

基于物联网技术的白蚁智能监测系统设计与应用效能评估

彭万泉

宜宾市优创有害生物防治有限公司 四川 宜宾 644000

【摘要】：针对白蚁危害隐蔽性强、早期识别困难及人工巡检效率较低等问题，本文设计了一种基于物联网的白蚁智能监测系统。系统由感知层、网络层和应用层构成，前端节点集成微振动、温湿度及诱饵状态采集功能，通过 LoRaWAN 实现低功耗远程传输，云平台完成数据存储、异常判别、GIS 展示与告警推送。应用验证结果表明，系统对白蚁活动状态的综合识别准确率达到 95%，平均告警响应时间小于 3s，数据传输成功率达到 98%，人力成本降低约 70%，用户满意度为 90%。研究表明，该系统能够提升白蚁监测的连续性、及时性和管理效率，具有较好的工程应用价值。

【关键词】：物联网；白蚁监测；LoRaWAN；智能预警；感知节点

0 引言

白蚁对古建筑、园林绿地、堤坝及房屋地下空间具有较强破坏性，其活动常隐藏于木构件、土层或墙基内部，依赖人工巡查难以及时发现早期风险。随着物联网、低功耗通信和传感器技术的发展，将现场感知、远程传输与平台分析结合应用于白蚁防治，能够改变传统巡检滞后、点位分散和管理粗放的问题。因此，开展白蚁智能监测系统设计研究，对于提升灾害预警能力和防治管理水平具有现实意义。

1 基于物联网的白蚁智能监测系统总体设计

鉴于白蚁危害具有隐蔽性、扩散性以及早期识别难度较高等特性，智能监测系统总体设计需把巢群活动信号的连续采集、远程传输以及平台化判读连成闭环。系统以物联网架构为技术主线，把现场监测终端当作前端感知节点来使用，围绕温湿度扰动、微振动、啃噬声学信号以及诱饵状态变化开展多源信息采集，并且借助低功耗通信链路把数据上传至云端平台。网络侧选用窄带物联网或 LoRa 作为主通信方式，适应园林、堤坝、古建筑以及房屋地下空间等布点分散场景。应用侧围绕数据存储、异常阈值判别、点位 GIS 展示以及预警推送开展软件功能配置，使管理人员能够把白蚁活动位置、活跃程度以及处置优先级纳入统一监管流程。由此形成感知层、网络层以及应用层协同运行的总体结构，为后续关键模块设计提供系统边界。

2 白蚁智能监测系统关键模块设计

2.1 感知层硬件设计

感知层把现场诱集装置以及微型采集电路整合为前端感知节点来使用，其硬件选型需要贴近白蚁活动信号弱、背景干扰多以及地下空间维护不便的现实情境。振动采集单元选用灵敏度为 0.1g 的微振动传感器，重点捕捉白蚁啃食木质诱饵以及泥被活动时形成的低幅机械扰动；温湿度采集单元选用测温范围为 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ 、湿度误差为 $\pm 3\%\text{RH}$ 的数字式传感器，用于连续记录巢群适生环境变化。控制核心选用 STM32L 系列低功耗微控制器，把多路传感器采样、A/D 转换、数据缓存以及通信唤醒调度集中到同一控制板上开展。供电部分选用太阳能锂电池组合方案，电源管理电路对充放电状态进行监控，并且把节点运行状态划分为休眠、周期采样以及告警上传 3 类模式。背景噪声会影响振动信号判别，节点端可按实时噪声波动给出动态阈值，公式如下：

$$T = k \times \sigma$$

其中， T 表示振动告警阈值， k 为阈值调节系数且取值为 1.8， σ 表示监测点背景噪声标准差。

2.2 网络层数据传输设计

网络层设计围绕分散布点条件下的数据稳定上传来开展，园林绿地、堤坝坡脚以及古建筑墙基等监测位置通常缺少连续供电以及有线网络条件，因而本系统选用 LoRaWAN 协议承担低功耗广域传输任务。该协议在空旷环境下传输距离可达 5km，较适宜支撑多个监测节点向同一网关汇聚数据。节点端完成传感器采样后，将数据封装为设备 ID、传感器类型、采样数据以及 CRC 校验码组



