

文章编号:1001-5078(2019)11-1338-06

· 红外技术及应用 ·

基于双通道图像的电力设备智能监测技术研究

孙海铭^{1,2}, 曹桐滔^{1,2}, 代作晓², 彭 鹏^{1,2}

(1. 上海电力大学自动化工程学院, 上海 200090; 2. 太仓光电技术研究所, 江苏 苏州 215400)

摘 要:以目前变电站电力设备故障监测为背景,以变电站绝缘子为对象,利用机器视觉技术,重点开展了基于双通道的图像采集技术、电力设备目标识别以及红外感兴趣区域(ROI)自动定位测温技术的研究。通过硬件设计获取双通道(可见光、红外)图像信息,建立了绝缘子数据库,利用 Mask R-CNN 算法对绝缘子进行有效识别,利用红外测温技术对红外 ROI 区域进行自动测温,搭建了一套基于双通道图像的电力设备智能监测系统。实验结果表明:本文提出的算法可以实现精确的绝缘子目标识别,为电力设备的智能监测提供了可行的视觉监测技术途径。

关键词:电力巡检;Mask R-CNN;绝缘子识别;红外 ROI 测温

中图分类号:TN219 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2019.11.011

Research on intelligent monitoring technology of power equipment based on dual channel image

SUN Hai-ming^{1,2}, CAO Tong-tao^{1,2}, DAI Zuo-xiao², PENG Peng^{1,2}

(1. College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. Taicang Optoelectronic Technology Research Institute, Suzhou 215400, China)

Abstract:Based on the current substation power equipment fault monitoring, this paper takes the substation insulator as the object, uses machine vision technology to focus on the dual-channel image acquisition technology, power equipment target recognition and infrared interest area (ROI) automatic positioning measurement. The two-channel image information is obtained through hardware design, the insulator database is established, the insulator is effectively identified by Mask R-CNN algorithm, and the ROI area is automatically measured by infrared temperature measurement technology. A set of power equipment based on two-channel image is built. Intelligent monitoring system. The experimental results show that the proposed algorithm can achieve accurate insulator target recognition and provide a feasible visual monitoring technology for intelligent monitoring of power equipment.

Keywords:power inspection; mask R-CNN; insulator identification; infrared ROI area temperature measurement

1 引 言

电力巡检之中通常使用红外以及可见光不同的特性对电力设备进行故障监测。但是目前电力巡检机器人对于两个传感器之间信息的交互涉及较少,

导致虽然携带两个传感器,但是实际上却是半自动化,还是需要人为的进行信息之间的交互使用。2013年,魏刚^[1]运用红外相机对电气等设备拍摄图像,通过处理图像完成简单的故障识别。2016年,

基金项目:太仓市科技计划项目资助。

作者简介:孙海铭(1993-),男,硕士,主要从事深度学习方面的研究工作。E-mail:tcgd_sunhm@163.com

通讯作者:代作晓(1970-),男,教授,博士生导师,博士,主要从事红外图像处理方面,人工智能的研究工作。E-mail:tcgd_daizx@163.com

收稿日期:2019-03-28;修订日期:2019-04-22

张迪飞^[2]等人通过运用相关算法对红外特征进行提取,然后运用 SVM 算法进行故障分类。2017 年,王万国^[3]等利用卷积神经网络对电气设备进行检测,实验结果表明基于深度学习的目标识别算法可以实现对电气设备的检测。

针对当前电力巡检以及电力巡检机器人存在的问题,选取变电站的绝缘子作为监测对象,主要研究了基于双通道图像的电力设备智能监测,通过双通道图像的协同作用对绝缘子进行识别以及温度监测,整个监测过程实现全自动化^[4],无需人为进行辅助观察,保障检修人员安全^[5]。

2 系统设计

通过研究提出了一种基于双通道图像的电力设备智能监测系统,主要利用可见光与红外相机对被测设备进行图像采集,并利用算法对被测设备进行目标识别与测温,将各被测设备的温度信息存放在数据库中,依据 DLT 664-2008《带电设备红外诊断应用规范》^[6]中设定的预警值进行相关安全预警。系统的总体组成框架如图 1 所示。

