

直升机巡检航拍图像中绝缘子图像的提取算法

黄宵宁, 张真良

(南京工程学院 电力学院, 江苏省 南京市 211167)

A Method to Extract Insulator Image From Aerial Image of Helicopter Patrol

HUANG Xiao-ning, ZHANG Zhen-liang

(School of Electric Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, Jiangsu Province, China)

ABSTRACT: A new algorithm to extract insulator images from aerial image acquired by intelligent patrol of helicopter is proposed. Firstly, this algorithm converts the color image of glass insulators with high resolution, which is acquired by helicopter patrol, from RGB color space into HSI color space; then using the maximum entropy threshold method based on genetic algorithm, the continue image segmentation is applied to S component in HSI space; and then the noise in the segmented image is filtered by doubly structured cascaded filters; finally, by means of connected components labeling operation the contour of insulator string is marked out from aerial image with complicated background. Results of calculation example show that the proposed algorithm can extract integral insulator image from aerial image with complicated background, and it is practicable.

KEY WORDS: extraction of insulator image; image segmentation; genetic algorithm; morphological filter; connected component labeling

摘要: 提出了一种新的绝缘子图像提取算法,可用于直升机智能巡检图像中绝缘子图像的提取。该算法首先将航拍得到的高分辨率玻璃绝缘子彩色图像进行RGB到HSI彩色空间的转换;然后对HSI空间的S分量,采用基于遗传算法的最大熵阈值的方法进行图像分割;接着对分割后的图像用双结构级联滤波器滤除噪声;最后用连通区域方法将分割出的绝缘子串轮廓标识出来。算例结果表明:该算法能够从背景复杂的航拍图像中完整地提取绝缘子图像,有较高的工程应用价值。

关键词: 绝缘子图像提取;图像分割;遗传算法;形态学滤波;连通区域标记

0 引言

架空输电线路存在人为或自然的破坏以及老化问题,会影响电网的安全运行和电力系统稳定。随着计算机视觉技术的快速发展和航空数码相机

分辨率的极大提高,利用直升机进行输电线路巡线和维护作业已成为可能^[1]。将数字相机、数据采集和图像处理与识别技术相结合,自动诊断各类缺陷,生成缺陷清单报表和检修策略报告是直升机巡线技术发展的必然趋势。

架空输电线路的绝缘子用于防止输电线路的带电部件形成接地通道,是架空输电线路的重要部件。利用数字图像处理技术,从航拍影像中提取绝缘子图像,可为绝缘子缺陷的自动诊断提供可能。文献[2-5]采用实验室环境下拍摄的图像,进行了绝缘子破损的检测与定位。采用直升机巡线技术,从航拍影像中提取绝缘子图像,由于图像背景复杂,在国内外的资料中少有涉及。

文章提出了一种新的绝缘子图像提取算法,可用于直升机智能巡检图像中绝缘子图像的提取。算例结果表明:该算法能够很好地从背景复杂的航拍图像中完整地提取绝缘子图像,有较高的工程应用价值。

1 HSI 彩色模型

通过航拍得到的500 kV超高压输电线路的钢化玻璃绝缘子图像,其分辨率为3008×2000,如图1所示。通过对玻璃绝缘子的特征进行分析,发现图像中的绝缘子和背景相比明显较绿,可以利用其色彩信息来进行图像分割。

彩色图像由R、G、B合成表示,这3个分量间高度相关,直接利用G分量对绝缘子图像进行分割效果不佳。为此,将RGB空间转换为HSI空间^[6],以降低色彩分量之间的相关性。HSI空间中的H表示不同的颜色,即色度;S表示颜色的深浅,即饱和度;I表示颜色的明暗程度,即亮度。HSI空间模型接近人对颜色的视觉感知,I分量与彩色信息无关,H和S分量与人感受彩色的方式紧密相连。从



图1 航拍玻璃绝缘子串的图像

Fig.1 Insulator string in aerial image

RGB空间到HSI空间的转换关系为

$$\begin{cases} H = \arccos \left\{ \frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \\ S = 1 - \frac{3}{R+B+G} [\min(R, G, B)] \\ I = \frac{R+B+G}{3} \end{cases} \quad (1)$$

