

Harris 角点检测在电力设备状态监测中的应用

尹腾飞, 张菁, 李志伟

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620)

摘要: 人们对电力设备的要求逐渐提高, 电力设备的带电检测、在线监测、巡检和试验、运行工况、环境等是电力设备状态监测和评估发展的必然趋势; 由于一些大型电力设备长期工作在户外恶劣的环境下, 随着时间的推移, 其性能会下降并逐渐降低用电可靠性; 为了更好地实现对电力设备的监测并保证电力系统的正常运行, 针对常见电力设备运行中出现故障的特点, 该文采用 Harris 角点检测监控电力设备状态的方法来对电力系统中的运行设备进行监测; 该方法将摄像头搜集的实时图像和正常运行的电力设备状态进行比较, 根据比对采集到的图像焦点特征来判断正在运行的电力设备是否发生故障, 以便于电力设备监测的工作人员及时采取合理的处理措施对已故障的设备进行保养和维护; 该方法不仅减轻了维修人员的工作负担, 还减少了因设备故障导致的用电事故, 从而大幅度提高了电力系统的安全性和稳定性。

关键词: harris 角点检测; 电力设备; 状态监测; 图像处理

Application of Harris Corner Detection in State Monitoring of Electric Equipment

Yin Tengfei, Zhang Jing, Li Zhiwei

(School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620)

Abstract: The demand for electric power equipment is increasing gradually. The electrification detection, on-line monitoring, inspection and test, operating condition and environment are the inevitable trend of the state monitoring and evaluation of the power equipment. Because some large power equipments work in the outdoor environment for a long time, their performance will decrease with time, and gradually reduce the reliability of electricity. In order to better realize the monitoring of the power equipment and ensure the normal operation of the power system, in view of the characteristics of the fault in the operation of the common power equipment, this paper uses the Harris corner detection to monitor the state of the power equipment to monitor the operating equipment in the power system. This method compares the real-time image collected by the camera with the state of the normal running power equipment. According to the comparison of the focus features of the captured image, it can judge whether the power equipment in operation is malfunction, so that the staff of the power equipment monitoring will take reasonable measures to ensure the equipment that has been broken down in time. To be properly maintained and repaired, this method not only reduces the work burden of the maintenance personnel, but also reduces the electrical accidents caused by the equipment failure, thus greatly improving the security and stability of the power system.

Keywords: harris corner detection; power equipment; state monitoring; image processing

0 引言

大型电力设备一般是暴露在户外的条件下工作, 因此其在运行过程中除了会受热的、电的、机械的负荷作用的影响外, 还有自然环境(温度、气压、湿度等)的影响。长期在这种环境下工作, 容易导致电力设备的性能下降且逐渐降低其用电可靠性。此外, 一些电力设备的绝缘材料长期工作在在高压、高温的环境下, 其结构和成分也会发生变化, 导致介质损耗随之增大、绝缘性能逐渐下降甚至

消失; 还有一些绝缘子是工作在大气中的, 极易受环境污秽的影响, 导致其表面绝缘性能下降, 从而引起电路故障^[1]。

目前, 根据调查了解到国内外常用到的对电力设备监测的方法主要包括以下几种: 光谱法; 紫外脉冲法; 径向温度法; 超声波检测法等。这些检测方法均取得了一定的效果, 但分析文献之后发现很多研究方法依旧存在着危险性高、算法复杂等问题, 均需要进一步深入研究。由于各个行业对电量需求的增加, 电力系统规模也在不断扩大, 电力设备的故障率也在不断增加^[1]。因此, 对电力设备可靠性的要求也越来越高, 特别是在变电站逐渐普及的情况下, 对电力设备的故障检测提出了更高的要求。目前, 我国大部分变电站已建立了在线监测系统, 部分变电站已实现无人工作。然而, 变电站的电源设备种类繁多, 结构复杂。无论是在常规变电站还是无人值班变电站, 都需要使用在线监测或故障专家诊断系统作为辅助决策技术, 以提

收稿日期: 2018-05-08; **修回日期:** 2018-05-25。

基金项目: 国家电网公司科技项目(E4-6000-16-0067-(16)DZ-004)。

作者简介: 尹腾飞(1995-), 男, 河南夏邑人, 研究生, 主要从事电力系统分析方向的研究。

张菁(1969-), 女, 上海人, 副教授, 主要从事电气工程及其自动化方向的研究。

高其监控系统的监控能力。为了实现无人值守的真正实现, 必须增加电力设备在线监测系统和故障诊断。

因此, 针对常见电力设备故障的特点, 本文提出一种基于 Harris 角点检测的方法来实现对电力设备的监测, 该方法将摄像头搜集的实时图像和正常运行时电力设备的图像进行比较, 监测的工作人员根据两幅图像中角点的差异对比来判断电力设备是否发生故障, 以便及时采取相应的处理措施, 从而确保整个电力系统运行的安全性和稳定性^[2]。

