

基于 YOLOv7 的无人值守变电站 入侵物识别模型

陆 珺*, 谢育清, 刘炳青, 傅 军, 黄盛康

(国网福建省电力有限公司上杭县供电公司, 福建 龙岩 364299)

摘要: 常见的变电站入侵异物包括鸟巢、塑料袋和不同种类的固体废弃物, 文章针对无人值守变电站提出了基于 YOLOv7 的变电站入侵物识别方法, 首先基于实地拍摄的入侵异物图像制作数据集进行预处理, 包括图像的灰度化、添加噪声、数据扩充和数据增强。然后使用 LabelImg 进行图像标注, 得到包含变电站鸟巢、塑料袋和不同种类固体废弃物的图像数据集。最后利用 YOLOv7 模型对变电站数据集进行训练与测试, 结果表明 YOLOv7 模型针对变电站的入侵物识别准确率达到了 96.58%, 并且在召回率方面表现良好。

关键词: 入侵物识别; 无人值守变电站; YOLOv7

中图分类号: TM63

Intrusion Identification Model for Unmanned Substation Based on YOLOv7

LU Jun*, XIE Yuqing, LIU Bingqing, FU Jun, HUANG Shengkang

(State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. Shanghang County Power Supply Company, Fujian Longyan 364299, China)

Abstract: Common intrusion objects in substations include bird nests, plastic bags, and various types of solid waste. This article proposes a substation intrusion object recognition method based on YOLOv7 for unmanned substations. Firstly, a dataset is created based on intrusion object images captured in the field for preprocessing, including image grayscale, noise addition, data expansion, and data enhancement. Then, LabelImg is used for image annotation to obtain the image dataset containing the data of substation bird nests, plastic bags, and different types of solid waste. Finally, the YOLOv7 model is used to train and test the substation dataset, and the results show the accuracy of YOLOv7 model can reach 96.58% in identifying intrusion objects in substations. The recall rate of YOLOv7 model performs well.

Keywords: intrusion identification; unmanned substations; YOLOv7

0 引言

变电站入侵物是指附着于变电站设备上的外来物, 常见的有鸟巢、塑料袋和不同种类的固体废弃物^[1-3]。现有的变电站管理中, 往往要调派人员定时对设备的运行环境进行巡检, 以排除外置设备上附着的异物。但是可能存在工作人员的疏忽, 对附着异物的排查很难尽善尽美^[4-6], 因此及时预警异物入侵对变电站的安全运行意义重大^[7]。

当今机器视觉的迅猛发展, 各种检测算法也在不断演进。其中, 针对变电站入侵物识别的图像识别技术也在飞速发展^[8]。如文献 [9] 将变电站入侵物图片经过二值化与旋转平移等操作后, 由 SIFT 算法提取图像特征以实现入侵物的识别, 但是这一方法

收稿日期: 2024-10-23

的识别准确率较低。文献 [10] 利用 Canny 边缘检测器和霍夫变换 (HT) 提取变电站设备的边缘信息, 当异物入侵时, 边缘信息会发生变化, 从而实现入侵检测, 但是这一方法对变电站拍摄图片质量要求较高, 复杂背景会导致模型误检率增高。文献 [11] 采用 OpenCV 库的图像分割算法与边缘检测技术, 获取和识别变电站内电力设备异物的图像特征, 从而实现图像巡检中入侵物的准确判别, 但这一方法的泛化性差, 执行速度较慢。文献 [12] 提出基于改进卷积神经网络的鸟巢与风飘物识别方法, 首先利用 K-means 算法对异物图像尺寸聚类以设定锚框尺寸, 增加采样模块, 加强特征融合, 最后采用深度可分离卷积方式以减少计算量, 并通过实例验证了方法的可行性。文献 [13] 使用了主流的两类目标检测算法 Faster R-CNN 和 YOLOv5 在自制变电站故障

数据集上进行实验对比,结果表明,YOLO 算法在故障识别精度与速度上更具优势。文献[14]搭建了变电站入侵检测系统,并基于 Faster-CNN 模型实现了变电站场景下的人、猫、狗 3 种入侵目标检测,准确率达到 90%,但针对鸟巢、塑料袋等入侵物的检测效果还未经过验证。文献[15]提出了一种基于注意力机制与特征平衡的 YOLO-AFB (you only look once-attention and feature balance) 网络,通过在 Darknet-53 网络中引入混合注意力以加强对变电站目标物的图像特征提取能力,并提出特征平衡策略来缓解特征图语义信息差别,提高特征融合的质量,但这一方法网络结构复杂,对入侵异物进行识别时用时长,不能满足实时检测任务的需求。

