

# 基于 AI 红外技术的无人机自主检测系统优化与应用探究

陈益超 曹子唯 王子涵 魏力超 隋佳阔

国网浙江省电力有限公司杭州供电公司, 浙江杭州, 310000;

**摘要:** 随着智能电网建设的深入推进, 输电线路的安全稳定运行至关重要。复合绝缘子作为输电线路的关键部件, 其运行状态直接影响电网的可靠性。传统的人工巡检方式存在效率低、漏检率高、安全风险大等问题, 已难以满足现代电网发展的需求。本研究提出一种基于 AI 红外技术的无人机自主检测系统, 通过在边缘侧部署动态 AI 智能算法, 为输电线路复合绝缘子等重要部件的红外巡检提供实时智能判据, 并实现红外巡检数据的自动归类与高效持续分析, 有效避免因漏判发热缺陷导致的复合绝缘子断串等电网故障事故。同时, 设计开发了一套集 AI 智能算法与移动作业于一体的便携式一体式集成设备箱, 实现了自动定位、温度数据提取及实时健康分析, 深度融合红外图像缺陷识别技术和边缘计算, 显著提高了无人机现场红外巡检的灵活性与响应速度。实验结果表明, 该系统在复合绝缘子发热缺陷检测中具有较高的准确率和可靠性, 为输电线路巡检的智能化、高效化提供了有力的技术支撑。

**关键词:** AI 红外技术; 无人机; 自主检测系统; 边缘计算; 复合绝缘子

**DOI:** 10.69979/3060-8767.25.03.038

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

输电线路为电力系统的重要部分, 运作可靠稳固极为重要, 可以确保电力常规供应。复合绝缘子质量轻便、抗污能力优异, 在输电线路中获得普遍使用, 成效良好。长期运作中, 复合绝缘子或许由于衰老、电晕腐蚀、机械损伤等原因产生过热问题, 状况严峻。假如未迅速察觉和解决, 或许导致线路断裂等重大电网故障, 危害电力系统可靠运作。传统输电线路检查主要依赖人工和直升机。人工检查要求工作人员在野外长期作业, 工作强度高, 受到地形、天气干扰大, 易于忽视问题。

直升机巡检效率高, 但成本大, 存在一定安全隐患。无人机技术进步很快, 巡检输电线路用无人机成为主要方式。无人机机动性好、成本低、操作容易且特点明显, 优势突出, 能很快到达需要巡检的地方, 采集清楚的图像和数据。现在无人机巡检首要依赖手动解析收集至的图像和信息, 具备信息效能低、个人性高诸难题。怎样运用前沿智能科技对无人机收集的红外图像开展即时智慧解析, 达成复合绝缘子发热缺陷的自主探查和辨识, 为提升无人机巡检效能和精确性的核心。AI 红外技术的发展为了处理这一问题供给了创新的思路和方法。借助于无人机之上配置 AI 智能算法, 可以对红外图像实施即时加工以及解析, 迅速精确地识别出复合绝缘子的

发热缺陷, 为了输电线路的安全运行给予强有力的保证。

### 1.2 国内外研究现状

#### 1.2.1 国外研究现状

国外无人机人工智能红外检测技术研究起步时间较早, 收获许多研究成果。美国电力公司 APCO 利用无人机, 装备红外热像仪和人工智能算法, 检查输电线路设施, 准确找出线路设备发热问题。设备解析红外图像数据, 把检查结果发送给工作人员, 提升检查速度和精准度。欧洲多家研究机构和公司全力推动无人机人工智能红外检测技术研究, 德国西门子公司开发无人机检查设备, 采用尖端机器学习算法和图像处理技术, 随时监控并评估输电线路设备的工作情况。

#### 1.2.2 国内研究现状

国内无人机 AI 红外检测技术研究起步时间比国外晚, 最近几年发展速度很快, 成果也很明显。国家电网公司和南方电网公司这些企业争先恐后地应用和推广无人机巡检技术, 慢慢把无人机巡检整合进输电线路的巡检体系。多家科研机构 and 高校积极开展相关研究项目, 比如清华大学和华中科技大学这些单位, 针对无人机红外图像的处理和分析技术进行了非常深入细致的研究, 开发出一系列利用深度学习技术的红外图像缺陷检测算法。现在国内无人机 AI 红外检测系统在实际使用中还存在一些问题, 比如算法的实时性和准确性需要

改进和完善,硬件设备的集成度和便携性不够理想,系统的可靠性和稳定性还需要进一步验证和加强。进行依托AI红外技术的无人机独立检测系统优化和应用研究,拥有重大的理论意义和实际应用价值。

### 1.3 研究内容与方法

#### 1.3.1 研究内容

探讨核心集中若干领域进行任务,1 探讨输电线路绝缘子发热问题引发缘由、红外特征,构建绝缘子发热问题红外图像数据集合。2 探讨边缘侧即时智能计算方法,优化框架,增强计算方法辨识绝缘子发热问题的准确性、及时效能。3 开发设计轻便型集成式设备箱,实现智能计算方法融合便携操作的协同协作,增强无人机现场红外检查的灵活水平、反应速率能力。4 实施试验验证、运用探讨,探讨系统实际输电线路检查的表现,归纳运用体会、发生的状况。

