络可挖掘设备数据深层关联,提升故障诊断准确率;LLM结合RAG技术,可快速检索故障处理案例,生成针对性解决方案,提高故障处置效率^[1]。(3) 辅助技术:数字孪生、物联网(IoT)数据采集、低代码开发与虚拟化部署技术。IoT实现设备运行数据实时采集,数字孪生构建设备虚拟模型,便于可视化监测与模拟仿真;低代码开发与虚拟化部署简化系统搭建,降低运维成本。

1.3 智能巡检与故障处理相关技术

(1) 智能巡检技术:设备状态实时采集、可视化监控、异常告警触发机制。通过传感器实时采集设备运行参数,依托可视化平台直观呈现设备状态,当参数超出阈值时,自动触发告警,提醒运维人员及时处理。(2) 故障处理技术:故障定位、溯源、分级处置及应急响应技术。借助AI算法快速定位故障点位,追溯故障根源,根据故障严重程度分级处置,同时建立应急响应机制,应对突发重大故障,减少影响。(3) 技术融合应用:AI与空管设备运维业务流程的适配要点。需结合空管运维实际场景,优化AI算法适配性,实现AI技术与巡检、故障处理、应急处置等流程的深度融合,确保技术落地实用,提升运维智能化水平。

2 基于人工智能的空管通信设备智能巡检系统设计

2.1 系统总体设计

(1) 系统设计目标:打破信息壁垒、实现智能化巡检、提升运维协同效率。破解传统巡检数据分散、部门信息不通的难题,整合空管通信设备全生命周期数据,推动从人工巡检向AI智能巡检转型,减少人工干预、降低运维成本;通过协同管理实现运维人员、任务、设备信息高效联动,提升故障响应与处置效率,保障空管通信设备稳定运行。(2) 系统总体架构:数据采集层、数据处理层、AI分析层、应用展示层。四层架构层层递进、协

同联动,数据采集层负责全面收集各类数据,为系统提供基础支撑;数据处理层对采集数据进行净化规范,保障数据质量;AI分析层作为系统核心,依托AI算法完成异常识别与智能分析;应用展示层为用户提供可视化操作与数据呈现,实现高效人机交互^[2]。(3)系统运行环境:包含硬件配置与软件支撑(低代码平台、虚拟化部署框架)。硬件配置高性能服务器、多类型传感器、高清监控及稳定网络设备,满足数据采集、处理与存储需求;软件基于低代码平台搭建框架,降低开发维护成本,采用虚拟化部署框架,实现系统灵活扩展、资源高效利用,适配空管运维个性化需求。

2.2 数据采集模块设计

(1)采集对象:设备运行参数、机房环境数据、安防视频及人员出入信息。设备运行参数涵盖通信传输设备的发射功率、信号强度等核心指标;机房环境数据包括温湿度、电压、空气质量等;安防视频及人员出入信息用于保障机房安全,实现运维人员巡检轨迹可追溯。(2)采集方式:传感器采集、接口对接、视频监控,数据传输链路优化。通过部署各类传感器实现设备参数与环境数据的实时采集;与空管现有设备管理系统、安防系统进行接口对接,同步历史数据与实时数据;借助高清视频监控实现机房场景与设备状态的可视化采集;优化数据传输链路,采用加密传输方式,确保数据传输的实时性与安全性。(3)数据预处理:去噪、标准化、结构化处理,消除数据异构性。采用滤波算法去除采集数据中的干扰噪声,避免无效数据影响分析结果;对不同格式、不同维度的数据进行标准化处理,统一数据口径;将非结构化数据(如视频、语音)转化为结构化数据,消除数据异构性,为后续AI分析提供高质量数据支撑。

2.3 AI智能巡检核心模块设计

(1)设备状态监测模块:实时监控、参数阈值设定、可视化“一张图”展示。实时接收采集的设备运行数据,结合空管行业标准设定各参数合理阈值;通过可视化“一张图”,集中呈现所有设备运行状态、参数变化趋势,便于运维人员快速掌握设备整体情况,实现设备状态的精准把控。(2)异常识别模块:基于AI模型的细微异常检测,分级告警机制设计。依托机器学习、深度学习算法,对设备运行数据进行实时分析,精准识别细微异常,提前预警潜在故障;设计分级告警机制,根据异常严重程度分为一般、重要、紧急三级,对应不同的处置流程与响应时限,确保异常得到及时处理^[3]。(3)巡检任务管理模块:智能排班、任务推送、电子记录留证与追溯。结合运维人员工作量、技能特长实现智能排班,避免人力

浪费;通过系统向运维人员推送巡检任务,明确任务内容、时间节点与要求;支持巡检记录电子录入,实现任务完成情况留证与全程追溯,便于后续复盘与考核。

2.4 系统接口与交互设计

(1)内部接口:各模块间数据交互接口,确保数据流畅。设计标准化内部接口,实现数据采集层、数据处理层、AI分析层、应用展示层及各子模块间的数据高效交互,避免数据卡顿、丢失,确保系统整体运行流畅,各模块协同发挥作用。(2)外部接口:与空管现有业务系统对接,实现跨部门信息共享。对接空管管制系统、设备运维管理系统、安全管理系统等现有业务系统,实现数据互通、信息共享,打破部门间信息壁垒,支撑跨部门协同运维,提升整体工作效率。(3)用户交互设计:便捷操作界面,适配一线运维人员使用需求。遵循简洁、高效、易用的原则,设计操作界面,简化操作流程,减少培训成本;支持权限分级管理,根据不同岗位分配对应操作权限,同时适配移动端与PC端,方便一线运维人员随时随地查看数据、处理任务。