在HSI空间, H 、 S 、 I 分量相互独立, 在彩色图像分割问题中, I 分量几乎不用, 只考虑绝缘子的 H 和 S 分量图。通过比较 H 和 S 分量图, 选取了饱和度 S 分量图来分割绝缘子图像, 如图2所示。观察 S 分量图发现其中绝缘子串区域较亮, 背景区域较暗, 由此得知绝缘子区域饱和度值较大, 背景区域饱和度值较小, 可以采取图像分割方法从 S 分量图中提取绝缘子图像。

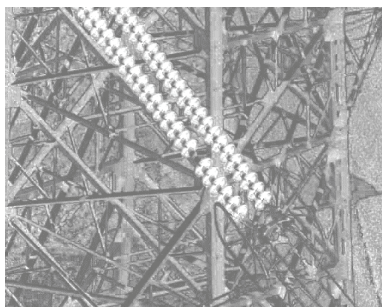


图2 绝缘子串的S分量图

Fig.2 S component chart of insulator string

2 S分量的阈值分割算法

2.1 最佳熵阈值分割

采用简单快速的单阈值分割^[7]方法来进行图像分割。由 S 分量的直方图可看出, 其直方图中没有明显的双峰, 故常规的阈值分割算法, 如Otsu算法、自适应迭代算法等, 均不能取得很好的分割效果。考虑用基于图像的熵理论来解决 S 分量图的阈值分割问题。

最佳熵阈值方法(optimal entropic threshold, OET)利用图像直方图的熵来寻找最佳阈值, 可使图

像中目标与背景分布的信息量最大。该方法不需要先验知识, 并且它能够对非理想双峰直方图的图像进行分割^[8]。

图像的灰度直方图范围为 $\{0, 1, \dots, l-1\}$, 则其熵为 $H_T = -\sum_{i=0}^{l-1} p_i \ln p_i$ 。其中 p_i 为第 i 个灰度出现的概率。设图像的阈值为 t , 令 $P_t = \sum_{i=0}^t p_i$, $H_t =$

$-\sum_{i=0}^t p_i \ln p_i$, 阈值 t 将图像分成A、B类, 与每个分布有关的熵分别为 $H_A(t)$ 和 $H_B(t)$, 图像的总熵 $H(t)$ 为二者之和, 即

$$H(t) = \ln P_t(1-P_t) + \frac{H_t}{P_t} + \frac{H_T - H_t}{1-P_t} \quad (2)$$

在所有的阈值中使得图像的总熵最大的阈值即为最佳分割阈值。

由于绝缘子航拍图像的背景异常复杂, 利用OET算法求出的阈值分割效果不太理想, 还需要进一步优化。为此, 将遗传算法和OET算法结合^[9], 由遗传算法对OET算法得到的阈值进行优化。

2.2 基于遗传算法的OET算法

遗传算法是基于生物进化原理的搜索最优解算法, 它模拟基因重组与进化的自然过程, 用待解决问题的参数构成基因, 若干基因组成染色体, 对染色体进行类似于自然选择、交叉和变异等运算, 经过多次迭代直至得到最优的结果^[10-12]。

基于遗传算法的OET算法的实现过程为:

1) 生成 S 分量灰度图像的分割阈值 t , 即染色体。由于 S 分量灰度图像值域为0~255, 染色体编码方式采用8位二进制码。

2) 确定初始群体规模。群体规模小, 得到的解不是最优的; 种群规模大, 将导致算法运算量增大, 增加计算时间。通常群体规模为10, 最大繁殖代数为30。根据多次试验, 选取遗传算法的复制概率为0.6, 交叉概率为0.6, 变异概率为0.01。

3) 选取式(2)作为遗传算法的适应度函数, 计算每个染色体的适应度值, 即最佳阈值。

4) 进行复制、交叉、变异等遗传操作。

设置好遗传算法的各个参数后, 重复上述步骤进行迭代计算, 当算法迭代到最大代数时终止, 此时具有最大适应度值的个体即为分割阈值。经过遗传算法的迭代寻优, 得到最优的分割阈值为0.35。

