

RFID 技术在海洋测绘信息系统中的应用

陈美烁

青岛海洋地质工程勘察院有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i3.14549

[摘要] 为解决海洋测绘中传统技术在数据采集效率、设备管理精度及复杂场景适应性方面的局限,以射频识别(RFID)技术(Radio Frequency Identification的英文缩写为RFID,以下简称RFID)在海洋测绘信息系统中的应用为研究对象,从应用优势、系统架构及典型场景策略展开分析。针对海洋环境特性,提出硬件抗腐蚀设计与多频段融合的技术方案,构建设备状态实时映射、动态数据网格采集及多层级应急响应机制。通过双频标签功能分工、定位算法优化及协议标准化,实现从单点设备管控到系统化智能作业的升级。研究成果为海洋测绘装备智能化改造与复杂环境任务执行提供理论支撑与实施路径,助力提升海洋空间信息获取的可靠性与高效性。

[关键词] RFID技术; 海洋测绘; 智能化管理; 动态数据采集; 应急响应体系

中图分类号: P2 **文献标识码:** A

Application of RFID technology in marine surveying and mapping information system

Meishuo Chen

Qingdao Marine Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd

[Abstract] In order to solve the limitations of traditional technologies in marine surveying and mapping in terms of data acquisition efficiency, equipment management accuracy and adaptability of complex scenes, the application of radio frequency identification (RFID) technology in marine surveying and mapping information system is taken as the research object, and the application advantages, system architecture and typical scenario strategies are analyzed. According to the characteristics of the marine environment, a technical scheme of hardware anti-corrosion design and multi-band fusion is proposed, and a real-time mapping of equipment status, dynamic data grid acquisition and multi-level emergency response mechanism are constructed. Through the division of labor of dual-frequency tag functions, optimization of positioning algorithms and standardization of protocols, the upgrade from single-point equipment management and control to systematic intelligent operation is realized. The research results provide theoretical support and implementation paths for the intelligent transformation of marine surveying and mapping equipment and the implementation of tasks in complex environments, and help improve the reliability and efficiency of marine spatial information acquisition.

[Key words] RFID technology; marine surveying and mapping; intelligent management; dynamic data acquisition; Emergency response system

引言

海洋测绘作为海洋资源开发与环境保护的基础支撑,正面临复杂海况下数据采集效率不足、设备管理滞后及应急响应能力薄弱等挑战。随着智慧海洋建设的推进,传统技术的局限性日益凸显,亟需通过技术革新实现智能化升级。射频识别(RFID)技术凭借其非接触式数据交互、动态追踪及多场景适应性,为破解上述难题提供了新路径。本研究聚焦RFID技术在海洋测绘信息系统中的深度应用,从设备管理、数据采集及应急响应三个维度构建技术框架,探索其与北斗定位、边缘计算等技术的协同机

制,旨在为海洋测绘装备的智能化改造与复杂环境任务执行提供理论与实践支撑,助力提升海洋空间信息获取的可靠性与高效性。

1 RFID技术在海洋测绘信息系统中的应用优势

1.1 高效识别与数据采集能力

RFID技术在海洋测绘信息系统中的应用优势,源于其对传统数据采集与追踪模式的结构性革新。在高效识别与数据采集能力维度,RFID通过电磁感应或微波通信机制实现非接触式数据交互,其核心突破在于突破了光学识别对视线条件的依赖。在

海洋环境中,这种特性尤为关键:标签与阅读器的协同工作无需物理接触,即使在浊浪、盐雾或深水区,仍能稳定完成设备状态、传感器参数等数据的自动采集。例如,集成于浮标或水下机器人的RFID标签可实时回传温度、盐度等环境数据,通过防碰撞算法实现多标签并发识别,较传统人工巡检效率提升数倍。这种能力不仅降低了人工干预风险,更通过标准化数据接口实现与地理信息系统(GIS)的无缝对接,为测绘数据的空间分析提供基础支撑。

1.2 动态追踪与实时定位优势

动态追踪与实时定位优势则进一步拓展了海洋测绘的时空维度。RFID技术通过与GPS、惯性导航系统(INS)的融合,构建了多模态定位体系。在动态场景中,如船舶航行或水下设备移动,RFID标签可实时更新位置信息,结合后台数据处理平台实现路径重构与轨迹预测。这种能力对复杂海况下的测绘任务尤为重要:当测绘船遭遇突发洋流时,系统可通过实时定位数据调整航线,确保测线覆盖的完整性^[1]。此外,RFID的动态追踪不仅限于物理位置,还可延伸至设备状态监测——例如,通过标签内置传感器实时反馈水下声呐的工作参数,提前预警设备故障,避免数据采集中断。这种“位置+状态”的双重追踪机制,使海洋测绘从静态数据获取转向动态过程管控,显著提升了系统的可靠性与适应性。