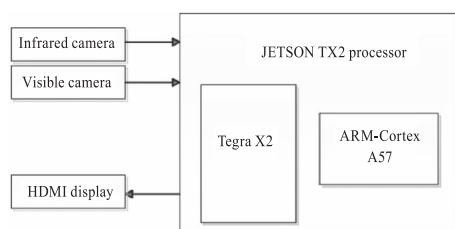


图 1 系统总体框架

Fig. 1 The overall framework of the system

2.1 双通道图像信息采集

双通道图像的采集与传输技术利用了 NVIDIA 公司的 JETSON TX2^[7]平台。这个平台能够同时接上 6 路图像采集通道,采用 GPU 加速,为图像处理提供了可靠的硬件支持。通过对相机的图像采集,可获得相应通道的图像。

2.2 基于 Mask R-CNN 的绝缘子识别

Mask R-CNN^[8]在识别率上比其他神经网络模型具有更加强大的性能,本文通过对 Mask R-CNN 研究^[9],以电力设备中的绝缘子为对象,通过图像采集、建立样本库、图像标注、模型训练与测试等步骤,实现了对绝缘子的可靠识别。

数据样本采集采用 CMOS 传感器的 UC30 可见光相机,光学参数为:分辨率 1280 × 720@60 f/s,水平视角为 25.3°至 70°(2.8 ~ 12 mm)。

在上海市某 800 kV 变电站进行数据采集,包括多种绝缘子等。每次更改拍摄角度都通过实时图像监视软件观察采集图像的清晰度,手动调节探测器焦距,确保采集图像清晰准确,采集了 800 张可用图像,以及多段有效带目标视频。自主建立数据样本集。数据集提供 800 张原始 24 位图像数据、1600 张数据增强和图像预处理后的 24 位增强图像及相对应的基准标签图、训练测试集划分规则^[10]。

对采集的 1600 张典型电力设备进行人工标注。参考 Pascal VOC^[11]数据标注格式,采用 Labelme 软件对数据进行标注。为了方便统计和训练,本数据集同时提供用“A-C”的标签号表示绝缘子种类。

本文将主干卷积网络^[12]设计为 50 层的 ResNet 网络^[13],这里主要考虑了绝缘子目标周边环境特征复杂度和检测任务的难度,若进行精细识别,应该增加残差网络的层数,提高其特征抽象能力。其卷积的网络结构示意图如图 2 所示。

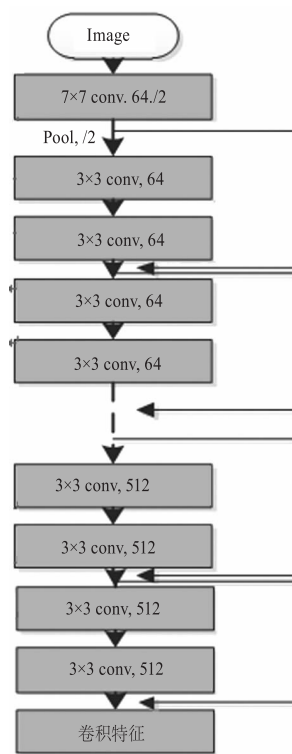


图 2 主干网络

Fig. 2 Backbone network

模型训练阶段主要进行的是数据预处理、超参数调优^[14]等。测试阶段主要利用训练的网络模型对测试图片进行有效验证,图 3 为训练与测试的流程图。

本文实验环境为:CPU:i9-9900k、GPU:GeForce

RTX 2080、内存为 16GB DDR、Ubuntu16.04 Python = 3.6, Tensorflow = 1.10.0, Keras = 2.0.8 的环境, 经过 3600 多次迭代训练, 模型在数据集上的训练 Loss 在 0.09 左右, 其 Loss 变化曲线如图 4 所示。

