

基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置局放检测优化研究

曹海泉 王果 徐凯波 张彪 王博

(国网四川省电力公司南充供电公司 四川 南充 637000)

摘要 文中深入研究了基于 LoRa 通信技术的无人机配网巡检装置在局放检测中的应用,系统地探讨了数据处理与分析算法、实时监测与动态调整技术、能耗管理与飞行效率优化以及故障预测与健康评估等多方面的优化方法。通过技术应用测试验证了这些优化策略的有效性。结果表明,该系统能显著提高巡检效率,减少人力成本,同时增强了电力系统的可靠性和安全性。

关键词: LoRa 通信;无人机;巡检装置;局放检测

中图分类号 TN929.5

Research on the Optimization of Local Discharge Test of UAV Distribution Network Inspection Device Based on LoRa Communication

CAO Haiquan, WANG Guo, XU Kaibo, ZHANG Biao and WANG Bo

(Sichuan Electric Power Company of State Grid Nanchong Power Supply Company, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract This paper deeply studies the application of unmanned aerial vehicle (UAV) distribution network inspection device based on LoRa communication technology in partial discharge detection. It systematically explores various optimization methods such as data processing and analysis algorithms, real-time monitoring and dynamic adjustment technology, energy management and flight efficiency optimization, as well as fault prediction and health assessment. The effectiveness of these optimization strategies has been verified through technical application testing, and the results show that the system can significantly improve inspection efficiency, reduce labor costs, and enhance the reliability and safety of the power system.

Key words LoRa communication, UAV, Inspection device, Partial discharge testing

0 引言

无人机因其能快速部署并覆盖广泛地域的优势,已被引入到电力系统巡检中,特别是在难以接近的高压输电线路的巡查工作中。然而,传统的无人机巡检技术通常受限于通信技术,尤其是在数据传输距离和稳定性方面。为此,可以引入 LoRa(Long Range)通信技术,利用其超长距离通信能力和低功耗特性。LoRa 技术能支持无人机在电网中进行远距离的数据通信,从而提升无人机配网巡检的效率和效果。

1 LoRa 通信技术概述

LoRa(Long Range)通信技术是一种低功耗广域网(LPWAN)技术,已成为无人机配网巡检领域中的关键技术,尤其在进行电力系统的局放检测优化过程中。LoRa 技术基于 CSS(Chirp Spread Spectrum)技术,该技术在远距离

通信和抗干扰能力上表现优异,能在复杂的电力传输环境中稳定运行,如图 1 所示。

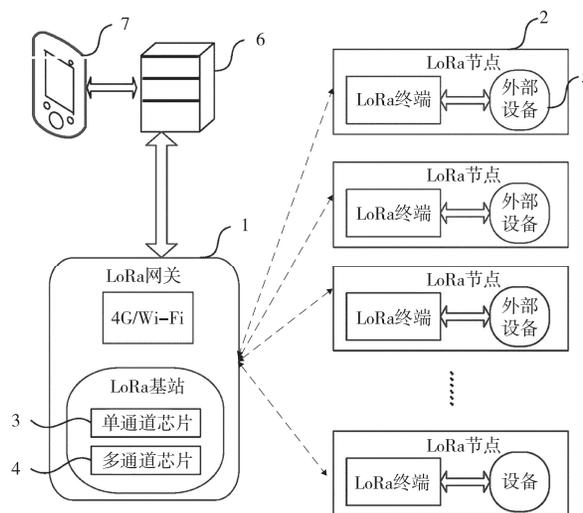


图 1 LoRa 通信技术

作者简介:曹海泉(1978—),硕士,高级工程师,研究方向为电网规划、输变电智能运检、现代智慧配电网等。

特别是在无人机执行配网巡检任务时,LoRa可以实现数公里范围内的数据传输,极大地扩展了无人机的作业范围,同时保持了通信的连续性和可靠性,这对于实时监控电力设施的健康状态和提前发现潜在故障至关重要。其还具有极低的功耗,这对于装备在无人机上的巡检装置来说是一个巨大的优势,因为它可以显著延长无人机的作业时间和巡检周期,减少因电池更换或充电而所需的停机时间,从而提高巡检效率。此外,LoRa技术支持的双向通信功能使无人机接收地面指令并根据操作需求调整巡检路线或行为,增加了巡检过程的灵活性和响应速度^[1]。