1 Harris 角点检测算法

在图像处理的时候, 角点是表现对象局部特征的关键因素, 它不仅保留处理对象的重要特征信息, 还可以有效去除图像中的无关因素, 大大提高了图像处理效率^[2]。

Harris 算法是以 Moravec 算法为基础的, Moravec 算法计算的是以所取的点为基础, 沿上下左右 4 个方向计算的窗口灰度变化值。与 Moravec 算法不同的是, Harris 角点算法是通过计算窗口沿任意方向移动后的灰度变化值^[3]。

该算法的步骤如下:

1) 利用 Harris 角点检测算法检测模板图像并查找角点。

2) 在检测到的 Harris 角点找到一阶特征点。在多个一阶特征点上, 我们发现高阶特征点。无参考图像角点检测是因为参考图像通常较大, 消耗更多的时间。

3) 在参考图像中找到具有相同灰度值和一阶特征点的灰度值的所有点, 并计算 8 个邻域的灰度值和灰度值的灰度值是否与一阶特征点相同, 如果相同, 则关键点是参考图像上的特征点的位置^[4]。

模板图像上的点和参考图像上的对应点不是传统模板图像上的点, 但是可以通过简单转换找到角点的位置和参考图像中的图像的位置^[5]。

除此之外, 作出改进的是, Harris 算法用解析的形式进行表达: 设以像素点 (x, y) 为中心的窗口沿 X 方向上移动 u 个单位长度, 沿 Y 方向上移动 v 个单位长度^[6]。据此, Harris 给出了灰度变化度量的解析式:

$$E(x, y) = \sum_{u,v} W_{u,v} |I_{x+u, y+v} - I_{u,v}|^2 = \sum_{u,v} W_{u,v} [xX + yY + O(x^2, y^2)]^2 = Ax^2 + By^2 + 2C_{xy} \quad (1)$$

$E(x, y)$ 为窗口内的灰度变化量; W 为图像的窗口; I 为图像的灰度。

在这个操作系统中, 如果监测到图像的角点图像窗口的偏移, 它的自相关函数 $E(x, y)$ 也会相应改变。

其中: A 、 B 、 C 是二阶方程方向微分的近似表达, 也可用以下表达:

$$\begin{cases} A = X^2 \otimes h(x, y) = I_x^2 \otimes h(x, y) \\ B = Y^2 \otimes h(x, y) = I_y^2 \otimes h(x, y) \\ C = XY \otimes h(x, y) = I_x I_y \otimes h(x, y) \end{cases} \quad (2)$$

$$X = I \otimes |1 \ 0 \ -1| \approx \frac{\partial I}{\partial x} \quad (3)$$

$$Y = I \otimes |1 \ 0 \ -1| \approx \frac{\partial I}{\partial y} \quad (4)$$

其中: $h(x, y)$ 表示的是高斯平滑滤波函数, X 、 Y 表示的是一阶方向上的微分, 图像灰度分别与 x 的差分算子, 用 $|1 \ 0 \ -1|$ 和 $|1 \ 0 \ -1|^T$ 表示^[7]。

这样的话方程 $E(x, y)$ 可转化为:

$$E(x, y) = [x, y] M \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$M(x, y) = \begin{bmatrix} A(x, y) & C(x, y) \\ B(x, y) & D(x, y) \end{bmatrix} \quad (6)$$

如果最终得到的系统 M 矩阵的两个特征值都是大的, 则此时图像灰度自相关函数的两个正交方向的极值曲率较大, 也就是说这个点是角点。本文基于 Harris 角点检测的图像定义了灰度值特征, 并以灰度值特征作为匹配基准^[8]。

Harris 角点检测算法虽然是一种经典的角点检测算法, 但该方法仍然存在以下不足:

1) 在对角点测量中执行非极大值抑制。在确定局部极大值时, 角点提取的效果取决于单个阈值的设置。

2) 虽然采用了可调窗口的高斯平滑函数, 但在实际应用中, 高斯窗口则不易控制。

3) 当平滑的高斯函数平滑图像时, 由于过度平滑, 会导致角信息将丢失。

总的来说, Harris 角点算法是一种效率很高的图像角点提取的算法, 其优点主要有两个方面:

1) 提取的角点均匀而且合理^[9]。Harris 角点算法对图像中的所有出现的点都会计算出其响应值, 然后在邻域内寻找最优的点。

2) 提取的角点稳定可靠。在图像中, 只要没有大的尺度变化, Harris 算法都能提取出相对稳定的角点^[10]。

2 算法的功能设计

根据角点监测流程图可知, 首先要对首帧图像的角点进行提取: 在摄像头固定的情况下, 先由监测管理的工作人员调整摄像头的焦距, 寻找最佳的图像监测位置。焦距固定之后, 对首帧图像进行预处理并作出角点选取^[11]。接下来, 由工作人员选取首帧图像中的角点作为目标角点, 循环提取摄像头采集到的图像并按照同样的处理方式对角点比对^[12]。

具体操作过程如下:

- 1) 调整设备, 建立通讯连接;
- 2) 记录设备正常运行时的 Harris 角点检测处理结果;
- 3) 平滑移动摄像头, 调整焦距, 当目标 (电力设备) 清晰地出现在设定位置时开始测量;
- 4) 读取目标初始状态, 并采集图像;
- 5) 图像预处理;
- 6) 获取图像中的目标信息;
- 7) 利用 Harris 角点检测的方法对图像进行处理;

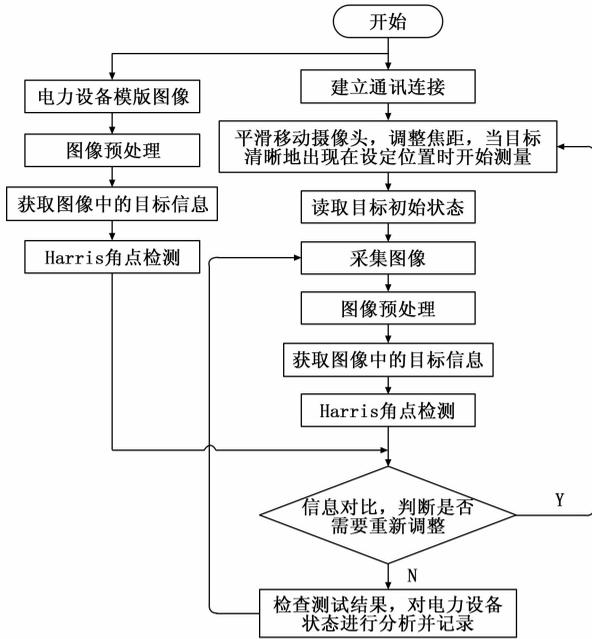


图 1 角点监测流程图

8) 将处理后的图像与之前记录的图像进行对比, 判断电力设备是否故障;

9) 有故障及时上报, 有工作人员维修; 没有故障进入下一步;

10) 一轮检测结束, 继续监测^[13]。

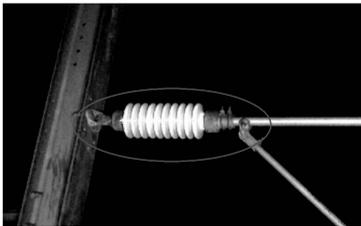


图 2 正常运行的绝缘子串拍摄图

操作中的难点和注意事项:

1) 建立通讯连接时, 应当注意保证设备信号的稳定性, 避免因外界信号干扰导致图像失真;

2) 目标和背景的自适应分割: 由于目标发热程度不同和范围各异等因素导致图像分割比较困难;

3) 设备的类型较多, 就要考虑多种颜色和亮度变化, 并且目标本身的颜色、亮度也不是一成不变的(老化、光线因素), 这样也造成了光学图像的分割困难;

4) 环境因素的影响: 如大雾、雨雪天气会造成图像的整体噪声和亮度异常, 也会加剧目标分割的困难^[14];

5) 部位尺寸的估计: 尺寸的估计依赖于图像分辨率, 对于分辨率粗糙的图像还要做超分辨率处理, 以提升图像的分辨质量;

6) 光线的好坏会导致摄像头采集到的点的亮度不一, 增加识别困难^[15]。

3 实验结果与分析

图 4 为该监测系统从摄像头上传的图片中提取的某个时刻的绝缘子串状态的图片, 经过 Harris 角点检测, 通过对比发现图 4 中的角点相对图 3 增多, 据此可以判断该绝缘子串发生故障, 需要工作人员及时采取处理措施, 避免发生用电事故^[16]。绝缘子串故障如图 5 所示。