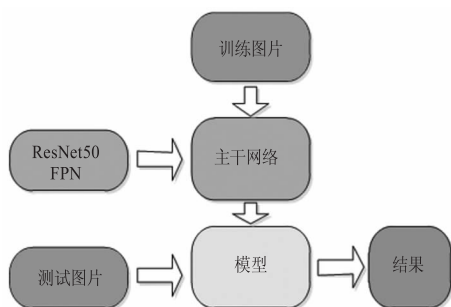


图3 模型训练与测试流程图

Fig. 3 Model training and test flow chart

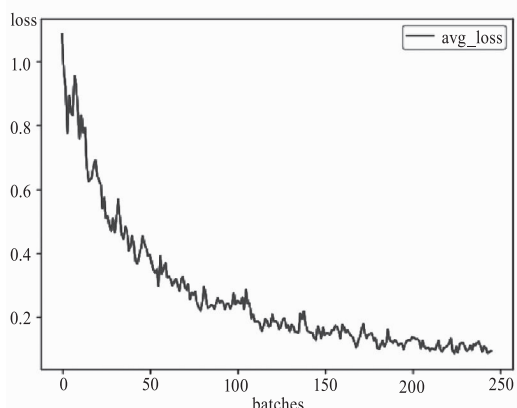


图4 Loss 变化曲线

Fig. 4 Loss curve

根据图 4 可知, 该模型在训练过程中从 Loss 曲线可以看出模型已经有了较好的收敛, 表明模型稳定可用。

为了检测 Mask R-CNN 在检测绝缘子的有效性, 本文使用召回率和精确率衡量模型的性能。利用 500 张图片中的 650 个绝缘子作为测试对象, 测得结果如表 1 所示。

表 1 ResNet50 + FPN 主干网络下检测效果

Tab. 1 Detection effect under ResNet50 + FPN

backbone network

主干网络	测试数	误检数	漏检数	召回率/%	精确率/%
ResNet50 + FPN	650	49	100	86.9	93.2

本文选取的两种绝缘子为测试对象, 其中绝缘子 A 为三节, 绝缘子 B 为四节绝缘子, 检测效果如图 5 所示, 其中包括目标的分类、目标的包围框以及目标物体的掩码。

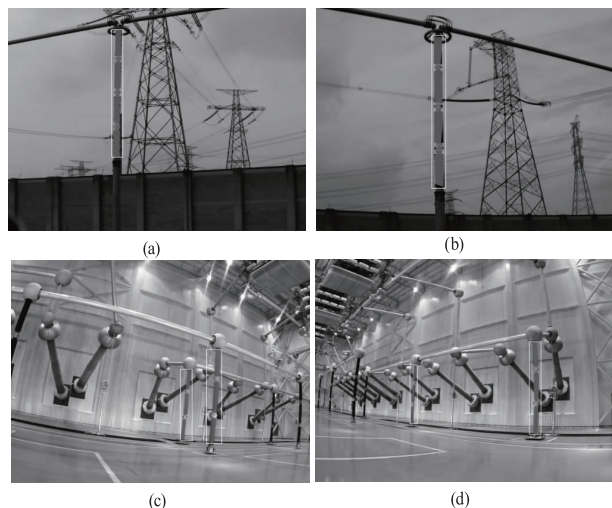


图5 绝缘子检测效果

Fig. 5 Insulator detection effect

2.3 红外 ROI 区域自动定位测温技术

红外热像仪是利用物体辐射能量的变化探测原理^[15]所工作的, 在一定的波长范围之内, 物体的温度变化会导致相应的物体辐射能量变化, 通过计算图像信号的幅度, 从而得到物体的温度, 其中红外热像仪输出图像的信号幅度如式 (1) 所示^[16]:

$$U_s \propto \frac{\omega b T^5}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f(\lambda T) \varepsilon(\lambda) \tau_a(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式(1)中, $f(\lambda T) = \frac{c_1}{b} \frac{1}{(\lambda T)^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$; $\lambda_1 - \lambda_2$ 为

热像仪工作波长范围; ω 为热像仪的瞬时视场角; b 为玻尔兹曼常数; T 为被测目标温度; $\varepsilon(\lambda)$ 为被测目标的光谱发射率; $\tau_a(\lambda)$ 为大气透过率; $R(\lambda)$ 为热像仪的总光谱响应。