图 3 为对绝缘子的 S 分量图采用基于遗传算法的 OET 算法得到的结果。从图 3 可看出, 该算法能够将绝缘子从背景复杂的航空图像中分割出来。

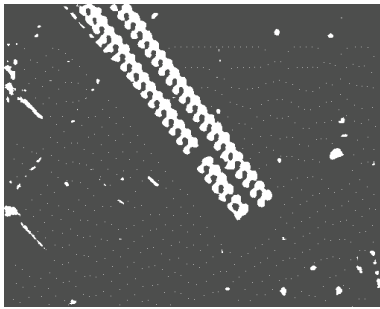


图 3 基于遗传算法的 OET 算法的分割结果

Fig. 3 Segmentation result gained from the OET method based on genetic algorithm

3 形态学滤波

经过基于遗传算法的 OET 算法分割后, 已经能够将绝缘子图像从背景复杂的航空图像中分割出来。但是, 分割后的图像还存在较多的块状和线条状的区域, 必须滤波, 以消除噪声。常规的均值滤波、中值滤波等方法并不能有效的去除图 3 中的噪声, 本文采用形态学滤波的方法来消除这些噪声。

形态学滤波是非线性滤波方法, 它用一定的形态学结构元素来提取图像中的对应形状, 结合形态学运算来消除这些形状噪声, 达到滤波的作用^[13-14]。形态学滤波算法包括形态学运算和滤波器的选取 2 个方面。形态学运算就是指膨胀、腐蚀、开运算和闭运算这 4 种基本运算, 其运算规则由定义本身决定。开运算用于消除图像中小于结构元素的细节部分, 闭运算用来填充孔洞, 使物体边缘更为平滑。形态学滤波器的滤波性能主要取决于结构元素的选取, 常用的结构元素有方形结构元、圆盘形结构元以及线形结构元等。

本文提出双结构级联滤波方法, 将 2 种不同结构、不同尺寸的结构元级联起来, 后面的结构元尺寸大于前面的结构元, 2 种结构元对图像的作用有 2 种选择, 即先开运算后闭运算或先闭运算后开运算。对于图 3 中显示的块状和线状噪声, 选用 5×5 的圆盘形结构元对二值图像进行闭运算, 然后再选用 7×7 的方形结构元对闭运算之后的二值图像进行开运算, 最终的滤波结果如图 4 所示。

由图 4 可看出, 双结构级联滤波器的滤波效果很好, 绝缘子串被完整提取出来, 图像无任何噪点, 使得接下来的连通区域标记能够顺利进行。



图 4 滤波后的绝缘子图像

Fig. 4 The filter image for insulator string

4 连通区域标记

经分割和滤波后, 得到互相连通的绝缘子区域。采用四邻域标记算法, 将不同的连通区域^[15]给予不同的标识。图 5 为经过连通区域标记后得到的最终绝缘子提取图像。图像中的绿色绝缘子串用红色的边缘标识出来, 表明本文所采用的算法能够非常准确地从背景相当复杂的航空图像中提取出玻璃绝缘子串。

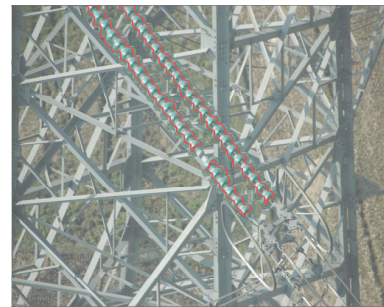


图 5 最终的绝缘子串图像提取结果

Fig. 5 Final result of extraction for insulator string image

5 结论

本文针对直升机巡检航拍图像中绝缘子图像的提取问题进行了深入研究, 提出了一种能够准确地从复杂背景中提取绝缘子图像的方法。该方法分为 4 步: 1) 将得到的彩色图像进行 RGB 空间到 HSI 空间的转化; 2) 对转化后的 S 分量, 采用基于遗传算法的最佳熵阈值分割; 3) 对分割后的图像进行形态学滤波, 消除噪声的干扰; 4) 采用连通区域标记的方法将绝缘子图像从背景图像分割出来。

为了验证本文算法的工程实用性, 选取了 20 幅复杂背景的航拍绝缘子图像, 利用本文的算法进行绝缘子图像提取。成功从其中 17 幅图像中提取出了全部绝缘子图像, 另外 3 幅图像稍有遗漏。算例结果验证了本文算法具有较好的通用性和工程实用价值。