#### 1.3.2 研究方法

用理论分析、仿真实验和实地应用结合的方法开始工作。翻阅许多相关文献和资料,仔细研究复合绝缘子发热缺陷的检测技术和人工智能红外技术,清楚设定具体的工作目标和方向。利用仿真实验改进和确认边缘侧的实时智能算法,选出最好的算法模型和参数。经过改进的系统在输电线路的实地巡查任务中进行现场测试和应用研究,全面检查系统的可靠性和高效性能,确保工作顺利推进。

## 2 无人机 AI 红外自主检测系统架构设计

### 2.1 系统总体架构

无人机AI红外自主检测系统首要经由无人机平台、红外成像模块、边缘计算模块、数据传输模块和地面控制中心等部分构成。无人机平台充当载体装载红外成像模块和边缘计算模块,掌管飞行巡检。红外成像模块收集复合绝缘子的红外图像,获得温度分布信息。边缘计算模块融合动态 AI 智能算法,即时处置解析红外图像,探查发热缺陷。数据传输模块把探查结果和图像数据传递到地面控制中心。地面控制中心掌管计划无人机飞行路径、接受储存数据且评定探查结果。

### 2.2 无人机平台选型与设计

#### 2.2.1 无人机平台选型

选用多旋翼无人机作为平台,其结构简单、操作灵活、悬停稳定,适合复杂地形环境巡检。经市场比较,

选用某品牌四旋翼无人机,主要技术参数包括:轴距 1000mm,最大起飞重量 15kg,最大载荷 5kg,续航时间 30min,最大飞行速度 15m/s,抗风等级 6 级。

#### 2.2.2 无人机平台设计

针对红外巡检需求,在无人机机身设计固定支架,确保红外成像模块和边缘计算模块安装牢固。同时优化电源系统,增加电池容量,延长续航时间以满足长时间巡检作业。

### 2.3 红外成像模块选型与设计

#### 2.3.1 红外成像模块选型

采用非制冷型红外热像仪作为红外成像模块,其成本低、体积小、功耗低,适合无人机搭载。所选型号技术参数为:分辨率  $640 \times 512$ ,测温范围  $-20^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ ,测温精度  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  或  $\pm 2\%$ (取较大值),帧频 30Hz,视场角  $35^{\circ} \times 26.5^{\circ}$ 。

#### 2.3.2 红外成像模块设计

为提升成像质量和检测精度,选用高透光率、高分辨率的红外镜头,并在热像仪前端安装防护罩,防止灰尘、雨水等外界因素损坏设备,保障其在恶劣环境下正常工作。

### 2.4 边缘计算模块选型与设计

#### 2.4.1 边缘计算模块选型

选用基于 NVIDIA Jetson 系列的边缘计算平台,其具备高性能 GPU 和 CPU,支持深度学习算法快速运行,且低功耗、体积小,适合无人机集成。以 NVIDIA Jetson Nano 为例,其参数为:四核 ARM Cortex-A57 CPU,128-core NVIDIA Maxwell GPU,4GB LPDDR4 内存,16GB eMMC 存储,功耗 5W。

#### 2.4.2 边缘计算模块设计

在边缘计算模块部署动态 AI 智能算法,对算法进行优化裁剪以适配硬件资源,提高运行效率和准确性。设计接口和通信协议,实现与无人机平台、红外成像模块和数据传输模块的数据实时准确传输。

### 2.5 数据传输模块选型与设计

#### 2.5.1 数据传输模块选型

采用无线通信模块实现无人机与地面控制中心的数据传输,支持 2.4GHz 和 5.8GHz 双频段通信,最大传输速率 300Mbps,通信距离 5km,满足红外图像和检测结果的传输需求。

## 2.5.2 数据传输模块设计

优化无线通信模块天线设计,采用全向天线与定向天线结合的方式,增强复杂环境下的传输可靠性和抗干扰能力。对数据传输协议进行加密处理,确保数据安全完整。

## 2.6 地面控制中心设计

地面控制中心由计算机、显示器、键盘、鼠标等设备组成,安装专用地面控制软件。软件具备无人机飞行控制、路径规划、数据接收存储及分析功能,可实时显示无人机飞行状态、红外图像和检测结果,便于巡检人员监控管理输电线路。

## 3 边缘侧动态 AI 智能算法优化

### 3.1 算法原理与流程

边缘侧动态 AI 智能算法依托深度学习,用卷积神经网络 CNN 为基础模型。算法流程为,红外成像模块采集复合绝缘子红外图像并传输到边缘计算模块。对图像执行预处理,涵盖增强、降噪、归一化等操作来提高质量。把预处理后的图像导入 CNN 模型,获取解析特征,呈现缺陷位置、类型和严重程度等检测结果。经由数据传输模块将结果回传到地面控制中心。