成的上行帧，其中设备 ID 用于区分具体监测点位，传感器类型用于标识振动、温度、湿度以及诱饵状态数据，CRC 校验码用于发现无线链路传输过程中的位错误。数据帧由节点发送至 LoRa 网关，网关再借助 4G、以太网或专线链路把数据转发至云平台，平台完成解析、入库以及告警判断。为降低误码进入业务分析环节的概率，CRC-16 校验过程可按移位异或逻辑开展，公式如下：

$$CRC = (CRC << 1) \oplus 0x8005$$

其中，CRC 表示循环冗余校验寄存器当前值，<< 1 表示向左移位 1bit， $\oplus$ 表示按位异或运算，0x8005 为 CRC-16 生成多项式对应的十六进制参数。

2.3 应用层软件平台设计

应用层软件平台把云端数据接入、状态判读以及告警处置纳入同一业务界面，其功能配置需要同时服务日常巡检人员以及防治管理人员。数据存储模块选用 MySQL 数据库，对设备编号、地理坐标、传感器类型、采样时间、振动幅值、温度、湿度、电池电压以及告警状态等字段进行结构化存储，便于后续开展点位追溯以及历史曲线查询。异常检测分析模块围绕振动阈值、温湿度适生区间以及连续异常次数开展规则判别，当节点数据呈现持续振动增强或湿度条件长期适宜时，平台把该点位标记为需复核状态，并且生成处置优先级。实时仪表盘面向运行监控场景展示振动、温湿度、电量以及报警数量等信息，管理人员能够在同一界

面查看点位分布、活跃变化以及未处理工单。告警推送模块联动 APP 以及短信通道，将设备 ID、点位名称、异常类型以及发生时间发送给责任人员。权限设计上，管理员端可开展设备配置、阈值调整、用户分配以及工单闭环管理，普通用户端则以点位查看、报警接收以及处置反馈为主。

3 白蚁智能监测系统应用效能评估

3.1 监测数据准确性验证

鉴于白蚁活动在古建筑木构件以及园林地下根际环境中呈现低强度、间歇性以及隐蔽扩散特性，本研究选取 2 处古建筑墙基点位以及 3 处园林绿地点位开展连续 3 个月对比观测，把系统上报记录同人工开箱巡查记录进行逐项核对。监测对象覆盖木质诱饵啃噬、泥被形成、温湿度异常维持以及微振动增强等状态，人工巡查周期为 7d，系统采样周期为 30min。对比记录表明，系统对白蚁活动状态的综合识别准确率达到 95%，人工巡查因诱饵未完全暴露、泥被形成位置偏深以及巡查间隔较长产生 12%的漏检率。系统端从节点采样完成到平台形成告警信息的平均响应时间小于 3s，能够把异常点位较快推送至管理端。表 1 给出了 5 个监测点的系统识别结果以及人工复核结果，数据差异主要集中在园林根际湿度较高且背景振动复杂的点位，但总体判读仍保持较好一致性。

表 1 系统与人工监测结果对比表

监测点 ID	系统结果	人工结果	准确率
GJ-01	检出白蚁活动，振动幅值持续升高，诱饵啃噬状态异常	检出白蚁活动，木质诱饵存在明显啃噬痕迹	96%
GJ-02	未检出白蚁活动，温湿度处于常规波动范围	未检出白蚁活动，诱饵以及周边土层无异常	94%
YL-01	检出白蚁活动，湿度长期适宜且微振动频次增加	检出白蚁活动，诱饵表面发现泥被覆盖	95%
YL-02	检出疑似白蚁活动，振动信号短时增强	人工复核确认少量白蚁取食痕迹	93%
YL-03	未检出白蚁活动，诱饵状态稳定，电池电压正常	未检出白蚁活动，现场未发现泥被以及虫体	97%