综上,基于深度学习的目标检测算法已经可以实现变电站异物入侵的有效识别,但是鉴于复杂的实际环境场景,现有方法在识别准确率、识别速度、检测效率和应用推广等方面都存在着很大的提升空间,因此还不能够补充甚至取代人工巡检的作用。为此,本文提出基于 YOLOv7 的无人值守变电站入侵物识别方法,并通过实验验证所提方法的有效性,以期推进变电站入侵物检测算法的实用化。

1 YOLOv7 模型

YOLOv7 是一款在模型精度上和推理性能上都较为均衡的新模型^[16-17]。相较于之前的 YOLO 版本,YOLOv7 将模型的重参数化引入到网络架构之中,并且改进优化了动态标签替换。YOLOv7 模型网络深度适中,能够满足变电站异物识别的要求。

YOLOv7 主要包括 7 个模块:

1) CBS 模块:是 YOLOv7 最小的组成部件,由 1 个卷积层,1 个归一化层和 1 个“Silu”激活函数所构成。

2) CBM 模块:与 CBM 模块基本一致,由 1 个 1×1 、步长为 1 的卷积层,1 个归一化层和 1 个 sigmoid 激活函数。

3) REP 模块:REP 模块分为 2 种。其一是训练模块 (train),其二是推理模块 (deploy)。训练模块有 3 个分支。

4) ELAN 模块:ELAN 模块的是控制最短和最长的梯度路径,使得网络学习能够有更多的特征,增强学习过程中的鲁棒性。

5) ELAN-W 模块:与 ELAN 模块类似,控制最短和最长的梯度路径,使得网络学习能够有更多的特征,增强学习过程中的鲁棒性。

6) UPsample 模块:是一个上采样模块,用最近邻插值的方式进行采样。

7) SPPCSPC 模块:该模块的特点是内部包含不同大小的池化处理层,配合多个分支中相应的一系列卷积核,使得算法能够适应不同的分辨率图像。

2 图片数据集的预处理

本文使用的数据集来源于现场变电站的实拍图片,其中原图像数据集由 2510 张图像组成。为了提高训练的准确率与模型的鲁棒性,做了以下图片预处理。

2.1 图像灰度化处理

图像的灰度化处理是将一幅原输入三通道图像转换为灰度图像的过程,如图 1 为变电站鸟窝图像的灰度化处理结果。原始彩色图像能够分解为



(a) 原图



(b) 灰度化

图1 图像灰度化处理

R（红）、G（绿）、B（蓝）三色矩阵，反映了图像整体和局部的色度、亮度等级的分布。在图像中色彩不是十分重要的信息，并且原始图像占内存较大，会降低算法的运行速率。因此，为了减少图像中的非关键信息，降低数据维度，加快算法的运行速率，须对图像进行灰度化处理。灰度化处理能够减小图像占用的内存，提高神经网络的运行速度，也能够突出所要检测的变电站入侵异物轮廓，让目标区域更加突出。灰度处理是均衡颜色的 R、G 和 B 分量值的过程，由于 R、G 和 B 的值范围为 0~255，灰度图像只能显示 256 色，灰度处理有 3 种主要方法，分别是最大值法、平均数法、加权平均法^[18]。

2.2 高斯噪声滤波处理

高斯噪声是一种常见的随机噪声，其均值为零，标准差满足正态分布。它在通信、图像处理和信号处理等领域中经常出现。在数字图像中，高斯噪声通常由于传输过程或者图像采集设备引起。在深度学习中，在输入数据中加入高斯噪声可以提高模型的鲁棒性和泛化能力。通过向输入数据添加噪声，使得模型训练过程中加入了对输入中的微小变化具有鲁棒性的特征，可以提高模型各方面性能，也避免了过拟合问题，图 2 为加入噪声后的变电站。



