

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20221377

基于逻辑语义判别的调峰电源设备漏油图像识别

宋 倩¹, 祁炜雯², 方 冰², 范 强², 郑慧娟³, 胡 飞³

(1. 国网水新部, 北京 100031; 2. 国网浙江省电力有限公司绍兴供电公司, 浙江 绍兴 310000;
3. 国网电力科学研究院有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 针对调峰电源设备漏油图像识别中的难点问题, 将逻辑规则判别引入图像识别领域, 提出一种全新的图像识别方法。基于直方图均衡化技术增强原始图像, 利用 Mask RCNN 网络初步获取储油装置、地面、疑似油污区域的位置和轮廓信息。根据这些信息判断物体间位置关系, 并结合逻辑表达式判断疑似区域是否属于漏油区域。基于现场拍摄的调峰电源设备图像进行实例分析, 结果表明该方法能有效克服漏油区域识别中的难点问题, 大幅提升了识别准确率。

关键词: 调峰电源设备; 漏油图像识别; 物体间关系识别; 逻辑语义判别

中图分类号: TM712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)05-0199-04

1 引言

随着电力负荷不断增长, 为保障系统安全稳定、经济运行, 调峰机组的运行维护日益重要。由于机组中不少设备带有储油装置, 装置漏油会给系统带来安全隐患。近年来, 视频监控技术在水电站调峰电源设备状态监测任务中已得到广泛应用, 借助计算机视觉技术发现设备漏油等异常现象能大大减少人力资源消耗, 同时提升巡检质量^[1,2]。目前, 在计算机视觉领域最具发展潜力的核心技术是深度学习^[3], 其优势在于自动提取关键特征实现图像识别。尽管该技术在人脸识别、安防监控等领域实现了重大突破^[4,5], 调峰电源设备漏油识别仍然属于难点问题。漏油图像检测的基本思路是检测装置周围地面上的油污区域, 存在以下难点: ①区域形状差异大; ②背景复杂且可能存在干扰物体; ③环境条件发生变化。现有研究^[6-8]完全依赖图像处理技术提升模型性能, 局限性较大, 如背景干扰、地面倒影等问题无法通过图像处理手段解决。对此, 本文提出了一种基于逻辑语义判别的调峰电源设备漏油图像识别模型, 先利用直方图均衡化增强图像; 再利用语义分割模型初步获取物体种类、位置、轮廓等一系

列信息; 在此基础上, 判断物体间位置关系, 并根据设定的逻辑规则判断识别结果的准确率; 相较于传统的图像识别模型, 该模型具备逻辑判别功能及更强的可解释性, 判别依据更加透明, 有利于该方法在工业场景中的使用和推广。实例应用验证了该方法的可行性。

2 研究方法

针对调峰电源设备漏油图像识别中的难点问题, 提出了一种全新的图像识别框架。该框架包含图像识别和逻辑语义判断两个阶段, 其中图像识别阶段包含图像增强模块及语义分割模块, 逻辑语义判断阶段包含物体间位置关系识别模块及逻辑判别模块。

2.1 调峰电源设备漏油图像增强

针对漏油图像识别中的环境条件变化难点, 利用图像增强方式降低问题复杂度。为提升图像对比度, 将原始 RGB 图像转化到 YCrCb 空间中, 并将该空间中的 Y 通道值作为像素特征, 对于像素特征的分布直方图, 通过调整像素值使其近似均匀分布。该方法流程见图 1, 其中 RBD、RCD、ASD 指标分别表示输入图片和直方图均衡后图片之间的相对亮度差异、相对对比度差异、平均结

收稿日期: 2022-07-03, 修回日期: 2022-10-19

基金项目: 国家电网有限公司总部科技项目(5700-202140381A-0-0-00)

