

基于 YOLOv10-s 的变电站智能门禁系统研究

凌 旭 梁玉亮

(国网江苏省电力有限公司兴化市分公司)

摘要：变电站作为电力系统的核心枢纽，其安全管控至关重要。针对现有变电站安全意识薄弱、外来施工人员管控困难等问题，本文提出基于 YOLOv10-s 的智能门禁系统。该系统通过优化调整 YOLOv10-s 算法，引入 BiFPN 特征融合网络，显著提升了对安全帽、工作服及人脸的检测精度和速度。系统设计包括 YOLOv10-s 检测网络、人脸识别网络和基于树莓派 4B 的硬件部署，实现了与后端数据库的高效交互。实验结果表明，改进后的检测模型在 mAP 达到了 88.94%，FPS 提升至 56.63 张 /s，人脸识别模型准确度高达 94.98%，FPS 提升至 65.77 张 /s，有效强化了变电站的安全管理能力。

关键词：目标检测；变电站；人工智能；YOLOv10-s

0 引言

变电站是电力系统的“交通枢纽”，涉及电网的供电安全、大范围用户的用电安全以及能源安全。实现提供安全可靠经济优质的电力供应，变电站的安全管控必不可少。根据《国家电网公司电力安全工作规程（变电部分）》规定，一切闲杂人员禁止进入变电站，钥匙借用给经批准巡视、检修及施工队伍负责人时应该登记签名，巡视当日工作结束后交还。而现在，变电站从业人员安全意识薄弱、外来施工人员难以管控、钥匙管理混乱，外来施工人员甚至可以不经报备、未经许可随意进入变电站，这对人身安全和设备安全带来了极大的隐患^[1]。

根据《国家电网公司发展战略纲要》，国网规

划 2020~2025 期间，共计新增改造合计超过 7400 座智能变电站^[2]。智能门禁系统已经逐渐在智能变电站中开始应用，主要实现的功能包括刷卡进入、指纹识别、人脸识别等。随着科技的发展，智能门禁系统还将增加如语音识别、无接触开门、防盗报警等功能，提高变电站管理的便捷性和规范性。智能门禁系统的使用，能够解决钥匙管理混乱的问题，能够管控外来施工人员的出入，助力变电站实现规范化管控。

本文设计了一种基于 YOLOv10-s^[3] 的变电站智能门禁系统，将 YOLOv10-s 神经网络模型进行优化调整，不仅实现了人脸识别，还能够识别是否正确穿戴安全帽与工作服。对于没有权限、未正确穿戴

安全帽与工作服的人员禁止进入变电站，对人身安全与设备安全提供一道保障。

1 YOLOv10 算法模型

YOLOv10 是清华大学发布的最新目标检测算法，是一种端到端的算法模型，具有识别精度高、检测速度快的优势，并且极大地缩减了计算量，非常适用于部署在移动端的设备上。YOLOv10 的组成分为主干网络、颈部网络、轻量级分类头，主干网络用于提取图像的特征，颈部网络用于分析不同尺度的图像特征，并将不同尺度的特征相融合，轻量级分类头会对图像中的对象生成预测结果，通过一对一预测头生成每个对象最佳的预测结果。YOLOv10 的主干网络采用增强版的 CSPNet^[4]，能够在保持低参数量的同时提取足够的图像特征。颈部网络采用 PAN^[5] 结构，通过自顶向下的特征融合提取不同尺度特征层的信息，有利于对图像中大目标和小目标的检测。轻量级分类头采用的是一对一预测，原本的一对多预测存在大量的冗余计算，而一对一预测对于同一个目标，只给出一个分类结果，有助于实现端到端的部署。

智能门禁系统所需的是准确快速地识别进站人群，分析是否拥有进站权限、人员的精神状态、安全帽与工作服的穿戴是否完善。实现这些任务模型需要能够对人物面部细节进行抓取，识别速度快，便于部署。针对以上这些需求，最适用的是 YOLOv10-s，这是 YOLOv10 中兼顾了速度和精度的模型，易于实现变电站的智能门禁系统。YOLOv10-s 将用于检测出人脸位置、检测安全帽与工作服，随后将截取人脸图像送入人脸识别库，识别是否已经给予授权进入变电站，最后判断是否能够开启变电站大门，门禁系统的主要流程如图 1 所示。