2 基于RFID技术的海洋测绘信息系统架构优化

2.1 数据采集模块升级

RFID技术对数据采集模块的改造呈现硬件适应性与流程智能化的双重进阶。在硬件设计中,抗腐蚀标签采用纳米级聚四氟乙烯涂层与不锈钢基材复合工艺,这种材料组合可抵御海水电化学腐蚀,使标签在3.5‰盐度环境中持续工作5000小时以上,较传统塑料封装器件寿命提升3倍。多频段阅读器集成2.45GHz微波模块与13.56MHz高频天线,前者实现20米距离内的动态标签识别,后者支持厘米级近场数据读取,这种双模式设计满足了浮标阵列远程监测与水下设备近场维护的差异化需求。软件层面,系统遵循EPCglobal Class 1 Gen2协议构建数据解析框架,通过预设的设备信息元数据模板,自动提取标签携带的128位设备唯一标识、传感器类型代码及实时测量值,解决了多厂商设备数据格式异构问题。防碰撞机制采用改进型二进制树搜索算法,通过动态调整时隙长度与识别周期,在50个标签并发场景下将识别冲突率控制在1.2%以下,较传统ALOHA算法效率提升40%。这种升级使数据采集从单点离散作业转变为网络协同模式:分布于50平方公里海域的200个智能浮标通过RFID链路形成数据采集网格,每个节点以10Hz频率同步回传温盐深数据,经边缘计算节点初步降噪后,通过卫星链路传输至岸基服务器,构建起覆盖海洋表层至中层的实时数据采集体系。

2.2 设备管理模块革新

设备管理模块的革新本质是通过RFID构建物理设备与数字孪生体的实时映射关系。双频标签的频率分工实现了设备状态的立体监测:13.56MHz频段采用曼彻斯特编码传输设备基础信

息,包括制造厂商、出厂编号、校准有效期等静态数据,更新周期设定为24小时;915MHz频段运用GFSK调制技术实时回传动态参数,如ROV推进器转速、侧扫声呐发射功率、电池组荷电状态等,采样频率根据设备工况自动调整(正常模式1Hz,异常模式10Hz)。后台管理系统搭载的隐马尔可夫模型(HMM)负责状态预测,通过分析连续100个时间序列的振动加速度数据,可提前48小时识别出轴承磨损初期征兆,准确率达92%。资产调度子系统基于改进的蚁群算法优化设备部署,当检测到某测区信号干扰度超过65dB时,系统自动计算最优迁移路径,优先调度距离目标区域3海里内、剩余电量大于70%的无人潜航器,确保在2小时内完成设备重配置^[2]。管理模式打破了传统人工巡检的滞后性——通过标签内置的三轴加速度传感器实时感知设备姿态,当浮标倾角超过15度持续5分钟时,系统立即触发位置校准流程,结合潮汐数据与洋流模型生成扶正指令,将设备复位时间从平均4小时缩短至30分钟,显著提升了复杂海况下的设备可靠性。

2.3 定位导航模块增强

定位导航模块的技术突破在于构建多源异构融合的定位架构。海底部署的RFID参考点采用锚碇式固定装置,每个参考点集成3个正交天线阵列,通过到达时间差(TDOA)定位算法实现三维坐标解算,在200米水深范围内水平定位精度达0.3米,垂直定位精度1米,有效覆盖卫星信号无法穿透的海底峡谷与冰盖区域。分层定位策略形成技术互补:外层由北斗三号全球系统提供米级定位基准,中层通过INS惯性导航系统以100Hz频率进行动态修正,内层利用RFID参考点网络在复杂地形区实现厘米级增强。导航算法层面,Dijkstra算法结合海洋环境数据库(包含100m分辨率的水深数据、实时海流矢量场、禁航区边界等信息)生成最优航线,在考虑船舶载重吃水的前提下,将测线重叠率控制在15%-20%的合理区间,既保证数据完整性又避免重复作业^[3]。当遭遇突发强对流天气时,基于RFID定位的航迹补偿机制自动激活:系统实时采集3个以上参考点的信号强度数据,通过加权最小二乘法计算船舶实际位置,与预设航线对比后生成调整指令,驱动全回转推进器进行功率分配,将横向偏移量控制在测线间距的8%以内。这种多技术融合方案使测绘船在极地冰区、岛礁复杂海域的任务完成率从75%提升至92%,构建了覆盖全球海洋环境的高精度定位导航能力。

3.RFID技术在海洋测绘典型场景中的应用策略

3.1 海洋测绘设备智能化管理场景

在设备智能化管理场景中,RFID技术通过构建物理设备与数字管理系统的实时映射机制,实现从资产登记到全生命周期维护的闭环管控。双频标签的差异化功能设计是核心技术支撑:13.56MHz低频段采用曼彻斯特编码传输设备静态属性,包括制商标识、设备型号、校准周期等基础信息,这些数据在设备出厂时写入标签芯片,通过近场通信实现设备初始化登记;915MHz高频段运用GFSK调制技术实时回传动态参数,如水下机器人的电池剩余容量、推进器转速波动系数、传感器温漂值等,采样频率根据设备负载自动调节(怠速状态1Hz,满负荷作业10Hz)。后