作者简介: 宋倩(1978-), 女, 高级工程师, 研究方向为抽水蓄能运行管理, E-mail: qian-song@sgcc.com.cn

通讯作者: 祁炜雯(1980-), 女, 高级工程师, 研究方向为电力系统, E-mail: shuining3516182@yeah.net

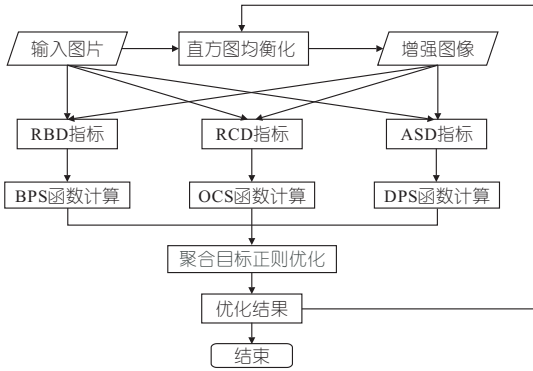


图 1 直方图均衡化算法流程图

Fig. 1 Flowchart of histogram equalization algorithm

构化差异。获取这些指标后,利用 BPS、OCS、ASD 函数分别进行评分,将三者的分数作为聚合目标进行正则优化,得到最终的增强后图像。

2.2 语义分割模型

对于油污区域检测,语义分割能够获得油污区域的像素位置信息,其中轮廓形状能够很好地辅助模型判断识别结果是否为油污区域。且由于漏油过程缓慢,油污区域形状和大小存在一个发展过程,这一特征能有效帮助现场监控视频中的漏油过程识别。本文选用 Mask RCNN 网络^[3]作为识别框架的基础,图 2 给出了该网络的结构示意图,整体包含基础网络、区域建议网络、类别判断分支及掩膜生成分支四个部分。其中,原始图像的特征提取部分由基础网络完成,本文采用预训练模型减少数据依赖度。目标物体所在候选区域由区域候选网络(RPN)基于提取后的图像特征生成,之后池化层(ROIAlign)根据候选区域位置提取对应特征,作为后续模块的输入。目标物

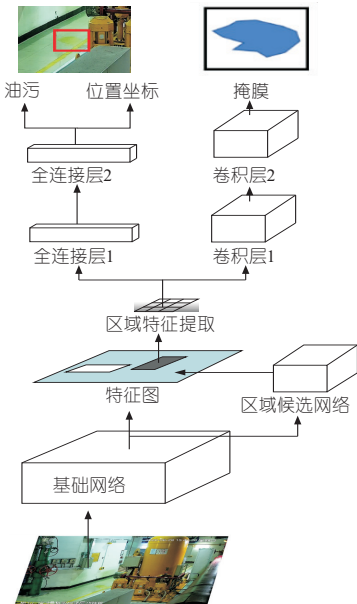


图 2 Mask RCNN 网络结构

Fig. 2 Network architecture of Mask RCNN

体的分类及位置修正由区域分类模块完成,物体所在像素点位置即掩膜由掩膜生成模块完成。对于同一物体,两个模块独立运行。对于不同目标物体,识别过程并行进行以保证算法运行效率。

2.3 物体间位置关系识别

物体间位置关系识别模块结构见图 3,其中输入部分包含两组分支,分别处理种类位置信息和轮廓信息,输出为物体间关系预测结果。

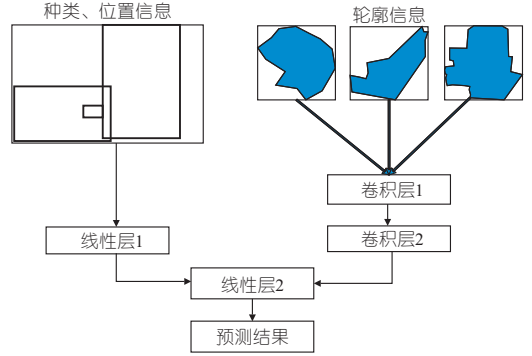


图 3 物体间位置关系识别模块

Fig. 3 Object positional relation detection module

2.4 逻辑判别模块

借助模型的逻辑处理能力,引入相应逻辑规则以进一步提升模型性能。例如:

$$\begin{aligned} \text{油污区域}(A) \leftarrow & \text{疑似油污区域}(A) \wedge \text{地面}(B) \wedge \\ & \text{储油装置}(C) \wedge \text{在上方}(A, B) \wedge \\ & \text{在附近}(A, C) \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)表示若疑似油污区域 A 出现在地面 B 上方,且其附近存在储油装置 C,则断定 A 为油污区域。为判断前提是否成立,首先需判断前提中每个谓语是否成立,式(1)中共包含两种谓语:

- ①物体属性部分谓语成立情况由语义分割模块给出;
- ②物体间关系谓语成立情况由物体间位置关系识别模块给出。由于模块给出的判别结果为概率值,这里设计了模糊逻辑推理模块,包含逻辑与、逻辑或、逻辑非三个子模块,计算方式为:

$$\begin{cases} y \leftarrow x_1 \wedge x_2 \Rightarrow y = b_1x_1 + b_2x_2 + c \\ y \leftarrow \neg x \Rightarrow y = 1 - x \\ y \leftarrow x_1 \vee x_2 \Rightarrow y = \max(x_1, x_2) \end{cases} \quad x_1, x_2, x, y \in [0, 1] \quad (2)$$

式中, x_1, x_2, x, y 均为模糊逻辑变量; b_1, b_2, c 均为待求参数。

通过模糊逻辑推理模块,可判断前提成立情况。

3 实例应用

3.1 图像识别试验

采用数据集包含 237 张调峰电源设备图片。

数据标注格式为多边形顶点,数据存储格式为 JSON 文件。数据集制作完成后,随机抽取 180 张图片作为训练集,剩余 57 张图片用于测试。训练时使用交叉验证。图片包含漏油图片和正常图片两种类型,目标物体包含漏油区域、地面、储油装置。

图 4 为图像增强效果对比情况,可以看到,图像增强算法能很好地解决光照、倒影等带来的干扰问题。对于图像识别部分,本文使用数据增强技术及预训练模型以缓解过拟合现象。采用在 MS COCO 数据集上预训练的 Mask RCNN 模型,其中基础网络采用 ResNet50 网络,使用 NMS 策略,加入 dropout 层,参数设置为 0.2。图 5 为图像识别结果,物体类别包含漏油区域、地面、储油装置,图 5 中展示了边界框和掩膜两部分信息。可以看到,不同种类的物体均能被有效识别。

