

基于深度学习策略的变电站烟火预测分析

黄锐¹, 吕俊涛¹, 任敬国¹, 王智杰², 郭奇军², 贾斌²

(1. 国网山东省电力公司, 济南 250001; 2. 国网山东省电力公司菏泽供电公司, 山东 菏泽 274000)

摘要: 为了实现对变电站的安全监控, 需要对烟火进行有效探测预警, 提出深度学习策略的变电站烟火预测方法。首先建立变电站烟火红外探测图像异常特征点检测模型, 在大气散射环境下进行变电站烟火红外探测图像的热敏感强度自适应融合。对变电站烟火红外探测图像的信息增强处理, 采用红外热点特征检测方法进行图像特征提取, 使用亮度分量进行烟火热敏感透射分析, 对提取的图像细节特征量进行变电站烟火红外探测和预测。仿真结果表明, 变电站烟火红外探测的准确性较高, 烟火的防控能力强, 且变电站烟火红外预测结果分布均匀, 可有效提高抗干扰能力。

关键词: 深度学习; 变电站; 烟火; 预测; 烟火探测

中图分类号: TM761 **文献标识码:** A

Fire prediction analysis of substation based on deep learning strategy

HUANG Rui¹, LV Jun-tao¹, REN Jing-guo¹, WANG Zhi-jie², GUO Qi-jun², JIA Bin²

(1. State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250001, China;

2. State Grid Heze Power Supply Company, Heze 274000, Shandong Province, China)

Abstract: In order to achieve the safety monitoring of the substation, it is necessary to detect and early warn the fireworks effectively, and propose a deep learning strategy for the prediction of the substation fireworks. Firstly, the abnormal feature points detection model of the infrared detection image of the substation fireworks is established, and the adaptive fusion of the thermal sensitivity intensity of the infrared detection image of the substation fireworks is carried out in the atmosphere scattering environment. The infrared hot spot feature detection method is used to extract the image features, the brightness component is used to analyze the pyrotechnic thermal sensitivity transmission, and the extracted image details feature quantity is used to detect and predict the pyrotechnic infrared image in the substation. The simulation results show that the accuracy of infrared detection of fireworks in substation is high, the prevention and control ability of fireworks is strong, and the distribution of infrared prediction results of fireworks in substation is uniform, which can effectively improve the anti-interference ability.

Key words: deep learning; substation; fireworks; prediction; fireworks detection

0 引言

智能红外探测技术的发展, 采用红外探测技术进行变电站的烟火防控和安全管理, 提高变电站的火灾安全防范能力, 采用智能图像处理技术, 进行变电站的烟火防控。在各种复杂环境下进行变电站的烟火探测, 采用红外探测技术进行烟火图像采集, 并根据采集的变电站烟火红外探测图像进行热源探测

和目标识别, 实现对变电站烟火的准确检测和定位, 在低热敏感强度下进行变电站烟火红外探测, 结合图像采集和信息识别方法, 提高变电站烟火红外探测能力^[1]。

收稿日期: 2020-03-12

基金项目: 国网山东省电力公司科技项目资助(5206141800K9)

作者简介: 黄锐(1978-), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力设备运维检修研究及管理工作。

对变电站烟火红外探测图像的热源定位探测和火灾预测是建立在图像信息融合和特征提取基础上,采用目标像素信息融合和增强技术,进行变电站烟火红外探测图像热源定位探测和火灾预测^[2]。本文提出深度学习策略的变电站烟火预测方法,采用红外探测扫描技术进行变电站烟火图像特征采样,采用红外热点特征检测方法进行图像特征提取,使用亮度分量进行烟火热敏感透射分析,最后结合热源跟踪定位方法,实现变电站烟火预测。