2 基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置局放检测优化方法

2.1 数据处理与分析算法

在基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置局放检测优化研究中,数据处理与分析算法的开发是关键,可以确保无人机搜集的大量局放数据被准确、快速的分析和处理。该研究集中于实现一个高效的实时数据处理算法,即动态阈值适应算法(Dynamic Threshold Adaptation Algorithm, DTAA)。该算法专为处理和分析由无人机在配网巡检中搜集的局放数据而设计,其能实时分析数据,自动调整阈值,以识别局放信号,从而提高检测的准确性和效率。DTAA 定义了一个基于数据变异性的动态阈值 T_d ,其计算如式(1)所示:

$$T_d = \mu + k \times \sigma \quad (1)$$

其中, μ 表示局放信号强度的平均值, σ 表示标准差,而 k 是一个经验系数,根据历史数据调整以最佳化系统响应。

接下来,算法利用滑动窗口方法来实时更新这些统计参数,如式(2)、式(3)所示:

$$\mu_{new} = (1 - \alpha) \times \mu_{old} + \alpha \times x_{new} \quad (2)$$

$$\sigma_{new}^2 = (1 - \alpha) \times \sigma_{old}^2 + \alpha \times (x_{new} - \mu_{new})^2 \quad (3)$$

其中, α 是平滑系数, x_{new} 是新收集的数据点。这种递归计算方式允许系统在不断接收新数据时迅速调整平均值和方差,确保阈值 T_d 能反映最近的数据特性^[2]。

2.2 实时监测与动态调整技术

在基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置局放检测优化研究中,实时监测与动态调整技术是核心组成部分,其致力于通过先进的计算方法实现无人机在执行局放检测任务时的最大效率和最优性能。该研究开发了一种名为实时自适应控制算法(Real-time Adaptive Control Algorithm, RACA),专为无人机配网巡检中的动态环境变化和实时数据处理需求设计。RACA 的设计核心在于实时调整无人机的飞行参数和巡检策略以适应环境变化和检测需求。算法基于实时数据流来动态更新无人机的行为,优化其巡检路线和检测操作,具体实现过程如下。算法定义实时飞行调整参数 $\theta(t)$,如式(4)所示:

$$\theta(t) = \theta(t-1) + \Delta\theta(t) \quad (4)$$

其中, $\Delta\theta(t)$ 是基于当前检测数据和预定义飞行规则计算得到的调整量。调整量的计算依据如式(5)所示:

$$\Delta\theta(t) = K \times (d_{target} - d_{current}) \quad (5)$$

其中, d_{target} 是目标检测点的预定距离, $d_{current}$ 是无人机当前与目标点的实际距离, K 是比例控制常数,用于调节调整幅度,确保无人机快速而准确地达到最佳检测位置。

此外, RACA 通过实时分析环境数据,如天气条件、空气湿度和电磁干扰等,来进一步优化算法的响应,如式(6)所示:

$$\Delta\theta(t) = \Delta\theta(t) \times f(E) \quad (6)$$

其中, $f(E)$ 是一个根据环境因子 E 调整的函数,它可以根据实时环境的变化自动调节无人机的飞行和巡检参数,确保在不同环境下都能维持最优的检测效果和飞行效率。

2.3 能耗管理与飞行效率优化

在基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置中,能耗管理与飞行效率的优化是实现高效局放检测的关键。该部分研究集中于如何通过先进的算法和技术策略减少无人机在执行电力系统巡检任务时的能量消耗,同时提高其飞行和操作效率

本文采用基于 LoRa 的无人机系统,在巡检中通过算法优化飞行路径,该算法考虑了地形、气象条件和预定任务的优先级,自动规划出能耗最低的飞行路线。此外,通过实时监控无人机的能量状态和外部环境,系统能动态调整飞行速度和高度,以适应不同的操作需求和环境变化,进一步降低能耗。飞行效率的优化不仅包括物理路径和操作调整,还涉及到无人机本身的设计改进。通过使用更高效的电池技术和改进的动力系统,如采用轻质材料制造无人机机身和优化螺旋桨设计,可以提升无人机的飞行时间和稳定性。此外,结合 LoRa 通信技术的低功耗特性,系统设计中还包括了智能电源管理模块,该模块能根据任务负载和通信需求自动调整能源分配,确保在不牺牲通信效能和数据处理能力的前提下,最大限度地延长无人机的续航时间^[3]。

