

基于无人机的输电线路设备识别方法研究

何思远^{1,2,3}, 刘刚⁴, 王玲⁴, 唐延东¹

- (1. 中国科学院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 沈阳工程学院 信息工程系, 辽宁 沈阳 110136;
4. 辽宁省电力有限公司本溪供电公司, 辽宁 本溪 117000)

摘要: 利用无人机进行输电线路巡检是近几年国内外研究的热点技术之一, 其优点是在无需拉闸断电的情况下, 即可对输电线路进行检测, 对其故障进行判别。根据输电线路设备的特征, 应用图像处理与模式识别技术, 提出了一种识别绝缘子、防震锤和输电塔的方法。该方法先采用中值滤波、膨胀和腐蚀等方法对灰度化后的航拍图像进行预处理, 然后提取预处理后图像的小波特征值, 最后采用 AP(Affinity Propagation) 聚类方法对目标图像进行分类与识别。实验结果表明, 所提出的方法能够有效识别绝缘子、防震锤和输电塔等目标, 具有较好的鲁棒性和准确性。

关键词: 目标识别; 小波特征; AP 聚类; 无人机

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)07-1940-05

Research of power transmission line equipments recognition method based on UAV

He Siyuan^{1,2,3}, Liu Gang⁴, Wang Ling⁴, Tang Yandong¹

- (1. State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Department of Information Engineering, Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China;
4. Benxi Power Supply Company, Liaoning Electric Power Company Limited, Benxi 117000, China)

Abstract: In recent years, the use of unmanned aerial vehicle(UAV) for power transmission line detection is a hot technology, and it can detect the transmission line and discriminate the failure without power off. According to the features of power transmission line equipments, a method of equipments recognition based on image processing and pattern recognition was put forward. It preprocessed the aerial images by median filtering, dilating and eroding. Then, wavelet eigenvalues of preprocessed images were calculated. Finally, the objects, such as insulator, vibration damper and transmission tower, were classified and recognized by affinity propagation (AP) clustering algorithm. The results of experiments show that this method can recognize the insulator, vibration damper and transmission tower, and it has better robustness, accuracy and validity.

Key words: object recognition; wavelet feature; AP clustering; UAV

收稿日期: 2012-11-17; 修订日期: 2012-12-21

基金项目: 国家电网公司科技项目(无人飞行器巡检技术研究)

作者简介: 何思远(1981-), 男, 博士生, 主要从事图像分割与目标识别方面的研究。Email: hesiyuan@sia.cn

导师简介: 唐延东(1962-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事图像处理、目标识别方面的研究。Email: ytang@sia.cn

0 引言

利用无人机进行输电线路巡检是近几年国内外研究的热点技术之一,其具有高效、快捷、可靠、成本低、不受地域影响等优点。与传统人工巡线方式相比,该技术不仅能大幅度提高工作效率,有效保障巡线作业人员的人身安全,降低巡线成本,而且还能大大缩短系统反应时间。“以无人机巡视为主,人工巡视为辅”将是我国高压、超高压线路巡检的发展方向^[1]。

对于无人机线路巡检系统,成像传感器(可见光、红外线和紫外线成像传感器)被广泛应用于高压输电线路及相关设施的检测诊断中^[2]。在工作过程中,视觉传感器摄取的视频图像被实时传输到地面基站或被存储下来,由基站工作人员根据视频图像中的杆塔、绝缘子以及导线等设施的外观确定缺损情况。在这种作业方式中,作业人员只有对视频图像进行逐帧的观察和判读,才能有效的检测和诊断高压输电线路及相关设施的情况。但是,对于海量的视频图像,其工作效率极低。

文中应用图像处理和模式识别技术,通过对输电线路设备目标图像的小波特征进行 AP 聚类,实现了对绝缘子、防震锤和输电塔的分类与识别。通过在实际拍摄视频中的测试、分析和比较,该方法具有较好的鲁棒性、准确性和有效性。文中提出的方法不仅可以提高无人机巡检输电线路的工作效率,也为今后输电线路的故障检测和修复提供了及时准确的辅助决策。

