

# Application of wireless communication technology in remote environment monitoring system

Ziyu Zhang

Shandong Chenhui Electronic Technology Co., Ltd., Taian, Shandong, 271000, China

## Abstract

Leveraging its long-range transmission, low power consumption, cost-effectiveness, and strong penetration capabilities, LoRa (Low-Rate Area Network) technology has become a pivotal solution for remote environmental monitoring systems. This paper explores practical applications of LoRa in environmental monitoring, analyzing its suitability for urban environments, agricultural ecosystems, and industrial scenarios. It discusses the technological significance, current development status, and optimization strategies of LoRa. Through integrated design logic across the perception layer, transmission layer, and platform layer, supported by domestic and international case studies, the paper demonstrates LoRa's stability and efficiency in monitoring complex terrains and remote areas. Research indicates that LoRa nodes can maintain 5-10 years of long battery life, with single gateways achieving 3-15 km coverage and over 90% data transmission success rates. This effectively addresses limitations of traditional monitoring systems, including inadequate coverage and high maintenance costs. Future integration with AI and 5G technologies will enable smarter and more precise remote environmental monitoring, providing robust technical support for ecological conservation and environmental governance.

## Keywords

LoRa wireless communication technology; remote environmental monitoring system; practical application

## 无线通信技术在远程环境监测系统中的实践应用

张紫钰

山东晨晖电子科技有限公司, 中国·山东 泰安 271000

## 摘要

LoRa (低功耗广域网) 技术依靠长距离传输, 低功耗, 低成本, 强穿透等特性, 变成远程环境监测系统的关键支撑技术, 本文着重探讨LoRa技术在环境监测方面的实际应用, 分析LoRa技术在城市环境, 农业生态, 工业场景等环境监测中的技术适用性, 讲述技术应用意义, 当前发展现状, 优化策略, 经由整合感知层, 传输层, 平台层的全链路设计逻辑, 参照国内外典型应用案例, 证实LoRa技术在复杂地形, 偏远区域监测中的稳定性和高效性。LoRa技术经研究表明, 监测节点5-10年长续航, 单网关3-15公里广覆盖, 数据传输成功率超90%, 能够很好地解决传统监测系统存在覆盖不足、维护成本高的问题, 未来与AI、5G等技术融合, 远程环境监测将更智能化、精准化, 为生态保护、环境治理提供有力技术支持。

## 关键词

LoRa 无线通信技术; 远程环境监测系统; 实践应用

## 1 引言

全球环境问题愈发突出, 远程环境监测属于生态保护与污染治理的基本手段, 其覆盖范围、数据实时性以及运维成本就是核心需求, 传统的 GPRS、有线传输这类监测技术功耗高、覆盖范围小、部署灵活度差, 难以满足山区、森林、偏远工业区等复杂环境的监测要求, LoRa 技术基于扩频调制技术, 在功耗相同的情况下传输距离可比传统无线技术高出 10 倍以上, 且支持数千个节点并发接入, 无需设置基站设施, 部署成本大幅降低。目前全球有 5000 多个 LoRa 环

境监测项目投入使用, 覆盖面积超过 1000 平方公里, 主要应用在空气质量, 水质, 土壤墒情, 森林防火等环境监测场景。文章根据 LoRa 技术, 结合实际场景, 探讨 LoRa 远程环境监测系统应用的参考, 现实发展状况以及改善途径, 给予有关研发以及工程应用的参考。

## 2 LoRa 技术在远程环境监测系统中的应用意义

### 2.1 突破传统监测技术瓶颈, 提升技术适配性

传统远程环境监测依靠有线网络或者 GPRS, NB-IoT 之类的通信技术, 存在明显的应用局限, 有线传输的施工周期长, 通常要 1-3 个月, 而且每公里的施工成本高达数万元, 在山区, 湿地等复杂地形里常常无法施工, GPRS 技术的单节点功耗大概在 10-20mA, 普通锂电池只能维持 1-3 个月的