图2 加入噪声后的变电站

LabelImg 是一个用于图像分类和目标检测的开源图形图像注释工具，可以便捷地为图片创建标签框，并且能够将标注结果以各种格式导出。使用过程中，用户可以通过拖拽标签或者直接输入标签名来创建标签，之后在图片上绘制边界框并手动调整其大小及位置，最后保存标注结果文件。同时，LabelImg 还支持批量标注，用户可利用快捷键自动

进行下一个图像的标注。以入侵变电站的异物图像为例，本文将异物分为 3 类，分别是最常见的鸟巢、塑料袋以及其他固体垃圾。标注工作完成之后，选择生成.xml 格式的文件。文件中包含有文件夹路径、图片尺寸、异物的类别、检测目标框的区域坐标等信息。常用的数据集格式有“VOC（visual object classes）”格式和 COCO 格式。VOC 数据集格式通常指 PASCAL VOC 数据集，包括了多个物体类别的图像数据及其标注信息。在 VOC 格式的目标检测数据集中，每张图像对应一个.xml 文件，其中记录了该图像的相关信息，如图像路径、图像大小等。

3 实验验证和对比

参考上述方法，本文一共整理得到变电站入侵鸟巢图像 3 661 张、塑料袋图像 2 048 张，以及不同种类的固体废弃物 635 张，将其中 80% 数据作为训练集，10% 作为验证集，10% 作为测试集，用于给 YOLOv7 模型学习与测试。

本文使用的 YOLOv7 模型的参数设定见表 1。YOLOv7 网络模型对变电站入侵异物进行识别基本流程如下：第一步，对异物图像进行预处理，使其具有统一的尺寸，然后将其送入 YOLOv7 网络进行特征提取；第二步，网络将图像划分成 8×8 个网格单元，尽可能地识别出所有可能存在的异物边界框；第三步，得分排序会将异物边界框按照分数进行排序，然后通过非极大抑制比较边界框得分和重叠程度，最后得到最精确的边界框；第四步，从排序后的预测框中取出得分最高的框，将其得分与设定的阈值对比，高于阈值则判断为有异物入侵，否则无。综上，基于 YOLOv7 实现变电站入侵物的识别。

采用滑稽矩阵以评估异物识别模型的表现，包

表1 训练模型参数

初始化参数名称	参数	备注
Unfreeze_Epoch	100	模型总共训练迭代次数
Unfreeze_batch_size	2	解冻训练时的批处理大小
Freeze_Epoch	60	模型冻结训练迭代次数
Freeze_batch_size	2	冻结训练时的批处理大小
Init_lr	0.01	初始最大学习率
Min_lr	0.000 1	最小学习率

括 TP (true positive)、FN (false negative)、FP (false positive) 以及 TN (true negative)。由此定义指标 mAP (是模型在所有类别的平均检测精度的平均值) 和召回率 (Recall)，然后，针对指定数据集中的鸟巢、塑料袋和其他固体垃圾这 3 种常见的变电站入侵异物，使用 YOLOv7、Faster-RCNN 和 SSD 算法进行检测，并对检测结果进行对比，对比指标采用的是 mAP 和召回率。其中所有模型的迭代次数设置为 100 代。实验结果如表 2 与图 3 所示，根据表 2 可知，相较于 Faster-RCNN 与 SSD 模型，YOLOv7 针对入侵物的识别准确率 (即 mAP) 最高，达到了 96.58%。此外，根据图 3 的 mAP 变化曲线可知，YOLOv7 模型在训练迭代 30 代之后，其检测准确度 (mAP) 就已经达到了 90%，作为单阶段检测算法，响应的快速性好，在检测速度上优势较大。

表2 各模型识别结果对比

模型	mAP/%	第100代时损失值
YOLOv7	96.58	0.030 35
SSD	92.52	2.197 27
Faster-RCNN	82.73	0.685 68