1 系统简介

无人机巡线系统由三部分组成,分别是机载视觉子系统、无线通信子系统和地面站子系统^[3]。机载视觉子系统包括摄像机、云台、图像处理单元和控制模块及相应的软件系统;无线通信子系统包括无线网卡及传输软件系统;地面站子系统包括笔记本电脑及地面站软件系统。系统的具体结构如图 1 所示。

图 1 中各模块功能如下。

(1) 摄像机:获取视频图像信息。(2) 图像处理单元:对获取的图像进行实时处理,对图像中的输电线路设备进行识别。(3) 飞控计算机:根据图像的中心位置,控制无人机飞行的姿态,以便输电线路始终

在无人机视场范围内。(4) 无线通信系统:通过两个无线网卡实现点对点通信,包括 TCP 部分和 UDP 部分。其中,TCP 部分负责向无人机视觉系统发送控制指令,UDP 部分负责完成实时图像传输。(5) 地面站系统:接收并显示无人机传回的图像及跟踪结果,并向无人机发送机载视觉子系统控制指令。

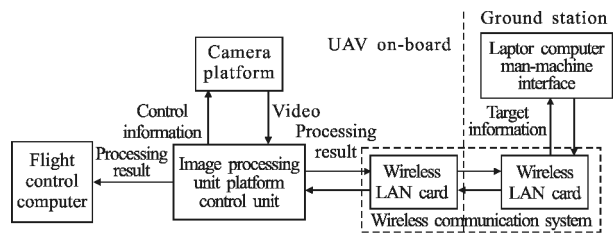


图 1 无人机巡线系统结构

Fig.1 Power transmission line detection system architecture

无人机在巡线过程中拍摄的绝缘子、防震锤和输电塔的近景图如图 2 所示。



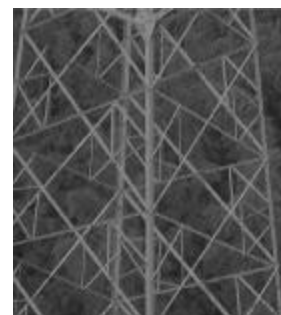
(a) 绝缘子

(a) Insulator



(b) 防震锤

(b) Vibration damper



(c) 输电塔

(c) Transmission tower

图 2 输电线路设备近景图

Fig.2 Power transmission line equipments images

由图 2 可以看出,绝缘子、防震锤和输电塔的形状

状差异较大,因此可以通过提取图像的形状特征作为分类与识别的依据。分类与识别的方法流程图如图 3 所示,具体步骤如下:

(1) 对航拍图像进行灰度化处理。(2) 采用中值滤波、膨胀和腐蚀等方法对灰度图像进行预处理。(3) 提取预处理后图像的小波特征值。(4) 采用 AP 聚类方法对目标图像进行分类与识别。

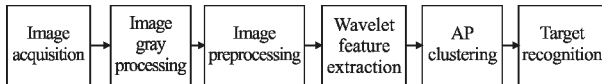


图 3 输电线路设备识别的流程图

Fig.3 Flow chart to identify power transmission line equipments

2 图像预处理

无人机在巡检过程中采集图像的质量较差,其图像存在不同程度的退化现象。造成图像退化的原因如下^[1]:

(1) 光学系统的像差、衍射、带宽受限等造成的图像失真;(2) 太阳辐射、云层遮挡、大气湍流的扰动效应等造成的遥感图像失真;(3) 成像器件的拍摄姿态、光电转换器件的非线性引起的图像几何失真;(4) 成像系统与拍摄景物的相对运动造成的图像运动模糊;(5) 图像在成像、数字化、采集和处理过程中引入了运动模糊和各种噪声;(6) 采集图像的背景环境复杂,对比度较低,造成图像分辨率较低。