【作者简介】张紫钰 (1999-), 女, 中国山东泰安人, 本科, 助理工程师, 从事工程技术、电子信息LoRa研究。

续航, 偏远地区人工更换电池的人力成本在系统总运维成本中占比 60% 以上, NB-IoT 虽然功耗低, 但完全依靠运营商基站, 森林, 荒漠等没有信号的区域无法部署, 而且单基站的覆盖半径只有 1-3 公里, 密集部署的成本较高。LoRa 采用非授权频段, 无需基站, 单网关在城市楼宇密集区可覆盖 2-5 公里, 在平原、森林等开阔区域可覆盖 10-15 公里, 可穿透混凝土墙体、山体等障碍物, 在地下管网、矿井等封闭空间仍能保持通信。其低功耗特性, 使传感器节点在采用锂亚硫酰氯电池供电时, 续航可达 3-10 年, 极大地减少了偏远地区监测设备的维护频率和成本, 完美地破解了传统技术在覆盖范围、续航能力、部署成本三重难题, 契合远程环境监测复杂地形、无市电、低维护的核心需求<sup>[1]</sup>。

## 2.2 提高环境监测精度以支撑科学决策

远程环境监测的核心价值在于给环境治理给予精准, 即时的数据支撑, 而数据的连续性, 可靠性直接决定决策质量, 传统监测大多采用定点抽样的模式, 城市空气质量监测站通常每 5 - 10 平方公里就只设 1 个点, 数据的代表性不足, 难以精准找到污染源; 农业土壤监测大多依靠人工定期采样化验, 数据滞后 1 - 7 天, 无法及时指导田间管理, LoRa 技术凭借自适应数据速率 (ADR), 前向纠错编码 (FEC) 等技术, 在电磁干扰复杂的环境中依然能够保证数据传输的误码率低于 0.01%, 而且支持毫秒级的数据采集与传输, 在城市空气质量监测当中, 依靠 LoRa 的微型监测站每平方公里可以部署 3 - 5%, 实时采集 PM2.5, NO2, VOCs 等数据, 结合 GIS 系统精准绘制污染扩散轨迹, 给污染源的追溯给予数据支撑<sup>[2]</sup>。在农业生态监测当中, 土壤温湿度, 光照, 土壤肥力等数据的分钟级采集, 可以通过云平台自动生成灌溉, 施肥方案, 节水率提升 30% 以上, 化肥利用率提升 20%, 森林防火监测当中, 温度, 烟雾传感器的毫秒级响应能够实现火灾初期的预警, 比传统的, 人工巡护提前 1 - 3 小时发现火情, 为应急处置争取宝贵的时间。通过高精度、高密度、实时性的数据采集与传输, LoRa 技术让环境监测从“定点抽样”变成“全域实时”, 给环境治理、生态保护、农业生产提供科学、精准的数据支撑, 推动决策从“经验驱动”转向“数据驱动”<sup>[3]</sup>。

## 2.3 降低监测系统运维成本以促进规模化部署

环境监测的规模化覆盖既要考虑部署效率, 又要兼顾长期运维成本, 传统监测系统设备功耗高、维护频繁, 难以实现大范围推广, 传统有线监测系统建设成本中, 施工费用占比超 60%, 后期线路维护、设备检修需大量人力, GPRS 监测系统部署较灵活, 但单节点年维护成本达数百元, 若部署数千个节点, 年运维成本高达数十万元, LoRa 技术硬件成本仅为传统无线通信模块的 1/3-1/2, 支持星型、网状混合拓扑, 节点可自动加入网络, 无需专业人员现场配置, 部署效率较传统技术提升 50% 以上, 单节点部署时间缩短至 10-30 分钟<sup>[4]</sup>。在运维方面, LoRa 网关支持远程设备管理,

可通过云平台实时监控节点运行状态、电池电量、信号强度, 实现故障预警与远程固件升级, 减少 80% 的现场维护工作量。拿某个城市智能垃圾桶监测项目来说, 依照 LoRa 技术, 系统布置了 2000 个监测节点, 覆盖城区 50 平方公里, 比传统的人工巡检模式, 垃圾清运无效行驶里程缩减了 30%, 年运营成本削减 40%, 回收期只要 1.5 年; 在某山区高边坡监测项目里, 太阳能供电的 LoRa 节点不用频繁更换电池, 年维护成本不到传统有线系统的十分之一, 而且系统稳定运行 5 年没出现过重大故障, 低成本, 低运维, 高部署效率的特点, 让 LoRa 技术可以迅速完成大范围, 高密度的监测网络布置, 给区域化, 全域化的环境监测带来可行性, 促使环境监测由“重点区域覆盖”向“全域无死角监测”转变。