1 变电站烟火红外探测异常特征点检测与图像融合

1.1 变电站烟火红外探测图像异常特征点检测

为了实现基于多尺度深度学习的变电站烟火红外探测图像热源定位探测和火灾预测,建立变电站烟火红外探测图像异常特征点检测模型,在大气散射环境下进行变电站烟火红外探测图像的热敏感强度自适应特征分解,采用单帧向量融合方法,得到变电站烟火红外探测的特征重构模型,结合红外目标识别方法^[3],进行模糊度特征提取,得到变电站烟火红外探测的热敏感特征分析模型表达式为:

$$M = \frac{A \times H}{2l \times k} \quad (1)$$

式中, A 为变电站烟火外壳厚度; H 为变电站烟火外壳抗拉强度; l 为变电站外径; k 为变电站外部压力。基于模糊粗糙集理论,进行变电站烟火红外探测图像的优化分割和信息采集,采用模糊信息融合检测方法,对变电站烟火红外探测图像进行压缩感知处理^[4],通过图像分割方法进行低热敏感强度下多模态特征信息重构,设变电站烟火红外探测图像的像素分布强度为:

$$E = \frac{F \times S}{L \times K} - M \quad (2)$$

式中, F 表示变电站烟火红外探测图像像素中心点; S 表示变电站烟火红外探测图像折合因子; L 表示变电站烟火红外探测图像外径; K 表示变电站烟火红外探测图像外部压力。

求得透射率的初始估计值,得到变电站烟火红外探测的层次特征分割函数为:

$$N = \sum_{i=0}^{N-1} [E_{int}(vi) + E_{ext}(vi)] \quad (3)$$

式中, $E_{int}(vi)$ 表示变电站烟火红外探测的实际值函数; $E_{ext}(vi)$ 表示变电站烟火红外探测的基础值函数。采用模糊信息融合方法,在低照明度条件下进行低热敏感强度分析^[5],得到变电站烟火红外探测的信息素分布矩阵表示为:

$$W_u = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

采用自适应参数融合算法进行低热敏感强度下多模态特征分解,对不同亮度分量的边缘轮廓特征量进行信息融合,采用模糊参数识别方法,构建超分辨率聚类下变电站烟火红外探测的超分辨率融合矩阵为:

$$K_{ab} = \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

对上式进行归一化处理,结合模糊信息检测方法,建立变电站烟火红外探测图像的超分辨率重建特征分布集,用 $X_{i,j}$ 来表示 (i,j) 位置处像素点处的灰度等级,对变电站烟火红外探测特征信息进行模糊度融合处理^[6-8]。得到变电站烟火红外探测的暗区域特征分量为:

$$M_{i,j} = M_e(X_{i-1,j-1} \cdots X_{i,j} \cdots X_{i+1,j+1}) \quad (6)$$

式中, M_e 表示常数。根据上述分析,建立变电站烟火红外探测的超分辨率融合度函数,对变电站烟火红外探测特征量进行灰度区域重构,在 $M \times M$ 维空间中进行特征重建,进行变电站烟火红外探测图像的异常特征点检测^[9]。

1.2 红外热点特征检测

采用红外热点特征检测方法进行图像特征提取,建立变电站烟火红外探测图像异常特征点检测模型,在大气散射环境下进行变电站烟火红外探测图像的热敏感强度自适应融合,提取变电站烟火红外探测图像相似度特征量,得到变电站烟火红外探测的模糊度生成序列为:

$$c_1 = \{i \mid i \in S\} \quad (7)$$

$$c_2 = \{(i,j) \mid i' \in N_i, j' \in S\} \quad (8)$$

$$C = c_1 \cup c_2 \quad (9)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, T$,表示变电站烟火红外探测图像的亮区域权重,采用角点检测技术,进行变电站烟火红外探测图像的可变论域分布特征量表示为:

$$\min_{\vec{y}} = \frac{\vec{f}(\vec{x})}{X} - \frac{(f_1(\vec{x}) \cdot f_2(\vec{x}) \cdots f_m(\vec{x}))}{Y} \quad (10)$$

