

图像处理技术在无人机电力线路巡检中的应用

文/钱金菊¹ 韩正伟² 易琳¹ 向林² 许志海³

摘要

高效、安全的无人机电力巡线已经成为了高压输电线路巡检的一种重要的方式。通过对无人机航拍采集到的通道图像进行分析与处理,我们可以发现线路部件是否出现缺陷。图像处理技术可以突破处理海量图像的技术瓶颈,替代人工观察检测图像,降低了因为人为导致的误检率,在无人机电力巡检中具有良好的应用前景。本文阐述了国内外无人机电力巡线中图像处理技术的研究现状,分析了图像处理在电力巡检中的典型干扰因素,并探讨了图像处理在电力巡检中的应用。

【关键词】输电线路 图像处理 无人机巡检 电力巡检

在电力行业,由于电力线路覆盖范围广、所在地形复杂、自然环境恶劣等特点,电力部门每年需要花费巨大的人力和物力进行电力巡检。无人机电力巡线因为安全性高、不受地理条件限制、巡检效率高,已经逐渐成为了我国输电线路巡检的一种重要方式。在无人机电力巡检过程中,无人机机载摄像设备拍摄了大量的输电线路图像,我们通过对采集到的图像进行分析处理,可以发现杆塔、导地线、绝缘子等部件的运行状态。利用图像处理技术对这些部件的检测分析,我们可以得到线路的基本运行状况,发现线路部件缺陷。

目前,智能诊断线路部件缺陷的技术尚不成熟,但图像预处理技术和图像检测技术能有效提高无人机巡检图像处理的使用水平。本文通过剖析电力巡检中图像预处理技术和图像检测技术,研究图像处理技术在国内外电力巡线中的研究状况,分析图像处理应用中的主要干扰因素,提高无人机电力巡检的作业效率,实现系统功能性提升。

1 国内外研究现状

无人机是一门综合性学科,包含了姿态控制、航空电子、图像处理等多门学科。其中,图像处理在判断线路运行状况方面有着重要的作用。目前,我国的无人机巡线技术的研究起步较欧洲等发达国家晚很多,我国从20世纪80年代开始进行无人机巡线方面的研究,2002年华北电网公司正式启动无人机电力巡线项目。但是目前国内无人机电力巡线项目还

处于硬件开发层面,而发达国家已经逐渐关注后续的图像数据处理方面,其巡检技术已经相对完善。Campoy 和 Mejias 将机器视觉应用于无人直升机巡视导航,实现了无人机路径导航。日本关西和千叶大学共同开发了无人机线路检测系统,其特点是故障自检和图像实时监测。所以,我们对图像处理在无人机电力巡检方面的研究是十分必要的。

2 图像处理在电力巡检中的典型干扰因素

图像处理在电力巡检中的应用中会遇到很多干扰因素,对输电线路巡检工作造成了很大的困扰。在电力巡检过程中,典型的干扰因素如下:

2.1 光学像差

在光学系统中,存在着远轴区产生的实际像与近轴区产生的理想像之间的偏离。这些像差严重影响了图像的质量,会导致检测电力部件时准确率降低。

2.2 辐射失真

利用传感器观测目标的反射或辐射能量时,辐射的失真导致了遥感图像的失真,进一步影响遥感图像的判读和解释。

2.3 几何失真

由于传感器的不同及无人机飞行姿态的干扰等因素,导致电力巡检中获取的无人机图像失真扭曲,这类图像退化现象称为几何失真。

2.4 运动模糊

由于无人机在飞行过程中其成像系统受到运动、姿态变化、机械振动等影响比较常见,所以运动模糊对无人机电力巡检的干扰尤为严重。

2.5 噪声

图像噪声是无人机在摄取或传输图像时所受的随机信号干扰,在图像中出现了椒盐噪声或高斯噪声等。噪声对无人机电力巡检的干扰是非常严重的。

2.6 四季变化、光照、复杂场景等

这些因素导致了输电线路附近的自然环境和景象的不断变化。输电线路及其相关部件的图像背景也会变得非常复杂,干扰增多。这

对复杂场景下的目标提取与识别做出了很高的要求。

3 图像处理在电力巡检中的应用

3.1 图像预处理

针对上述典型干扰因素的影响,结合图像处理在电力巡检中的应用,也为了保证电力巡检的后续图像检测的准确性,我们需要对无人机采集到的图像进行一些相关图像处理。

3.1.1 图像亮度调整

由于一个给定目标亮度在不同场景中可能引起不同的亮度感觉,或者拍摄图像的亮度过亮或过暗,导致了计算机识别难度的增加,所以我们对亮度进行调整是十分必要的。这可以细分为三类方法:

(1) 转换到 HSL(HSV) 颜色空间调整。

这可以说是最直观也是最低效的方法:因为 HSL 颜色空间天然有一个 L 分量表示亮度,直接进行调整即可。但是这种方法有很大的缺陷就是低效。由于电脑屏幕本身的特点决定了多数图像在 RGB 色彩空间被解析,所以需要转换为 HSL,方便图像的进一步处理。

(2) 线性调整。线性调整可以直接对像素值进行调整,这样的好处是更直观地表示出电力巡检需要突出的物体,所以对亮度的线性调整是必需的。图像亮度计算公式如下:

$$l = (\max(\text{rgb}) + \min(\text{rgb})) / 2 \quad (1)$$

式中,rgb 代表图像 RGB 三个通道的像素值,1 表示图像亮度。

所以,同时对三个通道进行调整也就近似地直接调整 1 值。

(3) 曲线调整。以上方法调节亮度会有一个常见的问题:图像的亮度变化不分层,通常整个区域有明暗,所以调整图像层的整体亮度是有益的。

3.1.2 图像对比度调整。

图像的对比度调整就是在保证平均亮度不变的情况下,扩大或缩小亮暗点的差异。调整公式如下:

$$l_{\text{out}} = l_{\text{average}} + (l_n - l_{\text{average}}) * (1 + \text{percent}) \quad (2)$$

其中, l_n 表示原始像素点亮度, l_{average} 表示整张图片的平均亮度, l_{out} 表示调整后的亮度,而 percent 即调整范围 [-1,1]。

3.1.3 去除雾雨背景

在阴霾或阴雨天气中,可见度降低。去除图像中遮挡真实物体的雾雨,恢复真实背景信息是有必要的。从图像类型的角度来看,目

前的除雾方法分为两种：基于单帧的去雾方法和基于视频的去雾方法。

对于基于视频的检测，主要利用雾雨特点，达到目的。Stank 和 Werman 认为雨线更明亮，时域变化很快，建议使用时域中每个像素的中值滤波器去除雨滴。但这种方法只能对简单视频做出有效处理。针对运动视频来说，Garg 和 Nayar 建立了雾雨相关模型，并开发了描述物理特性的模型来表达雨的像素值。Baraum 等引入了频域来过滤掉雨雪，并且很有效。Bossu 等设计了基于背景分离的图像处理模型，通过检测前景图像大小和亮度，然后通过直方图来检测雨线，去除雾雨。

单一图像去雾方法方面，双边滤波是基于高斯滤波函数的，边缘的像素影响很小，这样可以在去除雾雨的时候更好地保持边缘像素。Buades 等人提出了全局滤波来更好地处理图像中的雾噪声。基于最小二乘法的滤波器的思想是保持平滑的优化框架，使得图像滤波的效果达到最佳。有指导的图像滤波器是通过引导图像的内容产生输出的局部线性模型导出的，其中引导图像可以是输入图像本身或另一个不同图像，有指导的图像滤波器比双边滤波器具有更好的边缘特征保留。

3.1.4 图像拼接

由于无人直升机机载摄像机分辨率很有限，所以导致拍摄场景越大，但是图像分辨率越低。我们无法在获取大场景照片的条件下有效提升图像分辨率，所以可以通过图像拼接融合来满足实际生产工作中的需求。

由于拍摄环境复杂多变，所以没有这样的算法来解决图像匹配问题。根据相似判断标准，图像匹配方法可以分为三类：基于轮廓特征、基于模型匹配和基于频域的图像匹配。基于特征的方法不直接使用图像像素值，而从图像的特征导出像素，然后取出有效特征作为参考，匹配图像叠加的相应特征区域。这种拼接算法具有很强的鲁棒性和鲁棒性。基于模型的匹配耗费时间较长而且效率不高。图像旋转，会导致该方法性能下降。基于频域变换的方法计算量过大，对工程设备要求较高。

一般来说，灰度在两幅图像边界上的细微差别将导致明显的差距，但实际图像拼接的灰度差是不可避免的，因此图像融合可以有效的对这种情况做出处理。通过采用平滑重叠部分的渐进方法。实现从第一图像到第二图像的转变。

$$f(x, y) = \begin{cases} f_1(x, y) & (x, y) \in f_1 \\ d_1 f_1(x, y) + d_2 f_2(x, y) & (x, y) \in (f_1 \cap f_2) \\ f_2(x, y) & (x, y) \in f_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中 d_1 和 d_2 分别表示与重叠区域的宽度