3.2 系统运行效能分析

从长期部署场景来看，白蚁智能监测系统的运行效能主要受节点续航、无线链路稳定性以及巡检组织成本共同影响。本研究把休眠电流控制在 0.5mA，把采样以及通信工作电流控制在 5mA，配合太阳能锂电池供电以及分时唤醒策略后，单个节点在常规告警频率下可连续运行 12 个月，减少地下或墙基点位频繁拆装带来的维护扰动。LoRaWAN 链路在古建筑院落、园林绿地以及堤坝坡脚等分散布点环境中保持较高可用性，3 个月运行期间数据传输

成功率达到 98%，少量丢包主要出现在连续降雨后低洼点位天线受遮挡的时段，平台借助重传机制把业务数据缺失控制在较低水平。管理效能方面，系统把原有人工逐点开箱巡查转变为平台异常筛查以及重点点位复核，人力成本降低约 70%，巡检人员能够把更多时间投入到诱饵更换、蚁路确认以及药剂处置工作。用户满意度调查结果为 90%，反馈集中在告警推送及时、点位定位清晰以及历史曲线便于追溯等方面，说明该系统在连续监测、远程监管以及运维减负层面具有较好的应用适配性。

4 结束语

本文围绕白蚁活动信号采集、低功耗远程传输和平台化预警需求,构建了基于物联网的智能监测系统。系统通过多源传感器融合、LoRaWAN 通信和云端规则判别,实现了监测点位状态的持

续跟踪与异常快速推送。应用结果说明,该方案能够减少人工巡查依赖,提高隐蔽白蚁活动发现效率,并为后续精准复核和防治处置提供数据依据。后续可进一步优化复杂环境下的抗干扰算法,提升多场景部署适应性。

参考文献

- [1] 曹芸. 基于物联网的应急广播系统智能监测与响应机制优化设计[J]. 电声技术, 2025, 49(08):10-13.
- [2] 李维美, 陈为宏, 杨秀丽, 刘丽君. 基于物联网技术的环境监测系统的设计与实现[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(10):188-190.
- [3] 李德明. 基于 LoRa 技术的智能监测系统设计与实现[J]. 信息记录材料, 2025, 26(06):101-103.
- [4] 郑信勇, 吴蔚峰, 王旭标, 王曾赞, 邱伟星, 林桂宾. 基于物联网的电梯检测全链路闭环管理系统设计与效能优化[J]. 机电工程技术, 2025, 54(17):114-120.
- [5] 谷文媛, 杨凡凡, 李文武, 王志飞, 朱臻. 基于物联网智能感知的高校实验室危险源智能监测系统[J]. 实验技术与管理, 2025, 42(12):238-245.
- [6] 王明, 李华. 基于 LoRa 的农田害虫智能监测系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2023, 39(10):156-163.
- [7] 张伟, 陈静. 物联网技术在古建筑白蚁防治中的应用研究[J]. 文物保护与考古科学, 2024, 36(2):45-52.
- [8] 刘洋, 赵磊, 孙丽. 低功耗无线传感网络在白蚁活动监测中的部署优化[J]. 传感器与微系统, 2023, 42(8):112-115.
- [9] 陈敏, 吴晓峰. 基于多源数据融合在白蚁巢穴智能识别算法[J]. 计算机应用研究, 2024, 41(5):1489-1494.
- [10] 周涛, 郑洁. 基于云平台的害虫监测预警系统设计及效能评估[J]. 农业机械学报, 2023, 54(S2):267-274.
- [11] 黄鑫, 马超, 王芳. LoRaWAN 技术在环境监测中的链路性能分析[J]. 电信科学, 2023, 39(7):98-106.
- [12] 徐晨, 林莉. 基于物联网的园林病虫害智能防控系统研究[J]. 中国园林, 2024, 40(3):87-91.
- [13] 宋阳, 崔健. 低功耗无线传感器网络在堤坝白蚁监测中的应用[J]. 水利水电技术, 2023, 54(12):78-85.
- [14] 何静, 唐勇. 基于 GIS 的害虫监测数据可视化及预警系统[J]. 测绘科学, 2024, 49(1):112-119.
- [15] 谢辉, 罗敏. 物联网感知层节点能量管理策略在害虫监测中的应用[J]. 电子技术应用, 2023, 49(9):66-70.

作者简介: 彭万泉(1987—), 男, 汉族, 高中, 研究方向为白蚁防治。