仿射变换^[17] (Affine Transformation 或 Affine Map) 是一种二维坐标 (x, y) 到二维坐标 (x', y') 的线性变换, 其数学表达式形式如式 (2) 所示:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 & a_1 \\ b_2 & b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} a_2 & a_1 \\ b_2 & b_1 \end{bmatrix} = C \quad (3)$$

设定 a_i 与 b_i 的值, 可以得到不同的变换, 根据实验需要, 将矩阵 C 设定为单位矩阵, 则通过变化, 红外与可见光的区域变换则会变换为相同的像素位置。选取坐标点, 通过仿射变换, 将可见光图像如图 6 所示。

其中选取测试图像坐标点为:

$$D = \begin{bmatrix} (269,48) & (449,48) \\ (269,108) & (449,108) \end{bmatrix} \quad (4)$$

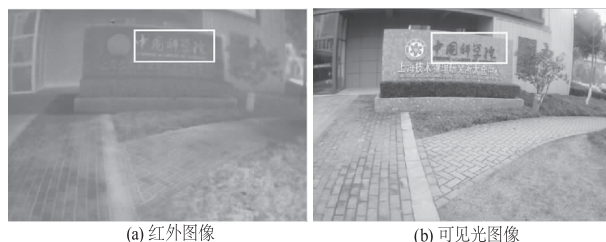


图6 仿射变换结果

Fig.6 Affine transformation results

利用可见光识别的 ROI 区域,通过图像仿射变换,将 ROI 区域作为红外相机自动定位的位置,对其进行主动测温,并且通过测温测量出被测物体的最高与最低温度,根据设置的温度阈值对电力设备的运行进行有效预警。如图 7 所示,通过建立 ROI 区域绝缘子的温度信息自动显示出来。



图7 红外 ROI 区域测温

Fig.7 Infrared ROI area temperature measurement

3 系统总体测试

本文将可见光绝缘子 ROI 区域仿射到红外图像相应区域,利用对绝缘子的红外自动定位测温技术,验证本论文的算法。

(1)采集双通道图像信息,以保证整个系统的实时监测,遇到故障及时报警,监测变电站设备的安全运行。

(2)智能识别绝缘子,利用深度学习框架,通过建立卷积神经网络模型,对绝缘子进行识别,保证了识别的准确率。

(3)对红外 ROI(Region of Interest)区域自动测温,将可见光识别的绝缘子区域作为 ROI 区域,传输给红外相机,利用红外相机的测温功能对感兴趣区域进行测温,自动得到 ROI 区域的最大与最小温

度,从而判断目标绝缘子的状态。

其中程序流程图如图 8 所示。本文设定红外阈值为 50 ℃,当所测得温度超过 50 ℃判定绝缘子存在异常,其余情况设定为正常工作状态。系统的整体测试如下所示,共分为两部分,一部分为室内的监测,一部分为室外的监测,其中室内外绝缘子监测状况如图 9 所示。