## 3 LoRa 技术在远程环境监测中的应用现状

### 3.1 多场景应用落地, 覆盖领域不断扩展

LoRa 技术应用于远程环境监测中, 从一种应用向多种应用发展, 形成城市, 农业, 工业, 生态等多个领域的应用格局, 对于城市环境监测而言, 英国南安普顿市利用 LoRaWAN 网络进行 PM2.5, NO<sub>2</sub> 等空气质量指标的监测, 整个城市的监测区域已经被覆盖, 这种监测方式相比传统固定的监测站, 其部署成本降低 70%。国内有很多城市都采用了 LoRa 监测技术来构建一种智能化的垃圾桶监测系统, 利用智能 APP 来达到监控垃圾桶是不是满溢的目的, 并实时通知清运, 对于农业生态监测来说, 荷兰的农场通过 LoRa 传感器采集土壤温湿度, CO<sub>2</sub> 浓度等数据, 进而为农作物的种植提供相关的施肥, 灌溉等数据, 相关农作物的产量提高了 15%, 在四川, 重庆, 广西等地的山区也部署了 LoRa 森林防火监测网络, 其中每个网络单元的覆盖半径高达 20 公里, 丢包率低于 10%<sup>[5]</sup>。

### 3.2 技术标准日益完善, 产业生态不断成熟

LoRa 技术的标准化进程加快, 推动了其在环境监测领域的规模化应用, 国际上, LoRaWAN 协议形成 V1.0.3 稳定版本, 对物理层、网络层的技术规范作出规定, 支持全球范围内的设备互通互联, 国内已经把 470-510MHz 频段给 LoRa, 为技术应用给予合法频谱资源, 产业生态方面, Semtech, 技象科技等企业推出了性能高的 LoRa 芯片和网关产品, 支持 8 信道并行处理, AES-128 加密等功能, 单个网关可接入几千到几万个监测节点。传感器厂商与 LoRa 模块厂商联合推出集成温湿度、VOCs、烟雾等多参数的一体化监测节点, 防护等级 IP65, -40℃~85℃极端环境适用, 云平台厂商腾讯云、阿里云提供专用 LoRa 设备管理平台, 数据可视化、智能告警、数据分析等功能完善, 形成“传感器-模块-网关-平台”产业链路, 技术成熟度和产品兼容性明显增强。

### 3.3 应用挑战凸显技术优化的迫切需求

虽 LoRa 技术在远程环境监测方面成绩显著, 但依然

存在三大难题,其一是信号受到干扰,城市内部 433MHz, 868MHz 之类非授权频段有大量无线设备运作,部分地段的信道拥挤,于是数据传输产生延迟, RSSI 值低于 -110dBm 的时候就会造成通信不稳定,其二是数据存在安全隐患,环境监测数据牵涉公共安全和生态隐私,部分 LoRa 设备缺少完善的数据加密机制,很易发生数据被弄乱或者泄露的现象,特别是针对工业有害气体监测这种敏感的环境,这些方面的安全问题就格外明显。三是标准化适配存在欠缺,不同厂商的 LoRa 设备在协议细节、参数配置方面存在差异,造成多厂商设备混合组网时兼容性不佳,影响监测网络的规模扩展,高密度监测场景下节点并发接入易造成网关负载过高,数据吞吐量下降,这些问题需通过技术优化与标准统一逐步解决。