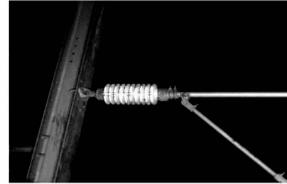


图 3 正常角点监测

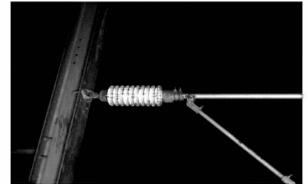


图 4 故障角点监测

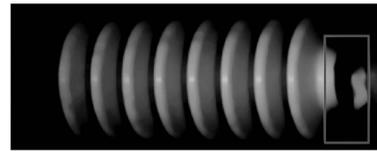


图 5 绝缘子串故障图

当监测系统对比两帧图像时, 一旦发现图像中角点变化, 就会立马发出报警信号提醒工作人员进行及时检查并做出处理。此外, 当设备没有发生故障时, 工作人员可以通过该监测系统切换至实时监测界面, 进而观测电力设备的具体信息和状态。

结果表明, 该方法可以减少数据冗余, 明显减少运算时间, 极大地提高了角点检测的效率和精度^[17]。该算法易于编程, 能满足摄影测量等快速角点检测的需要。

Harris 角点检测方法可以自适应地检测电力设备和边缘部分的细节, 并通过与设备的标定边缘图像进行比较, 可以识别电力设备运行的变化。例如, 该方法用于绝缘子的红外图像和传输的计算。它还可以识别导线断开、绝缘子断裂、铁塔损坏和变形等故障, 可以促使电力工作者及时排除隐患, 保证电力系统的安全运行^[18]。

通过该方法, 基本实现了远程对电力设备的运行状态进行监控, 大大减少了设备检修人员的工作负担且大大提高了电力设备检测的准确性和效率^[19]。但是, 该方法进行实践是发现以下几问题:

1) 检修的电力设备不具有普适性: 通过对该方法的介绍不难看出, 对于一些精密度较高的电气设备是无法通过该方法对其进行质量监测的;

2) 检修时受环境因素影响较大: 由于该方法检测的依据是图像, 对于图像的采集效果是检测结果的决定性因素。在图像采集时, 极易受到光线, 温度, 湿度, 气候等环境因素的影响^[20]。

4 结语

由于人们对电力系统安全运行的要求, 电力系统运行过程中的常见故障不仅会影响整个电力系统的安全稳定, 还会严重影响人们的生活和企业生产。因此, 电力相关人

员必须了解和掌握电力系统运行中常见故障的诊断方法, 然后采取有效措施加以解决, 以保证电力设备运行系统的安全稳定运行, 从而满足电力系统的需求。

随着电力设备运行时间的增长和消耗增加, 其性能和可靠性也会逐渐下降, 导致设备出现故障的概率也逐渐增大, 这些都很有可能导致电力系统的崩溃。然而人工检测又太过繁琐, 需要消耗大量的人力物力。本文提出的 Harris 角点监测的方法大大节省了时间, 并大幅度提高了工作效率: 通过对这些电力设备的运行状态进行监测, 实时掌握它们的状态, 一方面不会影响到系统的正常运行; 另一方面又可以直接反映设备的运行状态, 保障了整个电力系统安全有效地运行。

Harris 角点检测在电力设备状态监测中的应用还存在许多不足, 需要不断完善, 今后需要进一步开展工作, 可从以下两个方面进行:

1) 在系统功能方面, 需要研究图像处理在一些专业领域的实现。例如, 可以将一些更成熟和简单的图像处理系统添加到软件中, 如简单的指纹识别、车牌识别系统等, 这使得用户更容易全面了解图像处理的完整系统。

2) 算法的进一步优化。近年来, 随着图像处理算法的快速发展, 进一步研究更为优化和高效的电力设备快速维护算法具有重要意义。

参考文献:

- [1] 潘嵘嵘, 张增涛, 朱翔, 等. Harris 角点检测在列车滑动监测系统中的应用 [J]. 微计算机信息, 2012 (10): 139-140.
- [2] 郭晓旭, 刘志刚, 张桂南, 等. 角点配准与图像差分的接触网绝缘子故障检测 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27 (2): 8-14.
- [3] 王崑, 唐一平, 任娟莉, 等. 一种改进的 Harris 角点提取算法 [J]. 光学精密工程, 2008, 10 (16): 1997-2001.
- [4] 张冬亚. 电力设备图像的特征提取和分类方法的研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2014.

