

基于人工智能的船舶通航设备远程维修系统的设计与实现

王永杰
天津海运职业学院 天津 300350

摘要：随着全球航运业的快速发展，船舶通航设备（通信、导航设备）的可靠性与安全性至关重要。传统“船上-岸基”维修模式存在响应延迟、成本高昂、专家资源稀缺等痛点。本文设计并实现了一种基于人工智能（AI）的船舶通航设备远程维修系统。该系统综合利用物联网（IoT）技术实时采集设备状态数据与故障信息，通过卫星/5G通信网络传输至岸基云平台。平台核心采用深度学习模型（如卷积神经网络CNN和一维时序CNN）进行故障的智能诊断与预测，并集成增强现实（AR）技术为船上人员提供直观的远程维修指导。本文详细阐述了系统的整体架构、关键模块（数据采集、传输、智能诊断、AR交互）的设计与实现细节。实验与应用表明，该系统能显著提高维修效率、降低运营成本、提升船舶航行安全水平，为航运业的数字化转型提供了有效的技术解决方案。

关键词：人工智能；远程维修；故障诊断；预测性维护；增强现实；船舶通航设备

引言

船舶通航设备（GMDSS、AIS、雷达、北斗/GPS导航系统等）是船舶的“眼睛”和“耳朵”，其运行状态直接关系到船舶的航行安全与运营效率。然而，海上环境的特殊性（高盐雾、高湿度、剧烈振动）使得这些设备故障率相对较高。传统的维修维护模式面临严峻挑战：

- （1）响应滞后：一旦设备发生故障，往往需要船舶停靠港口或等待技术人员上船维修，导致航行计划中断，造成巨大的经济损失。
- （2）成本高昂：派遣专家前往遥远海域或海外港口的差旅费用和时间成本极高。
- （3）专家稀缺：精通多种型号通航设备的资深工程师数量有限，无法满足全球船队的即时需求。
- （4）数据利用不足：设备产生的海量运行数据未被有效收集和分析，缺乏从“事后维修”向“预测性维护”转变的能力。

近年来，人工智能（AI）、物联网（IoT）、第五代移动通信技术（5G）及增强现实（AR）技术的迅猛发展为解决上述难题提供了新思路。AI技术尤其在故障诊断、异常检测和预测分析方面展现出强大能力。因此，构建一个集数据感知、智能分析、远程交互于一体的智能远程维修系统，已成为航运业技术发展的必然趋势。

本文旨在设计并实现一个基于AI的船舶通航设备远程维修系统。该系统通过智能化手段，实现故障的早期预警、精准诊断和远程高效排除，最终形成一套完整的“船-岸”协同智能维修新范式。

1 系统总体设计

1.1 设计目标

本系统的设计目标如下：

- （1）实时性：能够近实时地监控设备状态，快速响应故障警报。
- （2）智能性：利用AI算法自动诊断故障根源，并预测潜在故障风险。
- （3）交互性：通过高清音视频和AR技术，为船上操作人员提供“身临其境”的远程专家指导。
- （4）安全性：保障数据在传输和存储过程中的安全性与隐私性。
- （5）可扩展性：系统架构应支持新设备、新算法的便捷接入与集成。

1.2 系统架构

本系统采用分层架构，主要包括船端数据采集层、通信传输层、岸基云平台智能处理层和应用交互层。系统总体架构如下图所示。



系统总体架构图

(1) 船端数据采集层：部署于各船舶上，包括各类传感器（温度、电压、电流）、设备内置数据接口、高清摄像头、AR眼镜/智能终端等。负责采集通航设备的实时运行参数（如发射功率、接收灵敏度、陀螺仪数据）、日志文件和环境视频图像。

(2) 通信传输层：负责船岸之间的数据双向传输。综合利用卫星通信（如VSAT、北斗短报文）和5G网络（近海区域），确保数据的可靠、稳定传输。采用数据压缩和加密技术，以适应带宽限制并保障安全^[1]。

(3) 岸基云平台智能处理层：系统的“大脑”，部署于云计算中心。包括：

数据湖/仓库：存储海量的设备历史运行数据、故障案例和维修知识。

AI算法引擎：核心模块，包含故障诊断模型、预测性维护模型和AR内容生成引擎。

家知识库：存储结构化的工作流程、维修手册和专家经验。

(4) 应用交互层：为用户提供可视化界面。包括：

Web管理后台：供岸基工程师监控全局船队设备健康状况、查看AI诊断报告、发起远程AR会话。

船端移动App/AR眼镜应用：供船员接收警报、查看维修指令，并通过AR界面与岸基专家进行远程协作。

2 系统关键模块的设计与实现

2.1 多源数据采集与传输模块

设计：为解决设备型号繁多、接口不一的问题，设计了一个船端数据采集代理。该代理支持多种通信协议（如Modbus, NMEA 0183/2000, Serial, Ethernet），能够从不同设备中解析和提取关键性能指标（KPIs）。

实现：采用容器化技术（如Docker）部署采集代理，保证其轻量化和易部署性。采集到的数据经过边缘计算网关进行初步的滤波、压缩和打包后，通过通信网关选择合适的网络（近海优先使用5G，远洋切换至卫星）传输至云平台。传输协议采用MQTT，适用于带宽不稳定的网络环境，实现低功耗、低延时的数据传输。

2.2 基于深度学习的智能诊断与预测模块

2.2.1 数据预处理

对采集到的多维度时序数据（时间序列信号）和图像数据（设备状态灯、屏幕截图）进行预处理。包括数据清洗、缺失值填充、标准化，以及针对时序数据的滑动窗口分割，为模型训练做好准备。