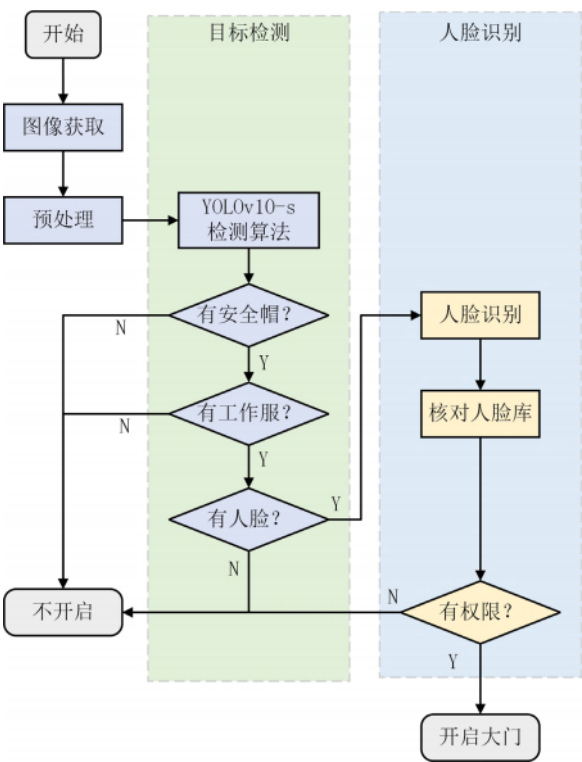


图 1 基于 YOLOv10-s 的变电站智能门禁系统流程图

2 系统设计

2.1 改进 YOLOv10-s 检测网络

YOLOv10-s 的数据量较低，对设备需求较低，但是当部署在移动设备上时，需要优化调整。此外，YOLOv10-s 对局部细节特征的提取存在一些缺陷，需要针对服装提取细节特征。针对上述问题，本文在 YOLOv10-s 的基础上引入 BiFPN^[6] 融合特征网络，以更高效率的特征提取，增强对服装细节特征的提取，并且将模型进行进一步的轻量化，以更低的参数量检测所需目标。

BiFPN 特征融合网络包括两个主要结构：自底向上和自顶向下，并且通过权重调整不同尺度特征层的特征提取效果，如图 2 所示。BiFPN 将 P3~P7 的特征层进行自顶向下和自底向上特征融合的同时，还在原始的特征图和输出的特征图之间添加了

一次融合，以便于将原始的特征传递到输出前的特征图中，避免多次融合造成细节特征的丢失。深层的特征图中包含整体的特征更多，而浅层特征图包含更多细节的特征。浅层特征图包含安全帽、人脸和服装细节的语义信息，深层特征图有助于检测目标的类别，把握宏观语义信息。

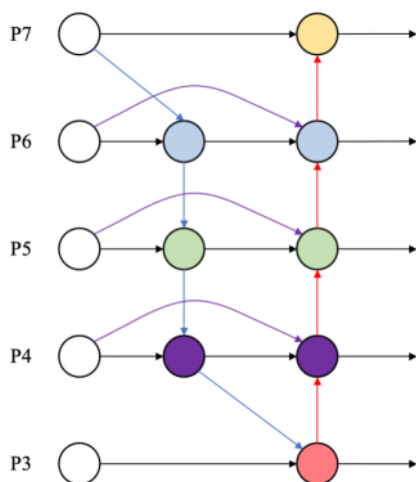


图2 BiFPN 特征融合网络

此外，YOLOv10-s 主干网络 C2f 模块的通道数较多，维度较高。本文所需的检测目标数较少，导致的模型则存在较多的冗余参数，需要轻量化处理。首先，减少了 C2f 模块中卷积计算的深度，使用了更多的空洞卷积^[7]来减少计算量并能够获得更大的感受。其次，原本 C2f 获取的特征图有较多的通道数，这是为多目标识别服务的，而本文所需的检测目标数较少，因此将深层的特征图通道数减半，降低参数量。这样，同时减少了计算量和参数量，降低了设备硬件的要求。