3.2 语义逻辑判断试验

图 6 为物体间位置关系识别结果,其中 ABCD 分别为不同物体,最终预测结果包含“在上



图 4 图像增强效果对比

Fig. 4 Comparison between original and enhanced images

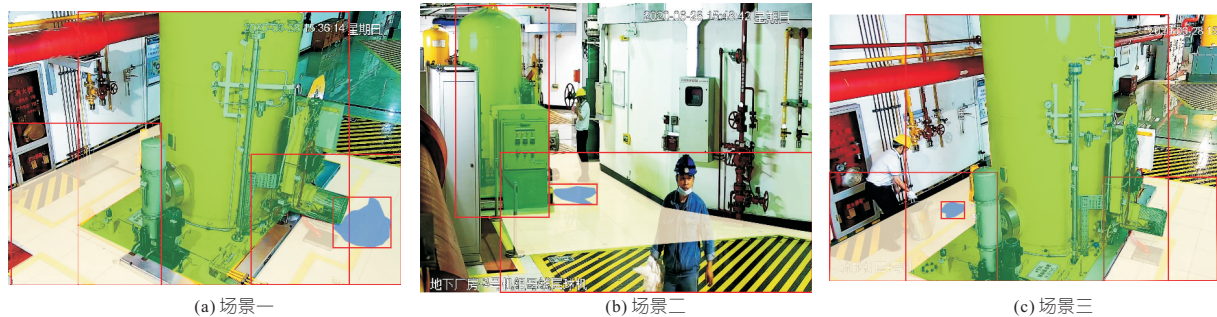


图 5 图像识别结果

Fig. 5 Results of image recognition

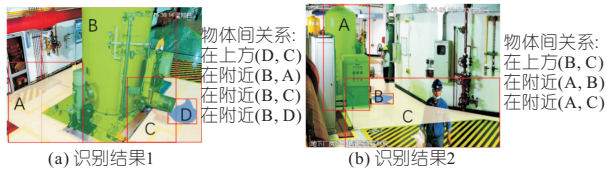


图 6 物体间位置关系识别结果

Fig. 6 Object positional relation detection results

方”、“在附近”、“其他”三种类别。其中,“在上方”为指向性关系,物体顺序不能替换,“在附近”则为非指向性关系。可以看到,本文所提模块能很好地识别物体间关系。

在此基础上,进行逻辑语义判断,过程中使用的规则为:

$$\text{油污区域(A)} \leftarrow \text{疑似油污区域(A)} \wedge \text{地面(B)} \wedge \text{在上方(A,B)} \quad (3)$$

$$\text{油污区域(A)} \leftarrow \text{疑似油污区域(A)} \wedge \text{储油装置(B)} \wedge \text{在附近(A,B)} \quad (4)$$

$$\text{油污区域(A)} \leftarrow \text{疑似油污区域(A)} \wedge \text{地面(B)} \wedge$$

$$\text{储油装置(C)} \wedge \text{在上方(A,B)} \wedge \text{在附近(A,C)} \quad (5)$$

采用梯度下降法求取模糊逻辑推理模块中,最终预测结果为调峰电源设备漏油概率,误差函数采用交叉熵。不同规则对应的参数取值见表 1。

表 1 不同规则对应的参数取值情况

Tab. 1 Parameter values in different rules

规则	权重向量 $[b_1, b_2, \dots, c]$
式(3)	$[0.645, 0.181, 0.162, 0.012]$
式(4)	$[0.390, 0.323, 0.247, 0.040]$
式(5)	$[0.417, 0.080, 0.297, 0.062, 0.124, 0.020]$

3.3 模型性能分析

首先单独分析各模块。图 7 为不同重叠程度阈值下的语义分割识别准确率 AP。可以看出,地面和储油装置的识别准确率变化不大,而漏油区域的识别准确率明显上升。该模块的主要目的在于提升图像的亮度和对比度,对于漏油区域的识别效果提升更为明显。

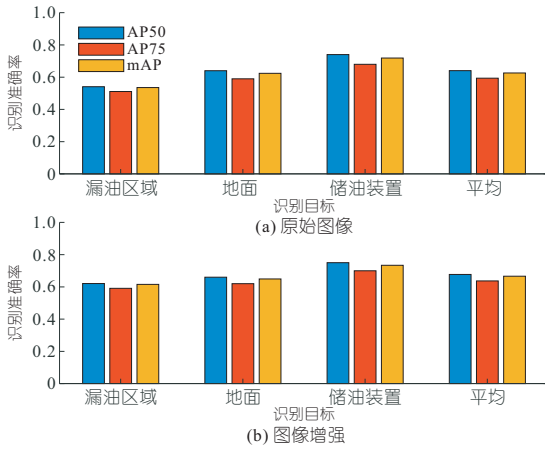


图 7 不同场景下的语义分割准确率

Fig. 7 Semantic segmentation accuracy under different situations

表 2 为不同输入信息对物体间位置关系识别模块识别准确率的影响。可以看到,种类信息和轮廓信息可作为位置信息的辅助提升模型识别准确率。此外,对于不同物体间位置关系,“在上方”的识别准确率最低,其次是“在附近”,最高的是“其他”。这是因为不同关系对应的识别难度不同,识别难度取决于输入信息的准确程度及不同关系间的差异情况。但从表 2 可以看出,通过加入种类信息和轮廓信息,该关系的识别准确率明显提升,证明了综合多种信息有利于准确判断物体间位置关系。

