

基于无人机航拍的可见光 与红外光光伏板热斑图像配准方法研究

孙学智

吉林工业职业技术学院智能制造学院 吉林省吉林市 132000

摘要：随着光伏电站建设的越来越多，采用无人机进行运维大大节省时间和人员成本。利用无人机航拍照片进行可见光和红外光图像配准与融合，可见光图像和红外光图像根据自身特点，图像中呈现不同的信息。利用 RIFI 图像配准算法，将二者进行配准，将同一场景的两幅图像完美重合，通过分析图像来获得光伏板热斑信息，可以快速找到光伏板热斑的位置并判断其性质，规避了单一图像的缺点，可以快速有效的进行光伏电站运维。

关键词：光伏热斑；图像配准；RIFI 算法

引言

为了实现碳达峰和碳中和目标，近几年我国大力发展绿色能源，光伏发电便是绿色能源的重要产业。截止 2023 年，我国光伏发电量 5841 亿千瓦时，占全国发电量的 6.3%，同比增长 36.7%，占全球比重 35.6%，位居世界第一位^[1]。各省市根据自身情况大力建设光伏电站。影响光伏板发电的主要因素有：光伏板质量、遮挡情况、灰尘污渍等原因。所以需要光伏电站进行有效的运维。而光伏电站的建设具有占地面积大、阳光资源丰富^[2]、地处偏远等特点，因此光伏电站的人工巡检呈现时间长、效率低、增加成本等不利因素。

随着无人机技术、图像分析技术、物联网技术等广泛应用。采用无人机进行光伏电站巡检，将航拍图像进行可见光与红外光的有效分析，分辨热斑性质和位置。及时通知维修人员和生成报告。一人（操作人员）、一机（巡检无人机）。一软件（巡检系统软件）即可完成大面积光伏电站巡检，大大节省时间和人力成本，实现智慧运维。

光伏板热斑是影响光伏板发电的主要因素，如不及时处理，将影响发电效率，甚至引起光伏板短路造成火灾，找到热斑的位置和判断其性质是运维主要完成的工作。热斑主要分为临时型热斑和固有型热斑两种。临时型热斑主要由鸟粪、树叶、沉灰等遮挡造成，及时清除即可。固有型热斑主要是光伏板内部结构被破坏造成，需要维修或者更换。传统的热成像图像分析，只能判断热斑，无法判断性质，因此不能及时进行热斑处理，仍需人工判断。而进行双光融合图像处理，可以直接判断热斑位置和性质，提高运维效率和准确

率。

可见光图像与红外光图像的特点与差异

可见光图像是我们人眼日常观察到的图像，具有丰富的色彩信息，可以直观反映光伏板表面异物。红外光图像，主要依赖于热辐射，由于光伏板工作的时候产生热量，可以有效的捕捉热信号，主要反映温度分布。可见光图像与红外光图像如图 1 所示，具体特点与差异详见表 1 所示。

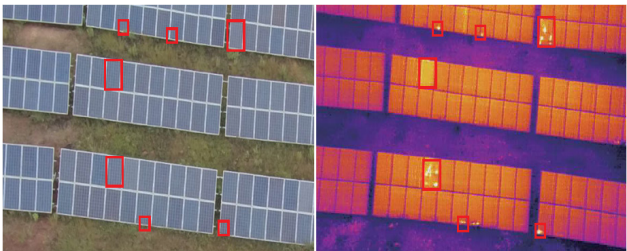


图 1 某光伏电站航拍双光图像

表 1：可见光图像与红外光图像对比

特点	可见光图像	红外光图像
波长范围	400nm-700nm	700nm-1mm
环境依赖	依赖光照，光照不足效果差	不依赖光照。可在黑暗中成像
色彩信息	具有丰富的色彩	灰度图
分辨率	具有高分辨率，可以识别细节	分辨率较低
感知方式	基于物体表面反射光线	基于物体的热辐射
应用场景	日常物体识别、可视化展示	夜间监控、热成像、故障检测

图像配准算法

基于可见光和红外光图像的不同特点，利用无人机上的双光摄像头可以同时采集两种图像，经过分析计算后判断热斑的位置与性质。双光融合图像处理首先要进行图像的配准，由于航拍相机传感器分辨率和视野存在差异，以及拍摄

时机身稳定性等微小不同，需要对可见光与红外热成像间的偏移进行像素级对齐和几何矫正，使图像信息得到匹配^[3]，本系统采用 RIFI 图像配准算法。将具有相同场景的多幅图像创建一个有效的变换模型，这样便使得图像在不同空间转换到同一空间坐标系，最大程度上保证了场景的一致性。

RIFI 图像配准

RIFT (Rotation-Invariant Feature Transform) 是一种特征点匹配方法，旨在解决图像在旋转、尺度变化以及部分光照变化下的配准问题。它特别关注旋转不变性，并通过独特的方式来进行图像配准。RIFT 在应用于图像配准时，特别适用于旋转较大的变换、尺度不一致以及部分光照变化的图像，能够实现高效且鲁棒的图像对齐。

特征点描述

RIFI 算法首先通过 Harris 角点进行特征点提取算法，在图像中检测出关键点。这些关键点具有图像局部区域的显著变化。给定图像 $I(x, y)$ ，通过梯度运算或者角点检测等方法，找到图像中的一组特征点 $p_i(x_i, y_i)$ ，这些点通常是图像的角点、边缘或者纹理变化的地方。设描述符 D_i 为与该特征点关联的局部区域的特征向量，通常可以通过以下方法来构造描述符：计算局部区域的梯度：

$$I_x(x, y) = \frac{\partial I}{\partial x} \quad I_y(x, y) = \frac{\partial I}{\partial y}$$

