

基于改进 YOLOv8 与边缘计算的高压输电线路智能检测方法研究

王晓宇, 黄仁宇, 张义广
南昌大学共青学院, 江西 共青城 332020
DOI: 10.61369/TACS.2025130034

摘 要 : 高压输电线路的安全稳定是电力系统正常运行的重要保证, 传统人工巡检效率低且风险高。因此本文提出了一种基于改进 YOLOv8 模型与边缘计算的高压输电线路异常智能检测方法。本方法通过改进全局注意力机制和增强多尺度特征模块, 增强对复杂背景下的小目标异物检测能力; 其次采用 "端 - 边 - 云" 协同架构, 在边缘设备上实时监测, 通过云端进行深度分析与模型更新。实验结果表明, 本文方法在自建数据集上达 95.5% 的精度, 召回率提升至 91.9%, 检测精度和推理速度都能够满足实时检测需求, 为高压输电线路智能巡检提供了技术支持。

关 键 词 : 高压输电线路; 目标检测; YOLOv8; 边缘计算; 注意力机制

Research on an Intelligent Detection Method for High-voltage Transmission Lines Based on Improved YOLOv8 and Edge Computing

Wang Xiaoyu, Huang Renyu, Zhang Yiguang
Gongqing College of Nanchang University, Gongqingcheng, Jiangxi 332020

Abstract : The safety and stability of high - voltage transmission lines are crucial for the power system, but traditional manual inspections are inefficient and risky. The paper proposes an intelligent anomaly detection method for high - voltage transmission lines using an improved YOLOv8 model and edge computing. It enhances the detection of small foreign objects in complex backgrounds by improving the global attention mechanism and strengthening the multi - scale feature module. A 'device - edge - cloud' collaborative architecture is adopted, with edge devices for real - time monitoring and the cloud for deep analysis and model updates. Experimental results show the method achieves 95.5% accuracy on the self - built dataset, with recall improved to 91.9%. Both detection accuracy and inference speed meet real - time detection requirements, providing technical support for intelligent inspection of high - voltage power transmission lines.

Keywords : high-voltage transmission lines; object detection; YOLOv8; edge computing; attention mechanism

引言

高压输电线路稳定作为电力系统的安全保证。然而, 线路通常穿越地形非常复杂的山区、林区等区域, 面临覆冰、强风、外力破坏等多种风险。传统的巡检方式主要依赖人工巡视或、无人机巡检, 存在劳动强度大、效率低、安全风险高等问题。近年来, 随着计算机视觉技术的发展, 基于深度学习的目标检测算法为电力巡检的智能化转型提供了新的解决方案。无人机 (UAV) 以其灵活机动、成本较低的优势, 已成为电力巡检的重要载体。将深度学习算法嵌入无人机平台或地面分析系统, 实现输电线路缺陷与隐患的自动识别, 已成为行业研究热点。尽管当前研究已取得一定进展, 但仍面临一些挑战: (1) 复杂背景下小目标检测精度不足; (2) 模型在遮挡、多尺度目标情况下泛化能力有限; (3) 现有系统多为 "全自动" 或 "全手动" 模式, 缺乏有效的人机协同机制; (4) 前端采集与后端分析割裂, 实时性有待提升。

针对上述问题, 本文提出了一种改进的高压输电线路视觉智能检测方法, 主要贡献包括: (1) 设计了基于改进 YOLOv8 的目标检测模型, 引入 GAM 注意力机制和特征增强模块, 提升检测精度; (2) 实现了 "端 - 边 - 云" 协同架构, 在边缘设备上部署轻量化模型, 平衡检测精度与实时性需求。

一、相关工作

当前主流目标检测算法^[1-2]主要分两阶段（CNN 系列）和单阶段（如 YOLO 系列）。两阶段算法先通过 RPN 生成候选区域，再分类和定位回归，双阶段检测精度高，在复杂场景和小目标定位表现好，但计算开销大、速度慢。单阶段算法将检测视为端到端回归问题，直接预测目标类别和位置，检测速度快，能够实时性检测。但实际应用中选择算法需平衡精度、速度以及计算资源。高压输电线路巡检需要搭载在边缘设备上，不仅要考虑检测精度还要兼顾检测速度，因此双阶段检测方法并不是适用于本方法；在移动平台实时检测，采用先进单阶段算法（如 YOLOv8）或轻量级模型更合适^[3]。因此本文采用 YOLOv8 作基础框架，因其精度与速度平衡好且便于在边缘设备部署^[4-7]。

二、相关方法

（一）系统总体架构

本文提出的高压输电线路视觉智能检测系统采用“端-边-云”三层协同架构：端侧（感知层）：由巡检无人机和固定监测点构成，搭载高清变焦相机、红外热像仪及 RTK 定位模块，负责采集可见光与红外视频流。边侧（分析层）：在变电站或巡检站部署边缘计算服务器，运行轻量化目标检测模型，对明显的、高置信度的缺陷进行实时识别与本地预警^[8-9]。

（二）改进的 YOLOv8 检测模型

本文基于 YOLOv8 模型进行以下改进：

1. GAM 注意力机制

为解决遮挡问题，将 GAM^[10-11] 注意力机制集成到主干网络中。GAM 通过保留通道和空间信息来丰富跨通道和空间维度之间的交互。具体而言，通道注意力子模块采用 3D 置换以保留三维信息，然后使用两层多层感知器增强跨维度依赖关系；空间注意力模块通过两次卷积融合空间信息。