总之，本文通过 BiFPN 重复多次的自顶向下和自底向上特征融合能最大限度地保留特征。使用空洞卷积和降低通道数，降低了计算成本。

2.2 人脸识别网络

在改进的 YOLOv10-s 算法获取到人脸的像素坐

标之后，将图像中人脸部分裁切下来，只将人脸区域送入人脸识别网络，减少非人脸区域的计算，降低了大量的检测窗口的使用，以提高人脸识别速度。人脸识别网络采用 Numpy 进行数据处理，使用 OpenCV 设计人脸识别算法^[8]，主要采用 AdaBoost 弱分类算法和 Haar 强分类算法^[9]相结合。

人脸识别网络首先对获取到人脸区域进行预处理，包括灰度化和归一化。其次使用 Haar 强分类算法获取人脸中的纹理和亮度特征，进行第一步的特征提取。之后再使用 AdaBoost 训练强分类器，级联使用提高人脸识别的准确率。

分类器会将识别到的人脸信息与数据库中的人脸信息对比，查看是否是系统数据库中的人脸，确定存在于数据库之后再判断是否拥有进入当前变电站的权限，给出返回值。

2.3 智能门禁系统设计

智能门禁系统的设计主要包括一个树莓派 4B (4G) 主板、1080P 高清 USB 摄像头、四个补光灯以及一块树莓派显示器，安装部署的效果如图 3 所示。树莓派通过网线端口与服务器后端相连，获取后端数据库中的人员信息数据。人员信息数据与变电站管理的平台相通，信息数据采用 json 格式存储在服务器，前端的门禁系统会将识别的结果同样以 json 的格式传输到后端进行对比判断，符合条件即可远程打开变电站大门。



图3 门禁系统部署图

3 实验结果与分析

3.1 改进后 YOLOv10-s 模型性能分析

用于评价目标检测算法的主要指标是 mAP（全类平均正确率）和 FPS（检测速度）^[10]，本文的实验环境为 Win10 系统、RTX4090 24G、i7 10700KF，单个图像尺寸为 1080×1920 像素，实验数据集采用 2000 张自主采集的图像，每个模型的 epochs（训练轮次）设定为 100 次，batchsize（批处理张数）设置为 16 张。将原始的 YOLOv10-s 和本文改进后的模型进行对比，实验的结果如表 1 所示。

表 1 对比实验结果

模型	mAP/%	FPS
YOLOv10-s	86.32	42.31
Ours	88.94	56.63

从表 1 可知，与原始的 YOLOv10-s 相比，mAP 指标提升了 2.62%，FPS 指标提升了 14.32 张/s。可见，改进后的模型检测速度有了非常大的提升，并且检测精度能够保持在较高水平。

3.2 人脸识别网络性能分析

人脸识别网络的性能主要通过识别 accuracy（准确性）和 FPS 反应，实验环境与 3.1 节相同。实验将原图送入识别网络与通过检测网络提取出的图片送入识别网络进行对比，实验的结果如表 2 所示。

表 2 不同输入的人脸识别网络性能对比

图片形式	accuracy/%	FPS
原图	93.51	49.62
提取后的图片	94.98	65.77

从表 2 可知，原图进行识别的准确度达到 93.51%，识别速度达到 49.62 张/s，而通过检测网络处理后的识别的准确度达 94.98%，识别速度达到 65.77 张/s。识别速度提升了 16.15 张/s，准确度提升了 1.47%。

改进后模型的部分检测的结果如图 4 所示，识别的结果会给出安全帽、工作服和人脸识别的区域和置信度，置信度表示模型对识别结果的信心程度，最终会以置信度最高的判断为结果。从识别的图像来看，人脸正对或侧对摄像头时，能够准确检测出安全帽、工作服、人脸。当背对摄像头时，未检测出人脸，而安全帽、工作服依旧能准确识别。识别的目标区域框选准确，置信度较高且结果准确。