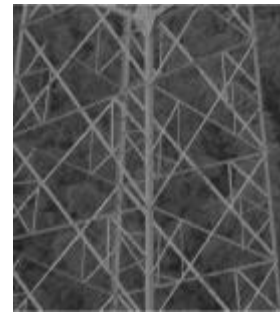
为了提高识别的准确性,对绝缘子、防震锤和输电塔等输电线路设备的灰度图像进行中值滤波、膨胀和腐蚀等预处理^[4]。预处理之后的结果如图 4 所示,从图像中可以看出,预处理去掉了许多干扰线条和



(a) 绝缘子
(a) Insulator



(b) 防震锤
(b) Vibration damper



(c) 输电塔
(c) Transmission tower
图 4 预处理后的图像

Fig.4 Preprocessed images

噪声点,平滑了一些由于光线所形成的亮点,使图像目标形状区域内部的像素值差异减小,有利于后续图像的小波特征值提取。

3 小波特征值提取

小波变换具有优良的时频域局部特征,它对信号用一组不同尺度的带通滤波器进行滤波,将信号分解到不同的频带上进行分析处理。图像的二维小波变换是一维小波变换的二元推广,它具有方向选择性,通过小波变换可以得到各个方向的子图:平滑子图、水平子图、垂直子图和斜向子图^[5]。图像的二维小波变换定义如下。

假设 $f(x, y)$ 为一幅图像中位置 (x, y) 点处的灰度值,函数 $f(x, y)$ 的二维小波变换为:

$$Wf(x, y) = f(x, y) * \psi(x, y) \quad (1)$$

其中, $*$ 为二维卷积算子; $\psi(x, y)$ 为二维母小波函数,满足:

$$C_{\psi} = (2\pi)^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (\hat{\psi}(W_x, W_y))^2 / (W_x^2, W_y^2) dW_x dW_y < \infty \quad (2)$$

对图像进行二维小波变换的算法示意图如图 5

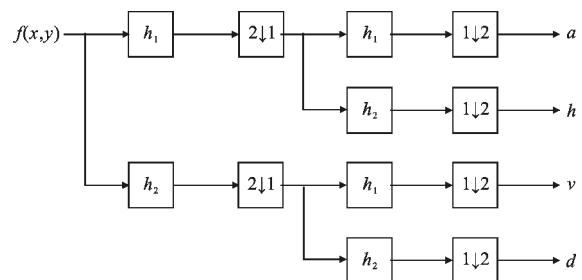


图 5 图像二维小波变换算法示意图

Fig.5 Flow chart of 2D wavelet transform

所示。图中 $f(x, y)$ 表示输入图像, a 为平滑子图, h 为水平子图, v 为垂直子图, d 为斜向子图, h_1 为低通滤波器, h_2 为高通滤波器, $2 \downarrow 1$ 表示列采样, $1 \downarrow 2$ 表示行采样。

小波特征值的提取算法如下:

首先,选取具有对称性的紧支撑正交小波,使用小波工具箱函数对预处理后的图像进行一层小波分解,得到 4 个分解子图,分别是平滑子图 a 、水平子图 h 、垂直子图 v 和斜向子图 d ,其中平滑子图的小波分解系数是概貌系数,其余子图的小波分解系数均是细节系数。然后,对每个子图的小波分解系数求均值和方差,并将其作为特征值进行分类。

4 AP 聚类

AP 聚类算法又称为近邻传播聚类算法^[6],其目的是找到样本集中最优的类代表点集合,使所有样本点与其所属类别的类代表点的相似度最大。AP 聚类算法将所有样本点都当作候选的类代表点,使得聚类结果不受初始聚类中心选择的影响。

AP 聚类算法主要根据数据集的 N 个样本点之间的相似度进行聚类,这些相似度组成 $N \times N$ 的相似度矩阵 S ,其中 $S(i, j)$ 表示样本点 i 和样本点 j 之间的相似度。相似度矩阵 S 主对角线上的数值称为偏向值(Preference),该值是对应的样本点能否成为聚类中心的评判标准,被用来控制聚类集合数目。一般来说,该值越大,所得到的聚类集合数目越多,这个点成为聚类中心的可能性越大。进一步研究表明,偏向值和聚类集合个数之间并不存在线性对应关系,随着偏向值增加,总能得到具有更多聚类集合个数的近理想聚类结果^[7]。