2. 多尺度特征增强模块

为了增强多尺度特征，本文将 SPPCSPC 模块替换 SPPF 模块。SPPCSPC 模块采用多个不同尺度进行最大池化操作再进行标准卷积操作，最终将特征拼接成综合特征向量以提高模型对不同尺度目标的检测能力。

3. 损失函数优化

为了解决高质量样本失衡，本文采用 Focal-EIoU 损失^[12] 函数替代原 CIoU 损失。在回归预测边界框时，Focal-EIoU 可以增强高质量样本的权重，以减少低质量样本的影响，使模型快速收敛。

（三）边缘计算部署

为能在边缘设备上高效部署，本文采用轻量化模型，且让检测精度达到 85% 以上。再将轻量化模型部署到边缘化设备上，达

成端到端的实时检测。

三、实验与结果

（一）数据集与评估指标

本文采用开源 RailFOD23 输电线路异物检测数据集，该数据集主要有垃圾、树枝、鸟巢、风筝、鸟类和气球这六类物体，且具有异物遮挡、多类型、大规模变化以及背景复杂等特点。本文评估指标有 mAP@0.5、mAP@0.5:0.95、精确率、召回率、参数量、GFLOPS 和推理速度。

（二）实验结果与分析

1. 消融实验

为了本文方法的有效性，本文做了三组消融实验，如表 1 所示：

模型版本	mAP@0.5(%)	mAP@0.5:0.95(%)	召回率 (%)	参数量 (M)	推理速度 (FPS)
原 YOLOv8m	92.8	76.4	85.9	3.2	68.2
+GAM	93.5	77.8	87.2	3.3	66.5
+SPPCSPC	94.6	79.1	89.5	3.4	64.8
+Focal-EIoU	95.5	80.4	91.9	3.4	64.2
本文方法	95.5	80.4	91.9	3.5	65.5

从表中可以看出，GAM 注意力机制使 mAP@0.5 提升了 0.7 个百分点；SPPCSPC 模块进一步提升了模型的整体性能；Focal-EIoU 损失函数则显著提高了召回率，减少了漏检率。

2. 与其他算法对比

将本文提出的改进 YOLOv8 模型与当前主流目标检测算法进行对比，如表 2：

表 2：与主流算法的性能对比

模型	mAP@0.5(%)	mAP@0.5:0.95(%)	召回率 (%)	推理速度 (FPS)
Faster R-CNN	89.4	70.5	82.1	12.5
YOLOv5	90.2	72.4	83.6	45.2
YOLOv7	91.6	74.8	84.3	38.7
YOLOv8	92.8	76.4	85.9	68.2
本文方法	95.5	80.4	91.9	65.5

实验结果表明，本文提出的方法在保持较快推理速度的同时，各指标均优于对比算法，尤其在召回率上表现突出，能够有效降低漏检率。

四、总结

本文提出基于改进的 YOLOv8 与边缘计算的高压输电线路智

能实时检测方法，通过算法改进和边缘计算部署创新，解决复杂环境下小目标异物检测难题。实验表明该方法在检测精度和召回率上优于主流算法，实际部署表现出色，能够为高压输电线路智能巡检提供可靠技术支撑。

参考文献

[1] 张学林, 闵悦, 熊金泉, 等. 基于 YOLOv8 改进算法的织物瑕疵检测方法 [J]. 毛纺科技, 2025, 53(3):145-150.

[2] 陈腾杰, 李永安, 张之好, 等. 基于改进 YOLOv8n+DeepSORT 的带式输送机异物检测及计数方法 [J]. 工矿自动化, 2024, 50(8):1-8.DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2024070043.

[3] 周思, 李俊轩, 朱俊, 等. 基于改进 YOLOv8 的输电线路绝缘子缺陷检测 [J]. 江西电力, 2025, 49(05):41-46.

[4] 韩睿, 戴哲仁, 蒋鹏, 等. 基于改进 YOLOv8 的电力场景通用缺陷检测模型 [J]. 浙江电力, 2024, 43(4):113-120.

[5] 姜香菊, 冯海照, 李涛. 基于 FasterNet 和 YOLOv8s 改进的铁路异物入侵快速检测方法 [J]. 北京交通大学学报, 2024, 48(05):39-48.

[6] 伍钰婷, 宋先琴, 伍继红, 等. 基于深度学习的输电线路检测综述 [C]// 中国电力技术市场协会. 2024 年电力行业技术监督专业技术交流研讨会优秀论文集. 贵州电网有限责任公司安顺供电局; , 2024:751-756.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.050567.

[7] 顾明煜. 基于机器学习的架空输电线路绝缘子缺陷检测技术 [J]. 电力设备管理, 2024, (19):61-63.

[8] 夏玮泽. 基于深度学习的输电线路多目标检测算法研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2024.

[9] 陈江丽. 面向电力巡检的绝缘子小目标缺陷检测算法研究 [D]. 南京信息工程大学, 2024.DOI:10.27248/d.cnki.gnjqc.2024.000215.

[10] 回媛媛. 基于 YOLOv8 的改进型架空输电线路缺陷检测算法研究 [D]. 延边大学, 2024.DOI:10.27439/d.cnki.gybdu.2024.000608.

[11] 刘博文. 基于深度学习的输电线路小目标检测方法研究 [D]. 郑州轻工业大学, 2024.DOI:10.27469/d.cnki.gzzqc.2024.000120.

[12] 梁文韬. 基于深度学习的输电线路图像检测技术研究 [D]. 西安电子科技大学, 2024.DOI:10.27389/d.cnki.gxadu.2024.002243.