表 2 不同输入信息对应物体关系判断准确率

Tab. 2 Object relation classification accuracy under different types of input

模型输入	在上方	在附近	其它	总计
位置信息	0.480	0.550	0.621	0.550
位置信息+种类信息	0.524	0.571	0.654	0.583
位置信息+种类信息+轮廓信息	0.601	0.651	0.801	0.684

表 3 为不同模块组合对应的模型最终识别准确率。表 3 中,单独使用图像识别模型表示使用 AlexNet 模型直接对整张图片进行分类,其余三种模型结构即所提模块的不同组合。可以看到,所提完整框架相比于基础模型,识别准确率提升了 0.315。同时,图像增强、位置关系识别及逻辑语义判断对于图像识别结果均有明显提升,充分说明针对调峰电源设备漏油图像这一场景设计的相应改进策略具有实际意义。

表 3 不同模型结构对应识别准确率

Tab. 3 Accuracy of different model structures

模型	正常图片	漏油图片	总计
图像识别	0.521	0.415	0.468
语义分割	0.654	0.510	0.582
图像增强+图像识别	0.682	0.584	0.633
图像增强+图像识别+位置	0.810	0.755	0.783
关系识别+逻辑语义判断	0.810	0.755	0.783

3.4 不同方法、识别准确率

为验证本文所提方法的优越性,与差分法模型^[6]、循环训练法模型^[7]及改进 SSD 算法^[8]进行对比,见表 4。不难看出,本文所提模型识别准确率显著优于其余三种方法。对电力行业中图像拍摄、视频监控等条件下的设备状态判别有一定借鉴意义。

表 4 不同方法对应识别准确率

Tab. 4 Accuracy of different methods

模型	正常图片	漏油图片	总计
差分法模型	0.621	0.351	0.486
循环训练法模型	0.731	0.710	0.721
改进 SSD 算法	0.691	0.674	0.683
逻辑语义判断	0.810	0.755	0.783

4 结论

a. 提出了一种基于逻辑语义判别的调峰电源设备漏油图像识别方法,针对油污区域识别中的难点问题,根据物体间位置关系结合逻辑表达式,大幅提升模型识别准确率。

b. 通过在有限的训练样本中利用逻辑关系提升识别精度,且框架具备结合专家知识的能力,有利于实现设备状态监测自动化,提升巡检质量。

参考文献:

- [1] 张社荣,时铮,王超,等. 基于深度学习的渡槽裂缝类型判定方法[J]. 水电能源科学, 2021, 39(8): 149-152.
- [2] 冯万兴,范鹏,姚翔宇,等. 基于深度学习的输电线路绝缘子缺陷识别[J]. 水电能源科学, 2021, 39(1):176-178,50.
- [3] HE KAIMING, GKIOXARI G, DOLLAR P, ET AL. MASK R-CNN[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017: 2980-2988.
- [4] 胡亚洲,周亚丽,张奇志. 基于深度学习的人脸识别算法研究[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(5):1432-1436.
- [5] 王瑞,陈文凯,曹中正. 基于深度学习的智能监控系统设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(14):23-27.
- [6] 鲍伟超,顾理,何劲松,等. 基于循环训练法的变压器漏油检测[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33(3):431-438.
- [7] 董保国. 基于图像处理的变压器渗漏油检测[J]. 电力建设, 2013, 34(11):121-124.
- [8] 冯庭有,蔡承伟,田际,等. 基于改进 SSD 算法的电厂设备油液渗漏检测[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(6):59-64,71.