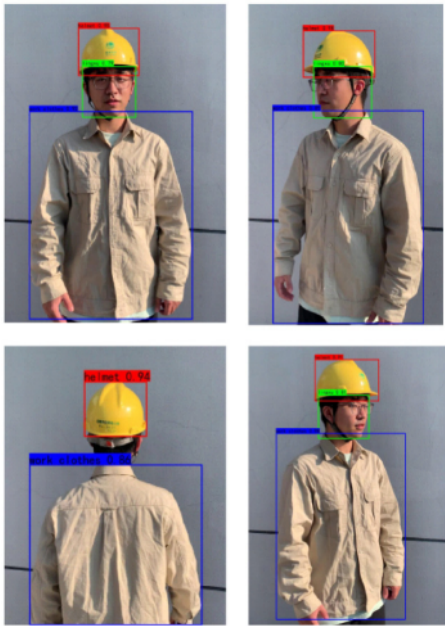


图 4 识别结果图

4 结论与展望

本文针对变电站管理的实际需求搭建基于 YOLOv10 的变电站智能门禁系统，实现了人脸、安全帽、工作服的检测与人脸识别。主要改进方面如下：

1) 通过调整 YOLOv10-s 的主干网络结构，降低了模型的参数量，提高了检测速度，并用 BiFPN 做为特征融合网络，进一步提取图像中的细节特征。改进的模型检测的 mAP 达到了 88.94%，FPS 达到了 56.63 张/s。满足实时检测与高精度检测的需求。

2) 通过将检测网络提取出的人脸送入人脸识别网络, 减小了送入网络的分辨率, 降低了计算量, 从而达到了 65.77 张/s 的识别速度, 提升了 16.15 张/s, 准确度达到 94.98%, 提升了 1.47%。

本文搭建的基于 YOLOv10 的变电站智能门禁系统能够对变电站的人员进出加强管理, 确保变电站的设备安全, 维护电网能源安全, 守护人身安全。

变电站有着严格的管理要求, 不仅仅是在入口处设置门禁系统, 更多的违章发生在变电站内, 接下来的工作是结合变电站内的视频监控, 对站内人员的行为做出规范监控。

参考文献

[1] 朱子太. 智能化变电站运维检修管理模式的研究[J]. 石河子科技, 2023 (5): 31-32.

[2] 曾鸣, 张硕. 我国“十四五”能源体系建设情况分析[J]. 中国电力企业管理, 2023 (25): 65-67.

[3] 黄毅, 周纯, 刘欣军, 等. 基于 YOLOv10 的无人机复杂背景下多尺度检测模型[J/OL]. 光通信研究, 2024 (8): 1-8.

[4] 任万奇, 孟瑞锋, 黄元昊, 等. 基于改进 YOLOX-S 的接触网绝缘子缺陷检测[J]. 电子设计工程, 2024, 32 (15): 95-100, 105.

[5] 马鸽, 李洪伟, 严梓维, 等. 基于多注意力的改进 YOLOv5s 小目标检测算法[J]. 工程科学学报, 2024, 46 (9): 1647-1658.

[6] 于晓, 张茂松, 周子杰. 基于 BiFPN 改进的深度学习的口罩人脸检测方法[J]. 软件工程, 2023, 26 (1): 38-41, 14.

[7] 孔令旺, 赵刚. 基于空洞卷积下采样单元的轻量化害虫图像识别模型[J]. 江苏农业科学, 2024, 52 (11): 189-196.

[8] 刘春晓, 张文豪. 基于 OpenCV 的人脸识别系统的设计与实现[J]. 现代信息科技, 2024, 8 (14): 20-25.

[9] 张彩丽, 刘广文, 詹旭, 等. 基于新增 haar 特征和改进 AdaBoost 的人脸检测算法[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2020, 43 (2): 89-93.

[10] 刘华锋. 基于自监督学习的变电站缺陷检测算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2023.

(收稿日期: 2024-09-02)