2.2.2 故障诊断模型的设计与实现

问题：故障诊断是一个多分类问题（即判断设备属于哪种故障状态）。

方案：针对时序信号数据（如电压波动、信号强度变化），采用一维卷积神经网络（1D-CNN）模型。1D-CNN能够自动提取时序数据中的局部特征和模式，非常适合捕捉故障发生前的异常信号片段。

模型结构：输入层 → 若干组（一维卷积层 + 激活函数ReLU + 池化层）→ 展平层 → 全连接层 → Softmax输出层^[2]。

实现：使用TensorFlow/Keras框架构建和训练模型。利用历史故障数据样本进行监督学习，模型输出为各种故障类型的概率分布。

针对设备状态图像/面板图像，采用经典的二维卷积神经网络（2D-CNN）（如ResNet, MobileNet）进行图像分类，用于识别指示灯状态、屏幕错误代码等^[3]。

2.2.3 预测性维护模型的设计与实现

问题：预测性维护旨在预测设备的剩余有用寿命（RUL）或未来发生故障的概率。

方案：采用长短期记忆网络（LSTM）或Transformer模型。这些模型擅长捕捉长时间序列中的依赖关系，能够从设备的历史衰减趋势中学习规律，并预测其未来的健康状态。

实现：将设备正常运行至今的历史数据作为输入，训练模型预测未来某个时间点的关键指标值。通过设定阈值，当预测值超过安全范围时，系统提前发出预警^[4]。

所有模型在云平台训练完成后，可部署为在线推理服务，通过RESTful API提供给应用层调用。

2.3 基于AR的远程交互指导模块

设计：当AI系统无法确定故障根源或需要复杂操作时，启动“人在回路”模式，邀请岸基专家介入。专家通过船员佩戴的AR眼镜或手机摄像头，以第一视角看到现场环境。

实现：

(1) 船端与岸基建立低延迟的高清视频通话连接（采用WebRTC等技术）。

(2) 岸基专家在视频画面上直接绘制3D箭头、圆圈、动画指令等数字信息（如“拧下这个螺丝”、“检查这根线路”）。

(3) 这些AR标注实时叠加在船员的视野中，仿佛专家亲临现场指导。

(4) 同时，系统可自动从知识库中调出相应的维修手册、电路图等资料，并以AR的形式投射到真实设备上，辅助船员操作。

该模块极大降低了远程沟通的理解成本，避免了误操作。

3 系统测试与结果分析

为验证系统有效性，进行了模拟实验和初步实地测试。

3.1 测试环境

数据：收集了某航运公司船队VDR（航行数据记录仪）和AIS设备过去3年的历史运行数据与维修记录，构建了包含5种常见故障的数据集。

模型训练：将数据集按8:2划分为训练集和测试集。

测试场景：在实验室搭建了模拟船站，并在一艘沿海货轮上安装了船端采集系统进行试点。

3.2 结果与分析

AI诊断模型性能：故障诊断模型的平均准确率达到96.5%，精确率和召回率均超过95%，显著高于传统基于规则的方法（约70-80%）。证明了1D-CNN在船舶设备故障诊断中的有效性。

预测性维护效果：对某型号雷达发射机的故障预测，系统成功提前72小时发出预警，预警准确率达88%，为计划性维修提供了充足时间。

AR远程指导效率：对比传统电话指导，使用AR远程指导完成同一维修任务的时间平均缩短了40%，错误率下降超过60%。

系统响应时间：从设备数据异常触发报警到AI诊断结果推送至船端App，全过程平均耗时小于3分钟（依赖卫星信道质量），满足实时性要求。

测试结果表明，本系统在故障处理的准确性、及时性和经济性方面均有显著提升。

结束语

本文设计并实现了一个基于人工智能的船舶通航设备远程维修系统。该系统通过融合IoT、AI和AR技术，构建了一个“感知-分析-决策-执行”的智能闭环，成功实现了：

维修模式的变革：从被动响应、人员上船的传统模式，转变为主动预测、远程协作的智能模式。

维修效率的提升：AI快速诊断和AR直观指导，大幅缩短了设备 downtime（停机时间）。

运营成本的降低：减少了专家差旅成本和因停船造成的间接损失。

知识经验的沉淀：所有的诊断案例和维修过程都被记录并存入知识库，用于优化AI模型和培训新员工。

展望未来，本研究还可以在以下方面进一步深化：

（1）强化学习（RL）的应用：探索使用强化学习让AI系统在模拟环境中自主学习最优的维修决策策略。

（2）数字孪生（Digital Twin）的集成：为每艘船舶及其设备创建高保真的数字孪生模型，实现更精确的状态映射、故障模拟和维修方案验证。

（3）多模态AI融合：结合语音识别和自然语言处理（NLP）技术，实现船员与系统的语音交互和智能问答，进一步提升用户体验。

（4）区块链技术：利用区块链的不可篡改性，记录关键的维修数据和责任节点，增强维修过程的可信度和可追溯性。

本系统为智能航运和船舶智能制造的发展提供了切实可行的技术路径，具有广泛的应用前景和推广价值。

参考文献

- [1]吴志良,李能,姚玉斌,等.船舶电气系统保护单元可靠性预计的修正方法[J].中国航海,2019,(4).
- [2]王金.船舶电气自动化的发展及其设备故障的排除探讨[J].科技风,2020,(1):148-149.
- [3]陈良良.电气工程自动化技术在船舶机械设备中的运用价值[J].中国科技投资,2020,(25):144-145.
- [4]余士有,李磊峰,张炯.船舶电气设备的安全用电与管理维护[J].建筑工程技术与设计,2021,(33):2995-2996.