参考文献

[1] 于德明, 沈建, 汪骏, 等. 直升机在电网运行维护中的研究与应

- 用[J]. 电网技术, 2009, 33(6): 107-112.
- Yu Deming, Shen Jian, Wang Jun, et al. Research and application of helicopter in patrol and hotline operating maintenance of power lines [J]. Power System Technology, 2009, 33(6): 107-112(in Chinese).
- [2] 何洪英, 姚建刚, 蒋正龙, 等. 利用红外图像特征和 RBPNN 识别不同湿度条件下绝缘子的污秽等级[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(8): 117-123.
- He Hongying, Yao Jiangan, Jiang Zhenglong, et al. Contamination grades recognition of insulators under different humidity using infrared image features and RBPNN[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(8): 117-123(in Chinese).
- [3] 张运楚, 梁自泽, 谭民. 架空线路绝缘子破损视觉检测研究[J]. 高技术通讯, 2005, 15(8): 35-38.
- Zhang Yunchu, Liang Zize, Tan Min. Research on vision inspection system for porcelain insulator fault[J]. Chinese High Technology Letters, 2005, 15(8): 35-38(in Chinese).
- [4] 朱珠. 图像处理技术在架空线路绝缘子破损检测系统的应用研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2008.
- [5] 葛玉敏. 基于计算机视觉的绝缘子状态检测[D]. 保定: 华北电力大学, 2006.
- [6] 章毓晋. 图像工程: 中册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 168-172.
- [7] 孙凤杰, 王鹤, 范杰清. 基于遗传算法的图像阈值分割研究[J]. 电力系统通信, 2008, 29(193): 35-38.
- Sun Fengjie, Wang He, Fan Jieqing. Study on image threshold segmentation based on genetic algorithm[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2008, 29(123): 35-38(in Chinese).
- [8] Kapur J, Sahoo P, Wong A. A new method for graylevel picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1985, 29(3): 273-285.
- [9] Tao Wenbing, Jin Hai, Liu Liman. Object segmentation using ant colony optimization algorithm and fuzzy entropy[J]. Pattern Recognition letters, 2007, 28(7): 788-796.
- [10] Bhanu B, Sungke L, Ming J. Adaptive image segmentation using a genetic algorithm[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1995(25): 1543-1567.
- [11] 雷英杰, 张善文, 李续武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005: 45-61.
- [12] 姜振超, 杨洪耕. 基于数学形态学和遗传算法的配电网动态无功优化方法[J]. 电网技术, 2007, 31(23): 68-73.
- Jiang Zhenchao, Yang Honggeng. A mathematical morphology and genetic algorithm based dynamic reactive power optimization method for distribution network[J]. Power System Technology, 2007, 31(23): 68-73(in Chinese).
- [13] 李佐胜, 姚建刚, 杨迎建, 等. 基于方差分析的绝缘子红外热像特征选择方法[J]. 电网技术, 2009, 33(1): 92-96.
- Li Zuosheng, Yao Jiangan, Yang Yingjian, et al. Feature selection method of insulator infrared thermal image based on variance analysis[J]. Power System Technology, 2009, 33(1): 92-96(in Chinese).
- [14] Rafael C G, Richard E W. Digital image processing[M]. 2nd Edition. Publishing House of Electronics Industry, 2007: 519-560.
- [15] 杨森, 董吉文, 鲁守银. 变电站设备巡检机器人视觉导航方法[J]. 电网技术, 2009, 33(5): 12-16.
- Yang Sen, Dong Jiwen, Lu Shouyin. Visual navigation method of substation patrol robot[J]. Power System Technology, 2009, 33(5): 12-16(in Chinese).

收稿日期: 2009-05-25。

作者简介:

黄宵宁(1972—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事计算机视觉及虚拟仿真在电力系统中应用的研究工作, E-mail: huangxiaoning@njit.edu.cn;

张真良(1972—), 男, 学士, 讲师, 主要从事架空输电线路运行与检修信息化手段的研究。



黄宵宁

(编辑 蒋毅恒)