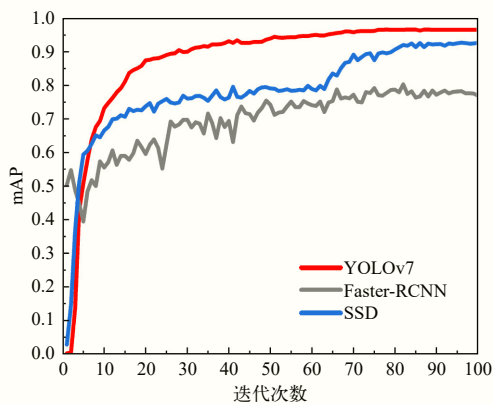
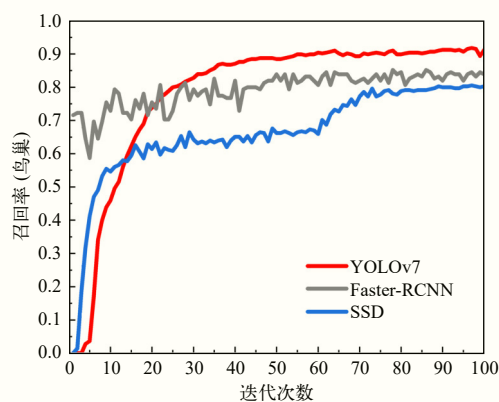
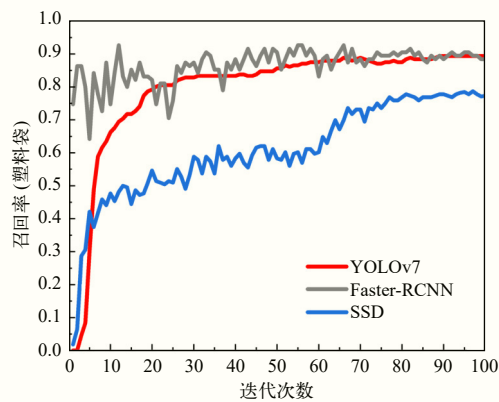


图3 YOLOv7、Faster-RCNN 和 SSD 模型的 mAP 与迭代代数的关系

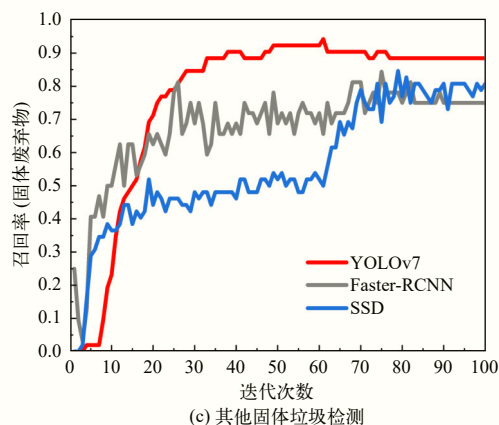
其次，图 4 列出了 YOLOv7、Faster-RCNN 和 SSD 算法在鸟巢、塑料袋以及其他固体垃圾上的检测召回率。可见随着迭代次数的增加，YOLOv7 在鸟巢和其他固体垃圾的识别召回率最高。YOLOv7 模型的召回率高，意味着该模型能够有效检测出正样本，并且尽可能少地将负样本错误分类为正样本。



(a) 鸟巢检测



(b) 塑料袋检测



(c) 其他固体垃圾检测

图4 YOLOv7、Faster-RCNN 和 SSD 模型的召回率

根据图 4 的召回率可知，综合来说 YOLOv7 在变电站入侵物的检测效果优于 SSD 与 Faster-RCNN。

4 结束语

本文研究了一种基于 YOLOv7 的无人值守变电站入侵物识别方法，首先对变电站实地拍摄的入侵异物图片进行预处理，包括图像的灰度化、添加噪声、数据扩充和数据增强，得到变电站入侵异物数据。然后，将数据集用于变电站入侵物识别模型的

训练与校验,结果表明,YOLOv7模型的准确率达到96.58%,模型收敛速度有优势,模型的损失率和召回率上的表现优于Faster-RCNN模型和SSD模型,适用于变电站异物检测场景下的使用要求。