式中, $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X \subset R^m$ 表示变电站烟火红外探测图像暗的地方; X 表示反射光的透射率; $\vec{y} \in Y \subset R^m$ 表示变电站烟火红外探测图像反射分量和照射分量; Y 表示模糊聚类中心指向性函数。

基于多尺度 Kalman 滤波方法对变电站烟火红外探测图像进行深度学习,采用多尺度深度学习方法,得到学习迭代步数满足:

$$|h(\vec{x})| - \delta \leq 0 \quad (11)$$

式中, δ 表示变电站烟火红外探测图像的暗度区域分布特征量, 采用超像素特征匹配方法, 得到变电站烟火红外探测的灰度直方图为:

$$G_j(\vec{x}) = \begin{cases} \max\{0, g_j(\vec{x})\}, & 1 \leq j \leq l \\ \max\{0, |h_j(\vec{x})| - \delta\}, & l+1 \leq j \leq p \end{cases} \quad (12)$$

可简化为:

$$G(\vec{x}) = \sum_{j=1}^p G_j(\vec{x}) \quad (13)$$

根据多尺度深度学习结果, 进行变电站烟火红外探测图像的热源定位探测和火灾预测, 在大气散射环境下进行变电站烟火红外探测图像的热敏感强度自适应融合, 进行红外热点特征检测。

2 变电站烟火预测优化

2.1 变电站烟火红外探测识别

建立变电站烟火红外探测图像的多分辨特征解析分析模型, 根据特征提取结果进行热源定位探测和火灾预测, 使用亮度分量进行烟火热敏感透射分析, 对提取的图像细节特征量采用多尺度深度学习方法进行变电站烟火红外探测图像热源定位探测^[10], 得到变电站烟火红外探测图像的模板匹配集描述为下式所述:

$$T_e(z) = \operatorname{argmax}(y_{kz} + e_k) \quad (14)$$

采用多模特征分解方法, 进行变电站烟火红外探测和识别, 得到变电站烟火红外烟火探测的目标特征匹配集, 在低热敏感强度下多模态参量为:

$$I_k(z) = b \times (g^{kl} \times z + f^{kl}) \quad (15)$$

式中, $b = 1, 2, \dots$, 建立变电站烟火红外探测图像异常特征点检测模型, 对变电站烟火红外探测图像进行优化目标特征提取^[11], 得到变电站烟火红外探测的相似度特征量为:

$$S_{im}(x_c, x_d) = \frac{\sum_{m=1}^p y_{cm} \times \sum_{m=1}^p y_{dm}}{\sqrt{\sum_{m=1}^p y_{cm}^2 \times \sum_{m=1}^p y_{dm}^2}} \quad (16)$$

采用多尺度深度学习方法进行变电站烟火红外探测和热源定位, 提高烟火预测的精度。根据基于深度学习策略的变电站烟火预测分析, 其工作流程如图 1 所示。

2.2 烟火预测输出

采用小波域分块压缩感知算法进行变电站烟火红外探测图像三维重构, 采用模板匹配技术进行变电站烟火红外探测图像的信息增强处理, 以高斯函数作为中心环绕函数, 得到变电站烟火红外探测图像的灰度等级特征分布为:

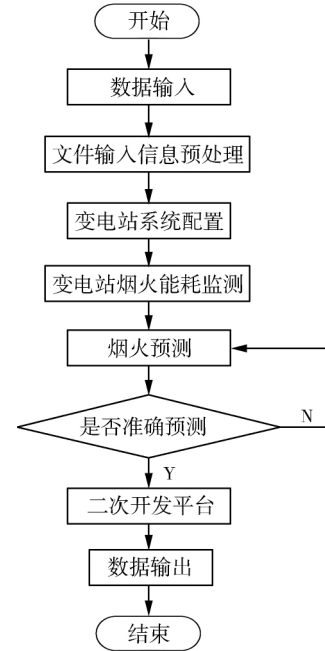


图 1 变电站烟火预测流程图

$$pixel_A = \max(\sum_{i=1}^8 (Q - P)) \quad (17)$$

建立变电站烟火红外探测图像的关键运动特征点匹配模型, 通过模板自动匹配和梯度域特征分解方法, 进行变电站烟火红外探测图像的局部模糊特征检测^[12], 得到热源分布特征点为 $K(x_0, y_0)$, 以 $K(x_0, y_0)$ 为中心, 得到变电站烟火红外探测图像近似空间灰度特征值为:

$$pixel_B = \max(\sum_{i=1}^8 (R - K)) \quad (18)$$

如果 $pixel_A < pixel_B$, 对变电站烟火红外探测图像进行模糊度特征提取, 采用自适应的图像信息增强技术进行多尺度特征分解, 建立变电站烟火红外探测图像的视觉信息采样模型^[13], 提取变电站烟火红外探测图像局部模糊区域的烟火热源的分块区域特征集, 根据烟火热源的分块区域特征分布, 实现变电站烟火红外探测图像热源定位预测, 采用细节增强方法进行低照度图像增强处理^[14], 设 $J(x) t(x)$ 为模糊透射率估计值, 得到变电站烟火红外探测图像的灰度特征量为:

$$B_n(X) = R_\beta X - R_\beta X_1 \quad (19)$$

式中, R_β 表示变电站烟火红外探测图像的灰度基数。构建变电站烟火红外探测的模糊度检测模型, 获得变电站烟火红外探测图像的视觉分布像素值。

构造变电站烟火红外探测图像的相似度特征分辨模型, 结合像素分布矩阵进行变电站烟火红外探测和三维重建^[15], 建立变电站烟火热源分布的局部

模糊弧度的轨迹分布函数。

变电站烟火红外特征分布的灰度像素集为 $M \times N$, 采用多模态特征分解方法, 得到变电站烟火红外探测图像的深度学习模型为:

$$\begin{cases} x = R \sin \eta \cos \phi, & 0 \leq \phi \leq 2\pi \\ y = R \sin \eta \sin \phi, & 0 \leq \eta \leq \pi \\ z = R \cos \eta, & R = D/2 \end{cases} \quad (20)$$

式中, η 表示变电站烟火红外探测图像的边缘亮度; ϕ 表示变电站烟火红外探测的稀疏特征分量; R 表示变电站烟火红外探测图像的模板匹配系数; D 表示变电站烟火红外探测的边缘模糊像素集, 根据边缘像素信息融合结果, 进行变电站烟火红外探测图像的热源定位探测和火灾预测。

3 仿真实验与结果分析

为了验证本文方法在实现变电站烟火红外探测和火源预测中的应用性能, 进行仿真实验分析, 结合 Visual C++ 和 MATLAB 进行仿真测试和算法设计。对变电站烟火着火点信息采样的间隔为 0.46s, 样本的帧长度为 1200, 变电站烟火探测的图像分块大小为 8×8 , 模糊相关性像素分布系数为 0.48, 热源控制的模糊增益 $\Delta = 2.5$, 控制器尺寸 $180\text{mm} \times 170\text{mm}$, 电源开关的电压为 10V, 工作电流为 5A, 电路板消耗电压为 15V, 报警器选用无源报警器, 通信接口为 RS485 接口, 系统工作湿度为 10% ~ 90%。根据上述参数设定, 进行变电站烟火红外探测, 场景图如图 2 所示。



图2 变电站烟火红外探测场景图

由图 2 可知, 矩形位置处为火点区域, 提取变电站烟火红外探测图像局部模糊区域的烟火热源的分块区域特征集, 根据烟火热源的分块区域特征分布, 实现变电站烟火红外探测图像热源定位预测。在图 2 的变电站烟火红外探测场景中, 基于深度学习策略进行烟火预测分析, 得到原始的变电站烟火探测的红外图像如图 3 所示。