## 4 LoRa 技术在远程环境监测系统中的优化应用策略

### 4.1 优化系统架构以增强网络适配能力

系统架构的科学设计是 LoRa 技术高效应用的根基,从感知层,传输层,平台层全方位开展全链路改良,感知层须采用“多参数传感器+低功耗 MCU”的硬件架构,选用 STM32L 系列低功耗芯片以及 SX1276/SX1262 等高性能 LoRa 模块,配合太阳能供电和电池备份方案,适应无市电区域的部署需求;传感器节点需具备自适应采样策略,按照环境参数的变化来动态调整采样间隔,做到数据实时性和功耗控制的平衡,传输层采取“星型+网状”混合拓扑,在开阔区域以星型拓扑为主,削减中继节点数量。在复杂地形中启用网状拓扑,经由节点接力传输来扩大覆盖范围,网关的部署优先选择高楼,路灯杆等制高点,采用 8 通道网关提升数据吞吐量,支持 4G/ 以太网双回传模式,保障数据传输的稳定。平台层采取“边缘计算+云端存储”的混合架构,网关内置轻量级 AI 模型,对异常数据做预过滤和本地告警,削减云端负担,云端采用时序数据库 (InfluxDB) 存储实时数据,借助 Grafana 做到数据可视化,支持设备全生命周期管理和 OTA 远程升级。

### 4.2 优化技术参数配置以提升通信可靠性

技术参数的精确设置直接关乎 LoRa 通信的距离、消耗和可靠性,要按照监测情况来灵活调整,在通信参数设置上用自适应数据速率 (ADR) 机制,按照节点和网关距离自动调节扩频因子 (SF) 和带宽,远距离选用 SF12+125KHZ 带宽,加强接收灵敏度,高密度选用 SF7+250KHZ 带宽,缩减轮询时间,在信道设置上采用 8 信道跳频,利用频谱分析仪探测信道占用情形,避开那些受干扰严重的频段,

RSSI 低于 -110dBm 或者 SNR 低于 0dB 时自动改变信道。功耗优化方面,节点实行“休眠-唤醒”循环工作模式,非采样时段深度睡眠,电流消耗降到 0.3  $\mu$ A 以下,经由优化数据包结构,简化数据帧格式,削减冗余信息,削减传输功耗,抗干扰设计上,采用 CRC 校验和重传机制,保证数据完整,在工业,城市等电磁复杂环境里,加装屏蔽罩和防雷装置,增强设备环境适应性。

### 4.3 多技术融合应用提升智能监测水平

LoRa 技术同新兴技术的融合是改善监测系统智能化水平的重要途径,一是同 AI 技术融合,在云端平台部署机器学习模型,对监测数据执行趋势分析和异常预判,比如根据历史空气质量数据预判 PM2.5 浓度改变,根据土壤墒情数据预判作物灌溉需求,从“被动监测”转变为“主动预警”,二是同 5G 技术融合,在对实时性有较高要求的场景 (如工业有害气体泄漏监测) 当中,采取“LoRa+5G”双模网关,LoRa 承担海量低速率数据传输,5G 承担应急告警等高速率数据传输,兼顾覆盖范围和实时性。三是与定位技术融合,基于信号到达时间差 (TDoA) 实现米级定位,融合北斗/GPS 定位模块,精准标注污染源位置、监测节点位置,为环境治理提供精准空间信息;四是与安全技术融合,采用 AES-128 加密算法对传输数据进行端到端加密,建立设备白名单与权限管理机制,防止非法设备接入,保障数据传输与存储安全。

## 5 结语

综上所述,LoRa 技术凭借其长距离、低功耗、低成本的核心特征,给远程环境监测系统构建了一条全新的技术道路,较有效地化解了传统监测技术因覆盖不够、维护费用偏高、合适的场景缺乏等带来的问题,从城市的空气质量监测到农业的生态保护,从工业的环境监控到森林的防火预警,LoRa 技术的应用场景不断延伸,成为环境监测物联网的核心支柱。

### 参考文献

- [1] 孙振华. 基于阿里云物联网平台的远程环境监测系统设计[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(23): 114-119.
- [2] 卢乃旬, 罗恺韵, 王琦, 等. 基于北斗的远程环境监测系统的设计与应用[J]. 物联网技术, 2024, 14(02): 21-26.
- [3] 甘新, 冯准, 梁艳. 物联网远程环境监测系统设计与实现[J]. 信息记录材料, 2023, 24(05): 237-239.
- [4] 唐茂淦. 基于 OneNET 物联网云平台的农田环境监测及远程灌溉系统设计[J]. 电子制作, 2023, 31(05): 39-43.
- [5] 吕琪. 基于阿里云 IOT 的简易远程室内环境监测系统[J]. 网络安全技术与应用, 2020, (11): 57-58.