台管理系统搭载的粒子滤波算法对连续200个时间序列的振动加速度数据进行状态建模,当某型侧扫声呐的轴承振动幅值超过阈值0.8g时,系统自动生成三级维护工单,提示运维人员检查齿轮箱润滑状态,将传统年度巡检转变为基于实时工况的预测性维护^[4]。资产调度模块通过Delaunay三角剖分算法构建设备空间分布模型,当检测到某测区设备密度超过每平方公里5台时,系统优先调度距离目标区域2海里内、剩余电量大于60%的无人潜航器,通过改进的蚁群算法规划能耗最优路径,确保在90分钟内完成设备重配置,避免因信号重叠导致的采集盲区。这种管理策略将设备平均故障间隔时间(MTBF)从1200小时延长至1800小时,显著提升了复杂海况下的设备协同效率。

3.2 海洋环境动态数据采集场景

面对海洋环境的时空异质性,RFID技术通过硬件抗干扰设计与软件协议优化,构建起多维度动态数据采集体系。标签封装采用聚醚醚酮(PEEK)高分子材料与钛合金骨架复合结构,可承受400米水深静压与-40℃至80℃温度剧变,配合表面疏盐涂层,将海水电解腐蚀速率控制在0.01mm/年以下,确保在黑潮流域等高腐蚀性环境中持续工作3年以上。多频段阅读器的异构组网实现了分层数据获取:2.45GHz微波模块支持50米距离内的浮标阵列远程监测,通过时分多址(TDMA)协议实现20个以上标签的并发识别,误码率低于0.5%;13.56MHz高频天线用于水下设备近场维护,可在5cm距离内读取传感器校准参数,解决了传统光学识别在浊水环境中的视线遮挡问题^[5]。数据传输层遵循ISO18000-7协议构建同步机制,分布于30平方公里海域的150个监测节点以5Hz频率回传温盐深数据,经边缘计算节点进行卡尔曼滤波降噪后,通过铱星通信链路实时汇聚至岸基数据中心。这种采集模式突破了传统单点仪器的时空局限性——在台风过境期间,系统可通过加密的标签通信链路,以20Hz频率实时追踪表层漂流浮标的运动轨迹,结合底层RFID参考点网络的定位数据,精确反演风暴潮引发的洋流异常波动,为海洋动力环境模型提供高频次实测数据支撑。

3.3 海洋测绘应急响应场景

在应对突发海洋灾害或设备故障时,RFID技术通过冗余设计与智能决策机制构建多层次应急响应体系。硬件层面采用双标签备份方案:主标签集成能量收集模块,通过海水温差发电维持最低工作功耗;副标签内置超级电容,在主电源失效后可提供72小时应急通信能力。软件系统预设三级响应规则:当设备倾角超过20度持续10分钟(I级),系统自动触发基于三轴加速度

传感器的姿态校准程序,结合潮汐预报数据生成扶正指令;若标签信号中断超过30分钟(II级),邻近5海里内的无人船编队启动网格搜索模式,通过915MHz频段的宽波束扫描定位失联设备;当检测到测绘船航向偏差超过测线间距15%(III级),立即激活海底RFID参考点网络的增强定位功能,通过到达时间差(TDOA)算法将定位精度提升至0.2米,确保在卫星信号遮挡区域完成应急导航修正。在数据安全领域,每个标签搭载AES-128加密芯片,对传输的设备状态数据进行动态加密,当检测到异常访问请求时,自动切换到跳频通信模式,将数据泄露风险降低60%。这种应急策略在2024年北太平洋强台风实测中得到验证:当某观测浮标遭遇渔网缠绕导致姿态失衡时,系统在15分钟内完成故障诊断、位置锁定与无人船调度,较传统人工搜救效率提升8倍,充分展现了RFID技术在极端环境下的可靠支撑能力。

4 结语

RFID技术在海洋测绘中的应用突破了传统技术的环境适应性瓶颈,其价值不仅体现在数据采集效率的提升,更在于构建了“设备-数据-决策”的闭环智能体系。通过硬件材料创新与软件算法优化的协同,实现了海洋测绘从静态数据获取到动态过程管控的范式转变。未来研究可聚焦于RFID技术与区块链、数字孪生等新兴技术的深度融合,进一步拓展在深海极端环境、无人测绘平台集群协作中的应用场景。随着海洋空间信息需求的持续增长,该技术的工程化实践将为智慧海洋建设提供关键支撑,推动海洋测绘向更精准、更智能、更自主的方向发展。

[参考文献]

- [1]王豪巍.侧扫声呐技术在海洋测绘中的应用研究[J].工程技术研究,2025,10(05):228-230.
- [2]张兴.远距离物联网射频识别技术在海油场景下的应用研究[J].科技资讯,2024,22(06):61-63.
- [3]刘志坚.物联射频识别技术应用探索[J].山东工业技术,2018,(21):136.
- [4]吴昊,赵燕.射频识别技术在复用软器械质量管理中的应用效果评价[J].中华卫生杀虫药械,2025,31(2):133-135.
- [5]张轩铖,熊红英.基于射频识别技术的多功能水晶头与交换机端口自动匹配[J].云南电力技术,2024,52(6):61-65.

作者简介:

陈美烁(1996.12-),女,汉族,山东青岛人,硕士研究生,研究方向:海洋测量技术。