以图 3 的红外图像为研究对象, 采用红外热点特征检测方法进行图像特征提取, 使用亮度分量进

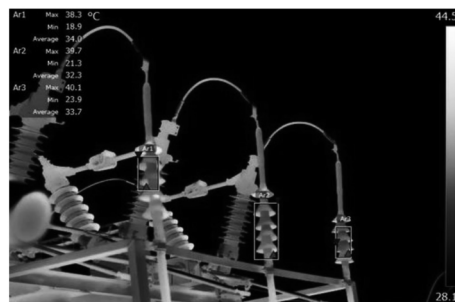


图3 变电站烟火探测的原始红外图像

行烟火热敏感透射分析, 实现烟火预测和定位, 其结果如图 4 所示。



图4 烟火预测和定位结果

分析图 4 得知, 本文方法进行变电站烟火红外探测可精准分辨出烟火位置, 实现预测与定位, 其准确性较高。为进一步验证本文方法的可行性, 利用该方法进行变电站烟火预测分布, 其结果如图 5 所示。

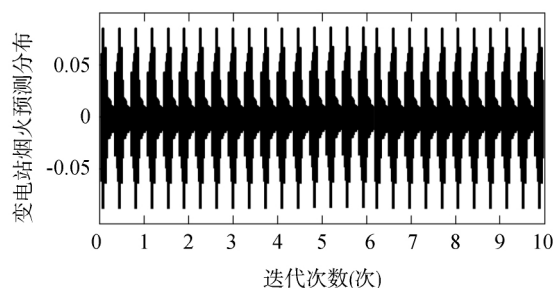


图5 变电站烟火预测分布结果

由图 5 可知, 本文方法进行变电站烟火红外预测, 其结果分布均匀, 可有效提高预测的准确性和抗干扰能力。本文方法强化了处理器装置, 可有效去除干扰, 除外, 变电站烟火预测对整个运行环节进行了全方位实时监控, 有效避免了恶意病毒的侵入。同时在系统内部配备了杀毒软件, 当强力病毒入侵时, 杀毒软件会迅速启动, 制止外来信号干扰系统的正常工作, 因此本文方法进行变电站烟火预测分布结果均匀。

4 结束语

在低热敏感强度下进行变电站烟火红外探测,结合图像采集和信息识别方法,提高变电站烟火红外探测能力,本文提出深度学习策略的变电站烟火预测方法。采用红外探测扫描技术进行变电站烟火图像特征采样,建立变电站烟火红外探测图像异常特征点检测模型,在大气散射环境下进行变电站烟火红外探测图像的热敏感强度自适应融合,采用红外热点特征检测方法进行图像特征提取,使用亮度分量进行烟火热敏感透射分析,对提取的图像细节特征量采用多尺度深度学习方法进行变电站烟火红外探测和预测,实现烟火目标点准确定位识别。分析得知,本文方法进行变电站烟火红外探测的准确性较高,提高了烟火的防控能力,在变电站安全管理中具有很好的应用价值。虽然本文研究的变电站烟火预测具备一系列优势,但在变电站系统界面优化上仍然有待提高,仍然有许多参数没有得到优化,因此在未来的研究中可在该方面进行更加深入的分析。

参考文献:

- [1] 吴炳基. 基于 B/S 架构的变电站三维视景系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2018, 6: 22-24.
- [2] Hou C, Nie F, Li X, et al. Joint embedding learning and sparse regression: a framework for unsupervised feature selection [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2014, 44(6): 793-804.
- [3] Guo Chun-yi, Zhao Cheng-yong, Iravani R, et al. Impact of phase-locked loop on small-signal dynamics of the line commutated con-

verter-based high-voltage direct-current station [J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2017, 11(5): 1311-1318.