2.4 故障预测与健康评估

在基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置局放检测优化研究中,故障预测与健康评估模块是重要环节,它利用无人机收集的数据,通过先进的分析技术来预测电力设施的潜在故障并评估其健康状态。该部分研究集中于开发和应用的复杂的算法,以实现电力系统的早期故障诊断,这些算法能分析由无人机携带的传感器收集到的数据,如局部放电信号、温度变化和电流异常等,从而识别出可能导致系统故障的迹象。采用基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置进行局放检测时,数据的实时传输能力特别关键,因为这关系到故障预测系统的响应时间和准确性。LoRa 通信技术在其中有重要作用,它不仅保证了巡检过程中数据的连续性和完整性,还支持从偏远或难以接近的地区传输大量数据到分析中心。通过对这些数据

的深入分析,可以使用机器学习模型来识别出电力设施的异常模式,这些模型根据历史数据训练而成,并能随着新数据的输入不断优化其预测准确性。此外,故障预测与健康评估还涉及到多维度的数据评估,包括时间序列分析、频谱分析和统计学方法。这些方法结合无人机携带的多种传感器数据,能提供设备运行状态的全面视图,并对其进行健康评级^[4]。

3 技术应用测试

在本次测试中,选择的数据集主要是实测数据,这些数据通过配备 LoRa 通信模块的无人机在模拟电力网络环境中进行巡检时收集而来。此模拟环境涵盖了多种电力设施和不同的气象条件,以确保数据的多样性和覆盖广泛的测试场景。所有数据均直接用于系统功能测试,没有用于任何形式的模型训练,因为研究重点在于评估系统在实时操作中的表现,而非预先训练的数据分析模型。总计处理和分析了约 1 TB 的数据,这些数据分别来自不同的测试场景和条件,确保了测试结果的广泛性和有效性。为确保数据使用的一致性和测试结果的准确性,实验没有将数据分组进行不同的测试,而是选择了在一致的测试环境下重复进行 5 次完整的系统功能测试,测试指标如下。(1)局放检测准确率:衡量无人机检测系统准确识别局部放电事件的能力。(2)数据传输延迟:从无人机检测到局放事件到数据传输完成并被地面站接收的时间。(3)飞行稳定性评分:基于无人机在执行巡检任务期间的飞行平稳度和操作的可控性。(4)系统能耗:无人机完成一次完整巡检任务所消耗的总能量,以瓦时计。测试数据如表 1 所列。

测试结果显示了系统在重复测试中展现的高度一致性和可靠性。局放检测准确率普遍高于 97%,表明系统的检测技术非常精确。数据传输延迟维持在 115~120 ms,符合实时性要求,确保及时的故障响应。飞行稳定性评分在所有测试中均高于 9 分,显示无人机操作的高度稳定性。系统能耗在各次测试中有轻微波动,但总体保持在较低水平,证明了能耗优化措施的有效性。这些结果不仅验证了系统

设计的合理性和先进性,也显示了其在实际应用中的高效性和可靠性^[5]。

表 1 测试数据

测试编号	局放检测准确率/%	数据传输延迟/ms	飞行稳定性评分(1-10)	系统能耗/Wh
1	98.56	120.45	9.32	150.34
2	99.47	115.78	9.67	145.95
3	97.85	118.32	9.15	152.20
4	98.93	117.00	9.40	148.75
5	99.25	113.89	9.55	143.60

4 结语

采用基于 LoRa 通信的无人机配网巡检装置进行局放检测,不仅填补了电力系统巡检在通信距离和数据处理效率上的空白,且推动了无人机巡检技术在电力行业的广泛应用。这种技术的实施,将极大地提高巡检数据的实时性和准确性,使电力运维团队能快速响应电力系统中的各种问题,优化维护和修复工作的时效性和有效性。未来,随着无人机和 LoRa 技术的不断进步和成熟,该巡检技术将在全球范围内得到更广泛的应用,为电力系统的稳定运行提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 张博,钱瑞琦,李佩,等.智能变电站基于 LoRa 通信熔断器监测方案[J].中国新通信,2022,24(6):3.
- [2] 胡悦,孙云晓,李岩,等.基于 LoRa 网关的中继选择优化算法研究[J].电力工程技术,2020,39(6):6.
- [3] 李小婉,马立静.配网无人机智能巡检专利技术现状[J].中国科技信息,2024(6):24-26.
- [4] 梁皓,陈魁荣,杜琦敏,等.配网无人机巡检仿真训练系统的设计与开发[J].科技视界,2023(8):10-12.
- [5] 沈宗云.探讨多旋翼无人机自动巡检技术在中压配网线路故障查找中的作用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(2):4.