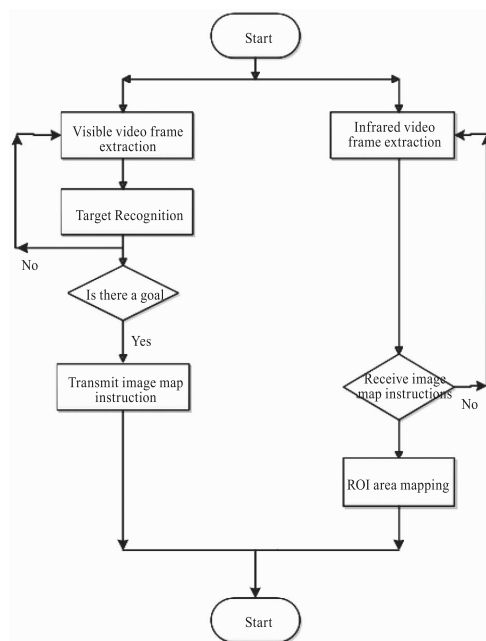


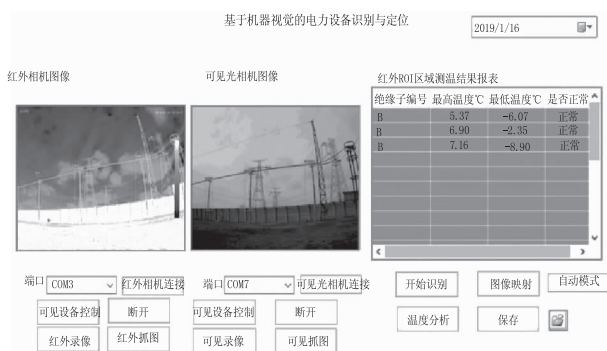
图8 红外自动定位测温流程图

Fig.8 Infrared automatic positioning temperature measurement flow chart

由图 9 可见,可见光相机能够对绝缘子进行识别,红外相机能够对 ROI 区域进行精准定位测温,并且生成测温结果报表,因为室内绝缘子类型定义为 A 类型,所以识别的绝缘子编号为 A,由报表可得绝缘子的运行状态为正常。因为室内所测区域尚未通电运行,所以绝缘子温度较低,和周围环境温度区分不明显。



(a)室内绝缘子监测状况



(b)室外绝缘子监测状况

图9 室内绝缘子监测状况和室外绝缘子监测状况

Fig. 9 Monitoring status of indoor insulators and outdoor insulator monitoring status

室外绝缘子为 B 类型,所以识别的绝缘子编号为 B,运行状态为正常。通过对室外绝缘子的监测,该系统运行状态良好。

4 结 论

针对目前电力监测现状,提出了一种基于双通道图像的电力设备智能监测技术,利用可见光相机对电力设备进行目标识别,将识别区域作为红外相机的 ROI 区域,利用红外相机的测温功能,对 ROI 区域进行自动测温,并生成温度报表。

本文主要以上海市某变电站为背景,测试了系统的软硬件方面。通过测试可知,系统的整体运行状况良好,能够实现对绝缘子的识别,以及红外 ROI 区域自动定位测温功能,并可以生成相关红外 ROI 区域温度报表,经过论证,本系统运行正常。本文首次建立了绝缘子数据库,并对其进行标注,利用 Mask-RCNN 进行训练识别,为利用深度学习进行电力设备识别的研究提供了一定量的数据支持。虽然系统检测准确率较高,但是检测精度仍然受样本数据集规模较大的影响。系统在具有足够数量的样本情况下,可针对所有的电气设备进行有效识别监测,灵活度高,鲁棒性强。

参考文献:

- [1] WEI Gang, FENG Zhongzheng, TANG Yue, et al. Experimental research on diagnostic technology of infrared transmission equipment[J]. Electrical Engineering, 2013, 14(6): 75-78. (in Chinese)
魏刚,冯忠正,唐越,等. 红外线输电设备诊断技术实验研究[J]. 电气工程, 2013, 14(6): 75-78.
- [2] ZHANG Difei, ZHANG Jinsuo, YAO Keming, et al. Ship

target recognition based on infrared-based SVM classification[J]. Infrared and Laser Engineering, 2017, 34(6): 602-606. (in Chinese)

张迪飞,张金锁,姚克明,等. 红外线基 SVM 分类的舰船目标识别[J]. 红外与激光工程, 2017, 34(6): 602-606.

- [3] WANG Wanguo, TIAN Bing, LIU Yue, et al. Research on electronic equipment detection based on region-based drone images based on convolutional neural networks[J]. Geography Magazine-Information Science, 2017, 19(2): 256-263. (in Chinese)

王万国,田兵,刘越,等. 研究基于区域的无人机图像中的电子设备检测基于卷积神经网络[J]. 地理杂志-信息科学, 2017, 19(2): 256-263.

- [4] ZHANG Zeliang. Application of intelligent technology in power system automation[J]. 科技风, 2019, (8): 66-67. (in Chinese)

张泽良. 智能技术在电力系统自动化中的应用[J]. 科技风, 2019, (8): 66-67.