计算局部区域的梯度幅值和方向：

$$Magnitude = \sqrt{I_x^2(x, y) + I_y^2(x, y)}$$

$$Direction = \tan^{-1}\left(\frac{I_y(x, y)}{I_x(x, y)}\right)$$

2.3 旋转不变性处理

旋转不变性是 RIFI 算法的核心，其通过对描述符进行旋转规范化来消除旋转带来的影响。这是通过计算每个特征点邻域的主方向来实现的。假设在特征点 P_i 处计算到其局部邻域的梯度信息。可以通过计算该区域内所有像素的梯度方向的直方图^[4]，得到主方向 θ_{main} ：

$$\theta_{main} = \arg \max_{(\theta)} \left(\sum_{(x,y) \in W} Magnitude(x, y) \cdot \delta(\theta(x, y) - \theta) \right)$$

其中， $\delta(\cdot)$ 是指示函数，表示在特定角度方向上的投影。通过旋转局部区域，使得该区域的主方向对齐到一个

固定的方向（如水平或垂直）。若主方向为 θ_{main} ，则对图像的局部区域进行旋转：

$$W'(x, y) = Rotate(W(x, y) - \theta_{main})$$

这样处理后的描述符 D_i' 将不受旋转的影响。

2.4 图像配准流程

首先将无人机采集的航拍图像进行预处理，把图像转化为灰度图，可见光图像水平分辨率与原图一致，调整垂直分辨率与红外图像一致。然后，通过 Harris 特征点检测器在图像边缘采集特征点，保持图像在旋转变化下的稳定性。最终在原始的热成像图像中提取 RIFI 描述符，并从对应的可见光图像中也提取 RIFI 描述符，将提取的描述符进行双向匹配，找到最合适的比例因子，完成配准，具体流程如图 2 所示。

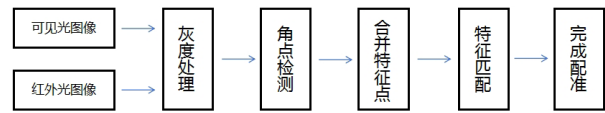


图 2 配准流程图

双光图像配准结果

在光伏板双光图像配准的任务中，通常有两个不同来源的图像需要对齐。这些图像可以通过配准过程对齐。原始可见光图像通常显示光伏板的外观，可能呈现出各种不同颜色的模块以及太阳的光照反射。原始红外图像通常显示的是光伏板表面的温度分布。热斑会显示为较高的温度区域，通常呈现为不同的灰度或彩色图像。红外图像中的亮点代表热源，对应于光伏板的故障位置。

在配准后，将可见光图像和红外图像叠加。一般来说，红外图像会通过透明度调整覆盖在可见光图像上，以便同时显示两种信息（结构和热状态），如图 2 所示。热斑或异常温度区域将在图像中以更高的对比度显示出来，帮助分析人员识别光伏板的故障或损坏部位。配准过程的目标是使两幅图像中的相同区域精确对齐。配准后的图像能够确保可见光和红外图像的热斑区域与实际物理位置一致。在叠加后的配准图像中，红外图像的热斑可以帮助识别光伏板是否存在故障（如接触不良、局部发热等问题），这些热斑在可见光图像中可能看不出来。通过配准，运维人员能够准确找到热斑对应的光伏板区域。

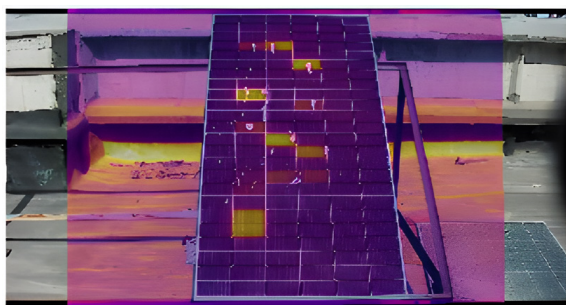


图2 双光图像配准融合后成像

结论

通常可见光图像,显示的是光伏板的实际结构与状态,在标准光照条件下拍摄。图像上可能会看到反射光、阴影、以及光伏板的表面纹理等。红外图像,显示光伏板表面的温度分布,热斑通常以亮点或颜色深浅的方式显现,反映出不同区域的温度。将两种图片经过配准、融合,可以更快速的找到光伏板热斑的位置和性质,方便运维人员维修,节省运维成本。

参考文献:

[1]BP plc. (2024). BP Statistical Review of World Energy 2014. London: BP plc.

[2] 朱青云, 林永辉, 韩宏伟, 等. 红外热像仪在光伏电站检测及运维中的应用探析 [J]. 青海科技. 2018, 25 (05): 46-49

[3] 巩书麟. 基于双光图像配准与融合的光伏热斑识别方法研究与实现 [D]. 吉林市: 东北电力大学, 2024

[4] 彭家旭, 顾亦然. 基于深度学习的桥梁裂缝的智能识别与分类 [J]. 现代电子技术. 2023, 46 (24): 135-140

基金项目:

吉林省教育厅科学研究项目: 基于双光图像融合的无人机电光伏组件热斑状态感知技术研究 (JJKH20251814KJ)

作者简介:

孙学智(1982—),男,吉林长春人,研究生学历,副教授,研究方向: 电气自动化技术。