3 基于人工智能的空管通信设备故障处理机制构建

3.1 故障特征分析与分类

(1)空管通信设备常见故障类型:硬件故障、软件故障、信号干扰故障。硬件故障主要有通信传输设备发射模块损坏、UPS供电异常、传感器失灵等,直接影响设备运行;软件故障包括系统崩溃、程序卡顿、配置错误等,多由漏洞或操作不当引发;信号干扰分为设备间内部冲突和外界电磁辐射、信号入侵等外部干扰,会导致通信信号衰减失真,影响地空联络。(2)故障特征提取:基于历史与实时数据构建故障特征库。整合过往故障案例、运行日志、巡检记录等历史数据,结合实时采集的设备运行参数和环境数据,通过机器学习算法提取各类故障核心特征,包括参数异常阈值、故障时长、伴随现象等,形成标准化特征库,为后续故障诊断提供支撑,提升匹配效率^[4]。(3)故障分级标准:按影响范围、紧急程度划分等级,明确处置优先级。结合空管通信保障需求,将故障分为三级:一级(紧急)故障影响核心航路或机场终端区通信,需立即处置;二级(重要)故障影响局部区域通信,可短时间内处置;三级(一般)故障不影响正常通信,常规安排处置,通过分级明确响应时限与流程,保障资源合理分配。

3.2 AI故障诊断模型构建与训练

(1)模型选型:结合空管设备故障特点,选择适配的AI模型(LLM+RAG、神经网络)。针对故障案例复杂、需快速检索解决方案的需求,采用LLM+RAG模型,依

托RAG技术快速调取历史故障案例,通过LLM生成针对性诊断建议;针对设备运行参数的细微异常识别,选用神经网络模型,挖掘数据深层关联,提升故障诊断的精准度,两者协同实现高效诊断。(2)数据集构建:整合历史故障案例、运行日志,进行数据标注与扩充。收集空管通信设备多年历史故障案例、设备运行日志、巡检数据,剔除无效、冗余数据,对故障类型、特征、处置方案等进行标准化标注;采用数据扩充技术,模拟不同场景下的故障数据,丰富数据集规模,避免模型过拟合,确保模型适配各类故障场景。(3)模型训练与优化:调优模型参数,提升故障诊断准确率与实时性。基于构建的数据集,对AI模型进行迭代训练,通过调整模型超参数、优化算法逻辑,解决诊断延迟、误判等问题;引入交叉验证方法,检验模型性能,确保模型在不同故障场景下均能稳定运行,最终实现故障诊断准确率达到行业要求,响应时间控制在合理范围。

3.3 智能故障处理流程设计

(1)故障预警:基于AI模型的前瞻性预测,提前消除潜在故障。AI模型实时分析设备运行数据,对比故障特征库,识别设备参数的细微异常,对可能引发故障的隐患进行前瞻性预警,推送预警信息及初步处置建议,运维人员及时干预,提前消除潜在故障,降低故障发生率。(2)故障定位与溯源:快速定位故障点,追溯故障产生原因。故障发生后,AI模型结合实时数据与故障特征库,快速匹配故障类型,精准定位故障点位(如硬件模块、软件程序、信号干扰源);同时追溯故障产生的根本原因,包括设备老化、操作失误、环境影响等,为后续处置提供依据。(3)故障处置与复盘:智能推送处置方案,事后复盘优化模型。根据故障等级与类型,AI模型从案例库中调取最优处置方案,推送至运维人员,指导快速处置;故障处置完成后,系统自动记录处置过程、结果,组织运维人员进行复盘,分析处置不足,将新的故障案例与处置经验补充至数据集,优化AI模型,提升

后续故障处置能力^[5]。

3.4 应急处置机制补充

(1)极端场景故障应对:信号干扰、系统崩溃等突发故障的应急策略。针对强电磁干扰、系统全面崩溃等极端故障,制定专项应急策略,如启用备用通信设备、切换备用系统,快速恢复核心通信功能;提前储备应急物资与技术方案,定期开展应急演练,确保运维人员能够快速响应、高效处置。(2)人工干预接口设计:特殊故障下的人工介入通道,确保处置灵活性。考虑到部分复杂、特殊故障(如新型未收录故障)AI模型无法精准诊断,设计专属人工干预接口,运维人员可手动介入故障诊断与处置,修改诊断结果、调整处置方案;同时支持人工反馈故障信息,补充至特征库与数据集,进一步优化AI模型,实现智能与人工的协同互补。

结束语

本文围绕人工智能在空管通信设备巡检与故障处理中的应用,完成系统设计与故障处理机制构建,有效解决传统运维模式的不足,实现从人工巡检向智能运维的转型。研究仍有不足,后续可结合5G、数字孪生等新技术优化系统性能,扩充故障数据集提升模型适配性。未来将深化AI与空管运维融合,完善技术方案,为低空基础设施发展提供支撑,筑牢航空通信安全防线。

参考文献

- [1]王涛,李鹏.空管语音通信系统的故障诊断与维护策略[J].电子技术应用,2023,49(6):58-62.
- [2]陈强,刘峰.空管通信系统的应急管理 with 故障恢复机制研究[J].空中交通管理,2022,41(3):45-50.
- [3]张强,王敏.空管语音通信交换系统的可靠性分析与优化[J].航空工程,2021,38(10):70-75.
- [4]杨静.民航空管通信网的规划与实现[J].电子技术,2022,51(11):26-27.
- [5]李乐.智能网络故障诊断在民航空管通信网中的应用研究[J].数字通信世界,2020,8(10):190-191.