相关的权重值。

3.2 图像识别

传输线路识别就是找到由计算机拍摄的图像中的传输线区域。传输线的拍摄经常伴随着复杂天气的影响下，因此，目标提取很多时候是很困难的，我们必须使用图像处理算法的强适用性来解决图像识别问题。比如，基于统计的方法具有适用性强的特点，其中 Adaboost 算法可以有较好的识别效果。具体如下：

(1) 标定出包含正负样本的训练集 x_n 及其分类号 t_n 。

(2) 使得所有训练样例的权重为 $1/N$ ，其中， N 为样例数。

(3) 对每个样本，训练弱分类器 $y_m()$ ，使其权重误差函数 ϵ_m 最小化：

$$\epsilon_m = \sum_{n=1}^N \omega_n(m) I(y_m(x_n) \neq t_n)$$

其中， $m = 1, 2, \dots, N$, ω_n 为弱分类器的权重， I 为概率。

(4) 计算该弱分类器的话语权 α_m ：

$$\alpha_m = \ln \left\{ \frac{1 - \epsilon_m}{\epsilon_m} \right\}$$

(5) 更新权重 $\omega_{m+1,i}$ ：

$$\omega_{m+1,i} = \frac{\omega_{m,i}}{Z_m} \exp(-\alpha_m t_i y_m(x_i)), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

其中， Z_m 是归一化因子：

$$Z_m = \sum_{i=1}^N \omega_{m,i} \exp(-\alpha_m t_i y_m(x_i))$$

(6) 最终的强分类器 $Y_m(x)$ ：

$$Y_m(x) = \text{sign} \left(\sum_{m=1}^M \alpha_m y_m(x) \right)$$

Adaboost 算法通过组合弱分类器而得到强分类器，算法运算快，解决了检测速度慢的问题，而且使得电力线路检测模型具有更好的识别效果。

4 结论

高压输电线路故障将导致大面积电网断电，这可能导致道路交通拥堵，铁路停电，商业机构和政府部门瘫痪等重大后果。因此，为了确保电力系统安全可靠，及时发现异常现象和潜在故障，日常电力检查具有重要意义。无人机电力巡检已逐渐成为我国线路检测的重要途径，图像处理已成为自动电力线检测发展的方向。图像处理技术将应用于无人机动力检测线的各个环节，大力推动中国无人机电力巡检的发展，保护中国电力系统的正常运行。

电力巡线图像处理，包括图像预处理、图像检测和模式识别，涉及了多个前沿学科和技术。我们相信随着我国无人机自动巡线的发展，图像处理必然成为国内外电力巡线的研究

热点，在其中能发挥不可替代的实用价值。

参考文献

- [1] Mejías L, Correa J F, Mondragón I F, et al. COLIBRI: A vision-guided UAV for surveillance and visual inspection[J]. 2007; 2760-2761.
- [2] Montambault S, Beaudry J, Toussaint K, et al. On the application of VTOL UAVs to the inspection of power utility assets[C]. International Conference on Applied Robotics for the Power Industry. 2010: 1-7.
- [3] Katrasnik J, Pernus F, Likar B. A Survey of Mobile Robots for Distribution Power Line Inspection[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25 (01): 485-493.
- [4] Garg K, Nayar SK. Detection and removal of rain from videos. Computer Vision and Pattern Recognition, 2004 CVPR 2004 Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on: IEEE; 2004. p. I-528-I-35 Vol. 1.
- [5] Garg K, Nayar SK. Vision and rain[J], International Journal of Computer Vision, 2007; 75: 3-27.
- [6] Barnum P, Kanade T, Narasimhan SG. Spatio-temporal frequency analysis for removing rain and snow from videos. Proceedings of the First International Workshop on Photometric Analysis For Computer Vision-PACV 2007.
- [7] Barnum PC, Narasimhan S, Kanade T. Analysis of rain and snow in frequency space[J]. International journal of computer vision, 2010; 86: 256-74.
- [8] Freund Y, Schapir E R. A Short Introduction to Boosting [J]. Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, 1999, 14 (05): 771-780.

作者单位

1. 广东电网有限责任公司电力科学研究院 广东省广州市 510080
2. 中国人民解放军总参谋部第六十研究所 江苏省南京市 210016
3. 广东电网有限责任公司机巡作业中心 广东省广州市 510080