### 3.2 算法优化策略

#### 3.2.1 数据增强

通过图像翻转、旋转、缩放、平移、噪声添加等方法对训练数据集进行增强,生成大量新样本,扩大数据集规模,提高模型泛化能力,减少过拟合现象。

#### 3.2.2 模型轻量化

使用深度能分离卷积、通道剪枝等技术对 CNN 模型实施轻量化设计,降低参数量及计算量,并且维持检测精度。改进之后模型参数量降低 50% 超过,计算速度提高 30% 超过,符合边缘计算模块的即时运作需求。

#### 3.2.3 动态调整算法参数

设计动态参数调整机制,通过实时监测红外图像的亮度、对比度等特征,自动调整算法阈值、卷积核大小等参数,提升算法对不同环境和光照条件的适应性和检测准确性。

### 3.3 算法训练与验证

#### 3.3.1 数据集构建

创建复合绝缘子发热缺陷红外图像数据库,包含多

种类型、严重程度不同的缺陷图像和正常图像,一共 5000 张,分为训练集 3500 张、验证集 1000 张、测试集 500 张。所有图像都经人工标注,清楚记录缺陷位置和种类。

#### 3.3.2 训练过程

使用 Python 和 TensorFlow 框架训练算法,采用随机梯度下降算法 (SGD) 优化,损失函数为交叉熵损失函数。设置训练批次大小 32,轮数 100 轮,实时监测训练损失和验证损失,当验证损失不再下降时保存最优模型参数。

#### 3.3.3 验证结果

在测试集上验证模型性能,结果显示:准确率 95.2%,召回率 93.5%,F1 值 94.3%,表明算法能够有效检测复合绝缘子发热缺陷。

## 4 便携式一体式集成设备箱设计

### 4.1 设备箱总体设计

轻便整体融合设备箱用铝合金作为材质,同时具有重量轻盈、强度高、抗腐蚀特性。内部结构组合无人机平台、红外成像模块、边缘计算模块、数据传输模块和电源模块,达成设备统一设计,利于携带和现场作业。设备箱使用分级布局,各模块借助抗震减震设计稳固,保证运输和作业过程中设备稳固。

### 4.2 设备箱功能设计

设备箱具有自动定位功能,通过内置 GPS 模块实现无人机巡检时记录位置信息。整合温度数据提取模块,方便从红外图像中获取温度分布数据。安装健康分析软件,利用 AI 算法结果来评估复合绝缘子的运行状态,生成健康报告。设备箱设计便于拆装的接口,实现在五分钟内完成设备安装,提高现场巡检的工作效率。

### 4.3 设备箱性能测试

对设备箱实施环境适配性测试,涵盖高温 60℃、低温 20℃、潮湿湿度 90%和振动环境下的稳定性测试。设备箱内各模块皆可以稳定运行,红外图像采集和算法检测精度没有受到明显干扰,证实了设备箱的稳固性和环境适配性。

## 5 结语

输电线路复合绝缘子需要智能化的红外巡检,开发一套完善的无人机检测系统,运用 AI 红外技术,结合

边缘侧实时算法优化技术和便携式硬件融合方案,完成图像采集、缺陷识别、健康评价的全流程无人化操作。实验数据表明,无人机检测系统识别复合绝缘子发热缺陷的准确率达到95.2%,便携式设备箱的现场部署功能方便实用,提升巡检效率和响应速度非常显著,为电网设备状态检修提供精准依据。创新点包括以下几个方面,首先,开发边缘侧实时AI算法架构,解决传统云端分析的延迟问题,达成红外图像的无人化分析,效果良好。

设计制造设备箱,把算法和硬件整合到一起,改进传统无人机巡检必须靠后端处理数据的做法,达到复杂地形高难度作业的需求。创建数据库,记录复合绝缘子红外特征,算法训练使用精确的规范化样本数据,加强缺陷识别的适用性,达到高标准水平。接下来继续探索几个方向,加强算法识别复合绝缘子伞裙破损、芯棒断裂等问题的能力。完善多架无人机巡检的方法,扩大大范围输电网络巡检的覆盖面积和速度。试验设备箱在暴

雨、强风等极端天气下的可靠性,满足高要求,优化设备设计,适合不同环境条件。研究替智能电网巡检技术发展供应实际并且可执行的技术方法,研究成果应用于检验变电站设备、输电线路金具等等电力设施的运行状况。

### 参考文献

- [1]朱睿,牛金帅,王新伟. AI红外相机监测系统在野生动物深入监测与保护中的研究与应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2023(4):5.
- [2]张径侨. 基于嵌入式AI技术的输变电红外在线监测系统研究[J]. [2025-04-23].
- [3]张一欣. 一种基于AI算法的糖类产品近红外检测方法及其系统:202311452179[P][2025-04-23].

作者简介:陈益超(1994.12),男,汉族,浙江省绍兴市人,硕士研究生,研究方向:电力系统及其自动化。