(上接第 33 页)

系统采用 LabVIEW 语言编程, 开发周期短, 自动化程度高, 具有很强的抗干扰能力。在数据采集, 数据处理以及结果分析方面, 比其他语言更为方便^[10]。

基于虚拟仪器的自动测试系统, 充分利用了先进的硬件资源, 发挥了更高的开发效率。降低了测试人员的工作强度, 提高了测试的精确度和效率。对于自动测试行业有着非常积极的推动作用。

参考文献:

- [1] 赖根, 肖明清, 夏锐, 等. 国外自动测试系统发展现状综述 [J]. 探测与控制学报, 2005, 27 (3): 26-30.
- [2] Ertugrul N. Towards virtual laboratories: A survey of LabVIEW-Based teaching/learning tools and future trends [J]. Engineering Education, 2000, 16 (3): 171-180.

- [5] 张浩, 王玮, 徐丽杰, 等. 图像识别技术在电力设备监测中的应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (6): 88-91.
- [6] Gualtieri I. Wind resource extrapolating Tools for modern multi-MW wind turbines: comparison of the deaves and Harris model VS. the power law [J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2017, 170.
- [7] 赵小川. MATLAB 图像处理 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.
- [8] 李祥, 崔昊杨, 皮凯云, 等. 基于改进遗传算法的电力设备红外图像分割研究 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (21): 56-58.
- [9] 岳彩兵, 张国华, 马军勇. 基于图像分块的 Harris-SIFT 特征匹配算法 [J]. 现代电子技术, 2013 (22): 73-75.
- [10] Wang L P, Zhang L P, Zhao M, et al. An algorithm for moving target detection in IR image based on grayscale distribution and Kernel function [J]. Journal of Central South University, 2014, 21 (11): 4270-4278.
- [11] 李博, 杨丹, 张小洪. 基于 Harris 多尺度角点检测的图像配准新算法 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42 (35): 37-40.
- [12] 卢伟家, 刘缠牢. 一种基于 Harris 特征点检测的改进算法 [J]. 仪表技术与传感器, 2017 (12): 107-109.
- [13] 许丽娟. 飞行器遥感图像的远程定位监控仿真研究 [J]. 计算机仿真, 2016, 33 (8): 26-29.
- [14] 佟喆. 基于视觉表达的工业设计合理性评估方法研究 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (14): 154-157.
- [15] 赵万金, 龚声蓉, 刘纯平, 等. 一种自适应的 Harris 角点检测算法 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (10): 212-214.
- [16] 赵文君, 李泉. 基于 Harris 算法的无人机影像拼接技术 [J]. 软件导刊, 2018 (4).
- [17] 汪立, 蒋念平. 基于改进 Harris 角点检测的视网膜图像配准 [J]. 电子科技, 2017, 30 (2): 119-122.
- [18] Ryu J B, Lee C G, Park H H. Formula for Harris corner detector [J]. Electronics Letters, 2011, 47 (3): 180-181.
- [19] Wang Z, Li R, Shao Z, et al. Adaptive Harris corner detection algorithm based on iterative threshold [J]. Modern Physics Letters B, 2017, 31: 175-181.
- [20] 陈白帆, 蔡自兴. 基于尺度空间理论的 Harris 角点检测 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2005, 36 (5): 751-754.

- [3] 陆海霞. 信号继电器自动测试系统的研究与实施 [D]. 北京: 北京交通大学, 2001.
- [4] 王宝龙, 黄考利, 魏忠林, 等. 基于 LabVIEW 的通用自动测试系统设计 [J]. 兵工自动化, 2005, 24 (6): 31-32.
- [5] 姚伯堂. 基于虚拟仪器的数字万用表自动检定系统的研究 [D]. 西安电子科技大学, 2012.
- [6] 谭晓波. 达林顿晶体管阵列 ULN2800 系列及其应用 [J]. 微计算机信息, 1999 (3): 73-73.
- [7] 张仁亮, 刘北英, 李占锋. 基于 LabVIEW 虚拟仪器自动测试系统的设计开发 [J]. 机械制造与自动化, 2006, 35 (3): 143-145.
- [8] 周律, 朱金龙, 周昱明, 等. 基于虚拟仪器的电子镇流器自动化测试系统 [J]. 电源技术, 2015, 39 (6): 1302-1304.
- [9] 王树东, 魏孔贞, 李晓培. 基于 LabVIEW2012FPGA 模式的数据采集和存储系统 [J]. 现代电子技术, 2014 (14): 142-145.
- [10] 王艳双. 基于 LabVIEW 的平面光波导器件多功能测试系统研究 [D]. 吉林大学, 2015.