在 AP 聚类中,样本点和样本点之间相互传递两类信息,分别是 R (responsibility) 和 A (availability)。其中, $R(i, k)$ 表示 k 作为样本点 i 的聚类质心的可信度, $A(i, k)$ 表示样本点 i 选择 k 作为其聚类质心的可信度。

AP 聚类算法如下。

(1) 初始化,计算初始相似度矩阵 S ,对 P 赋初值。

(2) 如下更新样本点之间的 R 值:

$$R(i, k) \leftarrow s(i, k) - \max_{j \neq k} (s(i, j) + A(i, j))$$

(3) 如下更新样本点之间的 A 值:

$$A(i, k) \leftarrow \min(0, R(k, k) + \sum_{j \neq i, k} \max(0, R(j, k)))$$

(4) 如下更新同一样本点自身之间的 A 值:

$$A(k, k) \leftarrow \sum_{j \neq k} \max(0, R(j, k))$$

(5) 如果迭代次数超过预设阈值或者当聚类中心在若干次迭代中不发生改变时,则停止。

5 实验结果

根据以上所提到的算法,在 Windows XP 环境下,用 Matlab 7.12.0 对其进行实验验证。

在晴天条件下,以山区树林为背景,用无人机对辽宁省本溪供电公司输电线路上的绝缘子、防震锤和输电塔三类输电线路设备进行拍摄。在拍摄的过程中,按照事先设定好的航路,根据参考文献[8]中的方法,首先确定输电塔的大体位置,然后用航拍高清照相机对输电塔进行拍摄。此外,在拍摄的过程中,如果遇到微弱的气流,无人机的云台稳像系统可以对抖动图像进行自动补偿,从而消除模糊。但是,如果遇到较大的气流,则无法对其进行补偿。

在拍摄的图像中,每类设备分别提取 70 张共 210 张图像。在获得的 210 张图像中,每类设备取 50 张共 150 张图像进行分类训练学习,剩下的 60 张图像进行测试。实验系统测试界面如图 6 所示,由于分类训练学习样本图像较多,图 6 所示系统界面仅取

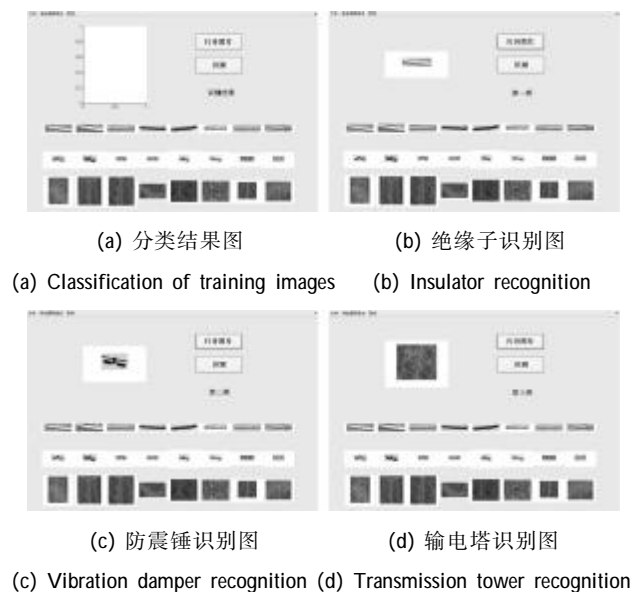


图 6 实验系统测试界面

Fig.6 Interface of experiment system

24 张图像(每类 8 张图像)以作演示,所有图像训练测试结果见表 1。

表 1 输电线路设备图像测试结果

Tab.1 Detection rates for equipments images

Method	Insulator	Vibration damper	Transmission tower
Wavelet+AP	94.3%	96.7%	90.6%
LBP+K-mean	82.5%	84.8%	80.3%