(上接第 25 页)

实现全国海洋观测数据传输的规范化统计与统一监控管理,提升我国海洋观测数据传输的运行监控管理效率。

参考文献:

- [1] 靳熙芳,王硕. 海洋环境数据智能化监控的现状与关键技术[J]. 海洋预报, 2009, 26(2): 95-102.
- [2] 李颖,杨光松,郭文静,等. 一种基于 ZigBee 的海洋环境监控系统设计与实现[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2018, 32(9): 149-156.
- [3] 陶维涛. 基于 Cortex-M4 的海洋浮标远程监控系统[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2017.
- [4] 王振浩. 潮流能发电系统监控软件设计与开发[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [5] 王跃洋. 基于对象——关系模型的海洋可控源电磁数据监控系统设计与开发[D]. 长春: 吉林大学, 2016.

- [4] 刘琨,黄明辉,李一泉,等. 基于状态信息关联关系的智能变电站继电保护在线监测方法[J]. 现代电力, 2017, 34(6): 85-91.
- [5] Guo Chun-yi, Liu Wei, Zhao Cheng-yong, et al. Small-signal dynamics and control parameters optimization of hybrid multi-infeed HVDC system [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2018, 98: 409-418.
- [6] 沈海平,姚楠,黄薛凌,等. 基于智能视觉的变电站设备状态智能巡视[J]. 现代电子技术, 2017, 40(9): 169-172.
- [7] 佟为明,高吉星,金显吉,等. 智能变电站过程层网络报文传输时间计算及抖动抑制方法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(6): 131-137.
- [8] 唐志军,翟博龙,林国栋,等. 信息融合技术在智能变电站故障分析决策中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(10): 84-88.
- [9] 张向东,许磊,王祥哲,等. 基于模糊综合评判的智能变电站告警系统研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(10): 26-31.
- [10] 王磊,李达锋,武梦园,等. 基于三维可视化的智能变电站辅助支持系统设计[J]. 湘潭大学学报: 自然科学版, 2019, 41(2): 118-126.
- [11] 李敏. 智能变电站 220kV 线路保护检修安全措施方案研究[J]. 电工电气, 2018(10): 39-42.
- [12] 孙晓云,刘玉秀,刘志涛,等. 变电站一次设备的状态检修分析[J]. 通信电源技术, 2018, 35(7): 245-246.
- [13] 余娟,杨燕,杨知方,等. 基于深度学习的概率能量流快速计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(1): 22-30.
- [14] 李勇,陈雨,蔡晔,等. 基于信息物理接口矩阵的 IEC61850 变电站自动化系统可靠性分析[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(1): 84-90, 98.
- [15] 曹文彬,王先培,田猛,等. 基于 KELM 和 AT 的 SF6 变压器故障诊断[J]. 变压器, 2018, 55(12): 72-76. 责任编辑: 丁玥
- [6] 余卫江,陈卫泽,冯辉艺,等. 实时数据监控系统在海洋石油勘探开发中的应用[J]. 计算机与应用化学, 2011, 28(8): 1072-1074.
- [7] 张晨. 基于工业物联网实验平台的远程监控系统设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [8] 孙立军,刘艺伟. 流量计校准网络监控系统[J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版, 2018, 51(8): 825-831.
- [9] 田毅,段志国,闫震,等. 电力网络质量监测系统的设计与实现[J]. 信息技术, 2020, 44(2): 143-147.
- [10] 王立俊,李晋峰,程洪涛,等. 气象资料实时传输监控系统应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2018, 28(3): 183-191.
- [11] 王志鹏,段浩,卢郑兴. 基于 NB-IoT 的工业设备报警实时远程监控系统设计[J]. 电子设计工程, 2020, 28(5): 61-70.
- [12] 杨宁,李彦,路宽,等. 基于 C#. NET 的海洋能发电装置室内定型测试数据监控管理系统的设计与实现[J]. 海洋技术学报, 2015, 34(6): 83-86. 责任编辑: 丁玥