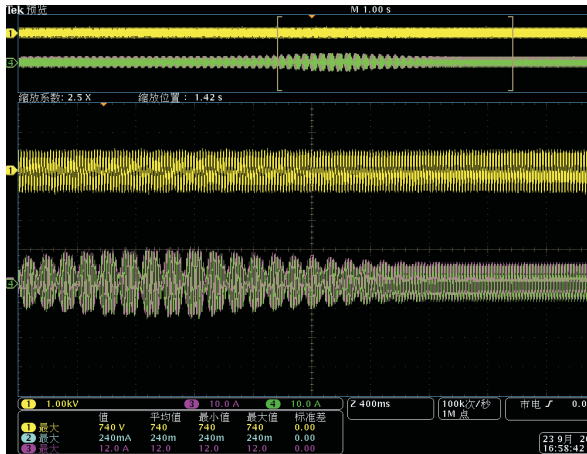


图 9 投入次同步抑制策略前后对比 (Ch1-电压, Ch2-电流)
 Fig.9 Comparison before and after putting into subsynchronous suppression strategy (Ch1-voltage, Ch2-current)

效抑制次同步分量。

5 结论

Research on New Control Strategy for Sub-synchronous Oscillation Suppression of High Power Rectifier in Weak Current Network

PENG Guo-jing, SUN Zu-yong, ZHU Dan, LEI Lei
 (NARI Group Co. Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: In the weak current network, due to the large impedance characteristics of the power grid, the impedance parameters in the line change the key parameters of the rectifier control, affecting the overall performance of the rectifier, which may lead to the unstable output of the rectifier, and the output presents the characteristics of sub-synchronous oscillation. On the basis of not increasing the hardware compensation system, this paper proposes a control strategy that can effectively suppress the sub-synchronous oscillation. Based on the mathematical model, the AC current component of the sub-synchronous oscillation is extracted through the low-frequency filter. After d/q transformation, the d/q current component of the sub-synchronous oscillation is PI closed-loop controlled. The output value of the PI regulator of the sub-synchronous oscillation component is decoupled and compensated, and then multiplied by the compensation coefficient to obtain the d/q compensation component of the voltage. The output of the original current inner loop is compensated. A simulation and test results show that the control strategy is effective and feasible, which can suppress sub-synchronous components.

Key words: weak power grid; sub-synchronous oscillation; low frequency extraction; suppression control strategy

 (上接第 202 页)

Oil Leakage Image Recognition of Peak Regulation Power Equipment Based on Logical Semantic Discrimination

SONG Qian¹, QI Wei-wen², FANG Bing², FAN Qiang², ZHENG Hui-juan³, HU Fei³

(1. Water and Innovation Department, State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China;

2. Shaoxing Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Shaoxing 310000, China;

3. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211106, China)

Abstract: To address the challenges in oil leakage image recognition of peak regulation power equipment, a new method is proposed by introducing logical rule discrimination strategy into the task of image recognition. The technology of histogram equalization is adopted to improve original image. Then Mask RCNN network is introduced to obtain the preliminary location and contour information of storage device, ground and suspected oil area. Based on the above information, positional relationships between objects are judged, and logical expressions are adopted to determine the oil leakage area. Example analysis is conducted based on filed images of peak regulation power equipment. The results indicate that the proposed framework solves the problems in oil leakage area recognition, largely boosting model performance.

Key words: peak regulation power equipment; oil leakage image recognition; positional relationship recognition; logical semantic discrimination

a. 本文提出一种能够有效抑制次同步振荡的控制策略,即在原有整流器恒压解耦控制策略的基础上,提取电流环 d/q 轴振荡的交流分量,经过 PI 控制器后,通过补偿系数 K 的修正,对原有的电流内环的输出进行补偿修正。

b. 仿真和试验结果表明,本文抑制策略有效、可行,能够有效抑制次同步分量。

参考文献:

[1] 黄云虹,高学军,余小莉,等. 弱电网条件下 STATCOM 对风电场电压稳定性的影响[J]. 水电能源科学, 2016, 34(8):204-208, 213.
 [2] 曹娜,管雪帅,于群,等. 基于正序阻抗的直驱风电机组次/超同步振荡影响因素分析[J]. 水电能源科学, 2019, 37(2):160-164.
 [3] 钟胜. 超高压输电线路加装串补装置有关的系统问题以及解决方案[J]. 电网技术, 2004, 28(6):26-30.
 [4] 王亮,谢小荣,姜齐荣,等. 大规模双馈风电场次同步振荡的分析与抑制[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(22):26-31.