- [5] JI Sheng. The key link of condition maintenance of secondary equipment in power system[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2019, (4): 210. (in Chinese)

季升. 电力系统二次设备状态检修的关键环节[J]. 电子技术与软件工程, 2019, (4): 210.

- [6] TANG Jianneng, JIN Xin, ZHANG Jianzhi, et al. Application analysis of DL/T 664—2016 "infrared diagnostic application specification for live equipment" [J]. Smart Grid, 2017, 5(9): 924-928. (in Chinese)

唐佳能,金鑫,张建志,等. DL/T 664—2016《带电设备红外诊断应用规范》的应用分析[J]. 智能电网, 2017, 5(9): 924-928.

- [7] Qi Jian. NVIDIA Jetson TX2 enables terminal device to realize artificial intelligence[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2017, 17(5): 62. (in Chinese)

齐健. NVIDIA Jetson TX2 赋能终端设备实现人工智能[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2017, 17(5): 62.

- [8] He K, Gkioxari G, Dollar P, et al. Mask R-CNN [C]// IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington, DC, IEEE Computer Society, 2018.

- [9] PENG Qiuchen, SONG Yixu. Object recognition and location based on Mask R-CNN[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2019, 59(2): 135-141. (in Chinese)

- 彭秋辰,宋亦旭.基于Mask R-CNN的物体识别和定位[J].清华大学学报:自然科学版,2019,59(2):135-141.
- [10] LI Guohe,ZHANG Teng,WU Weijiang,et al. A training data set equalization method for machine learning[J]. Computer Engineering and Design,2019,(3):812-818. (in Chinese)
- 李国和,张腾,吴卫江,等.面向机器学习的训练数据集均衡化方法[J].计算机工程与设计,2019,(3):812-818.
- [11] WANG Nana. Research on image classification method based on word bag model[D]. Lanzhou:Lanzhou University of Technology,2018. (in Chinese)
- 王娜娜.基于词袋模型的图像分类方法研究[D].兰州:兰州理工大学,2018.
- [12] BI Song,GAO Feng,CHEN Junwen,et al. Citrus target recognition method based on deep convolutional neural network[J/OL]. Agricultural Machinery News:1-8 [2019-03-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.S.20190320.1817.006.html>. (in Chinese)
- 毕松,高峰,陈俊文,等.基于深度卷积神经网络的柑橘目标识别方法[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.S.20190320.1817.006.html>.
- [13] WANG Jingzhong,YANG Yuan,HE Yunhua. A bad picture recognition framework based on multi-classification and ResNet[J]. Computer Systems,2018,27(9):100-106. (in Chinese)
- 王景中,杨源,何云华.基于多分类和ResNet的不良图片识别框架[J].计算机系统应用,2018,27(9):100-106.
- [14] Li Yanxuan. Research and implementation of abstract and based paper classification and recommendation model[D]. Beijing:Beijing University of Posts and Telecommunications,2019. (in Chinese)
- 李彦轩.基于摘要的论文分类与推荐模型的研究与实现[D].北京:北京邮电大学,2019.
- [15] MA Li,HONG Yongjian,ZHAO Canhui. Study on the application of infrared temperature measurement of substation intelligent robot[J]. Electrical Engineering,2019,(4):49-50,53. (in Chinese)
- 马力,洪永健,赵灿辉.变电站智能机器人红外测温应用研究[J].电工技术,2019,(4):49-50,53.
- [16] CHANG Hui. Application research of automatic inspection system for UAV based on photovoltaic power station[J]. 太阳能,2019,(1):45-47. (in Chinese)
- 常慧.基于光伏电站的无人机全自动巡检系统的应用研究[J].太阳能,2019,(1):45-47. (in Chinese)
- [17] FU Jiahui,WU Xiaofu,ZHANG Suofei. Study on capsule network characteristics based on affine transformation[J]. Signal Processing,2018,34(12):1508-1516. (in Chinese)
- 付家慧,吴晓富,张索非.基于仿射变换的胶囊网络特征研究[J].信号处理,2018,34(12):1508-1516.