从表 1 的实验测试结果可以看出,采用文中提出的识别方法,对绝缘子、防震锤和输电塔的识别率均在 90%以上。如采用提取 LBP 特征进行 K 均值分类的方法^[9],其识别率仅为 80%左右。此外,文中方法的误识别图像多为拍摄模糊、距离较远、背景复杂的图像。

该实验中,由于无人机是在找到输电塔的大体位置后才进行具体拍摄的,其飞行航路又是事先设定好的,所以获得的绝缘子、防震锤和输电塔图像的视角差别不大,基本上都是正面的图像。即使图像的视角发生变化,由于绝缘子、防震锤和输电塔的形状差异较大,文中提出的方法也可以对其进行识别。因此,文中提出的识别方法具有较好的鲁棒性。

6 结论

文中应用图像处理和模式识别技术,提出了一种识别绝缘子、防震锤和输电塔的方法。利用中值滤波、膨胀和腐蚀等方法对灰度图像进行预处理,然后提取预处理后图像的小波特征值,最后采用 AP 聚类方法对目标图像进行分类与识别。通过在实际拍摄视频中的测试,该方法具有较好的鲁棒性、准确性和有效性,进而体现出其实际应用价值,为后续的输电线路的故障检测和修复奠定了基础。

参考文献:

[1] Tong Weiguo, Yuan Jinsha, Li Baoshu. Application of image processing in patrol inspection of overhead transmission line by helicopter [J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 204-208. (in Chinese)

全卫国,苑津莎,李宝树. 图像处理技术在直升机巡检输电线路中的应用综述[J]. 电网技术, 2010, 34(12): 204-208.

[2] Li Bingqiang, Wang Qian, Wang Binhai. Applying unmanned autonomous helicopter to transmission line inspection [J]. Shandong Electric Power, 2010, 1: 1-4. (in Chinese)

厉秉强,王骞,王滨海. 利用无人直升机巡检输电线路[J]. 山东电力技术, 2010, 1: 1-4.

[3] Fan Baojie, Zhu Linlin. Visual tracking system of rotorcraft UAV [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(1): 149-152. (in Chinese)

范保杰,朱琳琳. 旋翼无人机视觉跟踪系统 [J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 149-152.

[4] Zhao Ji, Feng Chuang. Moving object detection and segmentation based on adaptive frame difference and level set [J]. Information and Control, 2012, 41(2): 153-158. (in Chinese)

赵骥,冯闯. 基于自适应帧差和水平集的运动目标检测和分割[J]. 信息与控制, 2012, 41(2): 153-158.

[5] Li Guosong, Meng Weihua. Target edge searching segmentation method based on wavelet transform [J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(1): 185-188. (in Chinese)

李国嵩,孟卫华. 基于小波变换的目标边缘搜索分割方法 [J]. 红外与激光工程, 2009, 38(1): 185-188.

[6] Frey B J, Dueck D. Clustering by passing messages between data points[J]. Science, 2007, 315(5814): 972-976.

[7] Fan Shaochong, Peng Jinye, Feng Xiaoyi. Image summarizing based on multi-kernel learning and AP clustering [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(6): 2365-2368. (in Chinese)

范少冲,彭进业,冯晓毅. 基于多核学习和 AP 聚类的图像摘要选取方法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(6): 2365-2368.

[8] He Siyuan, Lin Lan, Yang Dawei. The research of power transmission tower detection method based on UAV[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(8): 270-275. (in Chinese)

何思远,蔺兰,杨大为. 基于无人机的输电塔检测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(8): 270-275.

[9] Tao Xinmin, Cao Pandong. The semi-supervised SVM classification algorithm based on two-stage learning [J]. Information and Control, 2012, 41(1): 7-13. (in Chinese)

陶新民,曹盼东. 基于两阶段学习的半监督支持向量机分类算法[J]. 信息与控制, 2012, 41(1): 7-13.