参考文献

- [1] JIANG Yi,SUN H.,ZHAO H,et al.Research on Video Detection of Object Intrusion in Substation[J].Journal of Physics:Conference Series,2020.
- [2] XU L,SONG Y,ZHANG W,et al.An efficient foreign objects detection network for power substation[J].Image and Vision Computing,2021,109(3):104159.
- [3] 徐国栋,闫少波,顾海明.变电站鸟害分析与防治措施[J].电力与能源,2022,43(1):33-36.
- [4] 叶采萍,陈炯,马显龙,等.改进YOLOv5的变电站反无人机目标检测算法[J].南方电网技术,2024,18(2):89-97.
- [5] El-Harbawi M,Al-Mubaddel F.Risk of Fire and Explosion in Electrical Substations Due to the Formation of Flammable Mixtures[J].Scientific Reports,2020,10(1):6295.
- [6] 巢亚锋,徐志强,岳一石,等.湖南输电线路鸟害故障特征分析及防范措施[J].高电压技术,2016,42(12):3853-3860.
- [7] 周仲波,王大力,肖力,等.基于YOLOv5算法的无人值守智能变电站异物入侵识别方法[J].电气技术与经济,2024(4):112-115.
- [8] 张烨,高玉茜,黄新波,等.基于Fine Mask RCNN的110~220 kV输电铁塔塔身故障识别与评估[J].电网技术,2022,46(6):2132-2144.
- [9] 赵小鱼,徐正飞,付渊.一种适用于智能变电站巡检机器人的异物检测算法研究[J].现代电子技术,2015(10):124-127.
- [10] HUANG L,RONG X,YI X.Invasion detection on transmission lines using saliency computation[C]//IEEE International Symposium on Signal Processing & Information Technology.IEEE,2016.
- [11] 张泽润.基于OpenCV的变电站电力设备异物识别算法改进研究[J].自动化应用,2024,65(10):116-118,121.
- [12] 肖曾翔,徐启峰.基于改进卷积神经网络的变电站异物入侵识别[J].科学技术与工程,2022(4):1465-1471.
- [13] 张玉蓉.巡检机器人目标检测算法在变电站故障检测中的研究与应用[D].青岛科技大学,2022.
- [14] 马超.基于机器视觉变电站入侵检测的设计与实现[D].西南交通大学,2019.
- [15] 李斌,李亚霖,朱新山,等.基于注意力机制与特征平衡的变电站多目标检测[J].电网技术,2022,46(6):2122-2132.
- [16] WANG Chenyao ,ALEXEY Bochkovskiy,LIAO Hongyuan .YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors[C]//2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.IEEE,2023.
- [17] ZHAO Hangyue,ZHANG Hongpu,ZHAO Yanyun.YOLOv7-sea:Object Detection of Maritime UAV Images based on Improved YOLOv7[C]//2023 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision Workshops (WACVW).IEEE,2023.
- [18] 王昱晴,袁田,张锦,等.基于机器视觉的玻璃绝缘子玻璃件缺陷检测方法[J].高电压技术,2020,46(6):200-204.

作者简介

陆珺(1992—),女,本科,工程师,研究方向为人工智能算法在电力系统中的应用,E-mail: Avellen@163.com。

(责任编辑:袁航)

资讯

国家电网有限公司连续2年位居世界能源企业可持续品牌价值榜单首位

近日,以“绿色转型、共创未来”为主题的2025可持续发展高峰论坛在北京举行,发布了《2024世界能源企业可持续品牌价值研究报告》。报告公布了2023年世界能源企业可持续品牌价值评估结果,国家电网有限公司连续2年位居世界能源企业可持续品牌价值榜单首位。

《2024世界能源企业可持续品牌价值研究报告》由清华大学国家形象传播研究中心等机构发布,聚焦可持续品牌运营、可持续品牌行动和可持续品牌形象三大维度,构建可持续品牌强度评价体系,对2023年《财富》世界500强排行榜及标普全球250强能源公司中的84家能源企业可持续品牌进行评估,公布了世界能源企业可持续品牌价值评估结果前50名企业。

近年来,国家电网有限公司认真学习贯彻习近平总书记关于品牌建设的重要指示精神,落实国务院国资委品牌建设工作部署,大力推进品牌引领行动,着力打造品质典范、创新典范、治理典范、文化典范、责任典范“五个典范”和管理领先、声誉领先、价值领先“三个领先”的全球卓著品牌。“国家电网”品牌全球影响力、竞争力、品牌价值持续提升。公司连续7年位居全球公用事业品牌50强第一位,位居全球品牌价值500强第12位,连续9年位列中国500最具价值品牌榜首。

公司将坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,大力实施品牌战略,全面加强品牌管理,坚持将可持续性融入品牌体系,不断提高“国家电网”品牌附加值和企业软实力,着力打造全球卓著品牌,加快建设世界一流企业,为全面推进强国建设、民族复兴伟业作出更大贡献。

信息来源:国家电网有限公司