Journal of System Simulation

Volume 29 | Issue 6

Article 23

6-4-2020

Location Method of Insulators in Power Grid Patrol Aerial Images

Haiyan Cheng

North China Electric Power University, Hebei Engineering Research Center of Simulation & Optimized Control for Power Generation, Baoding 071003, China;

Han Pu

North China Electric Power University, Hebei Engineering Research Center of Simulation & Optimized Control for Power Generation, Baoding 071003, China;

Wang Di

North China Electric Power University, Hebei Engineering Research Center of Simulation & Optimized Control for Power Generation, Baoding 071003, China;

Yongjie Zhai

North China Electric Power University, Hebei Engineering Research Center of Simulation & Optimized Control for Power Generation, Baoding 071003, China;

Follow this and additional works at: https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal

Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Location Method of Insulators in Power Grid Patrol Aerial Images

Abstract

Abstract: A method to locate the insulators in the power grid patrol aerial images was proposed. OTSU algorithm improved by genetic algorithm was applied to segment insulators from backgrounds. The segmented images were filtered and reconstructed based on morphology algorithm. SketchUp software was used to build insulator samples, namely positive samples. The moment invariants of these samples and negative samples(background) were calculated respectively to train a classifier based on AdaBoost algorithm. By using the trained classifier, segmented insulators were classified and located coarsely. *The Order Cut method (OC) was used to cut the original minimum circumscribed rectangle consisting of all rectangles which located the same insulator, and the insulators could be located exactly and completely.* The testing results show that this methodology can locate different types and length of insulators from aerial images effectively , accurately and completely.

Keywords

aerial images, insulators location, threshold segmentation, moment invariants, Order Cut method

Recommended Citation

Cheng Haiyan, Han Pu, Wang Di, Zhai Yongjie. Location Method of Insulators in Power Grid Patrol Aerial Images[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(6): 1327-1336.

第 29 卷第 6 期	
2017年6月	

一种电网巡检航拍图像中绝缘子定位方法

程海燕,韩璞,王迪,翟永杰

(华北电力大学河北省发电过程仿真与优化控制工程技术研究中心, 保定 071003)

摘要:提出了一种电网巡检航拍图像中绝缘子定位方法。该方法利用遗传算法改进的最大类间方差 法对航拍绝缘子图像进行阈值分割,然后基于形态学滤波重构;采用 SketchUp 软件构建绝缘子图 像库,即正样本,对该正样本和负样本(背景)分别提取 Hu 不变矩来训练 AdaBoost 分类器;利用训 练好的分类器对分割后的绝缘子进行分类和粗定位;通过顺序割图法(Order Cut method, OC)对粗 定位得到的包含同一个绝缘子的所有矩形的并集的初始最小外接矩形进行裁割,最终获得精细定位 的完整绝缘子。实验结果表明,该方法能从航拍图像中有效、精确地定位不同类型、不同长度的完 整绝缘子。

关键词:航拍图像;绝缘子定位;阈值分割;不变矩;顺序割图法
中图分类号:TN911.73 文献标识码:A 文章编号:1004-731X (2017) 06-1327-10
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201706023

Location Method of Insulators in Power Grid Patrol Aerial Images

Cheng Haiyan, Han Pu, Wang Di, Zhai Yongjie

(North China Electric Power University, Hebei Engineering Research Center of Simulation & Optimized Control for Power Generation, Baoding 071003, China)

Abstract: A method to locate the insulators in the power grid patrol aerial images was proposed. OTSU algorithm improved by genetic algorithm was applied to segment insulators from backgrounds. The segmented images were filtered and reconstructed based on morphology algorithm. SketchUp software was used to build insulator samples, namely positive samples. The moment invariants of these samples and negative samples(background) were calculated respectively to train a classifier based on AdaBoost algorithm. By using the trained classifier, segmented insulators were classified and located coarsely. *The Order Cut method (OC) was used to cut the original minimum circumscribed rectangle consisting of all rectangles which located the same insulator, and the insulators could be located exactly and completely.* The testing results show that this methodology can locate different types and length of insulators from aerial images effectively , accurately and completely.

Keywords: aerial images; insulators location; threshold segmentation; moment invariants; Order Cut method

引言

绝缘子是输电线路中的重要元器件,它的作用



收稿日期:2015-12-25 修回日期:2016-04-06; 基金项目:国家自然科学基金(61472419),中央高校 基本科研业务费专项基金(2014MS140); 作者简介:程海燕(1978-),女,陕西户县,博士 生,讲师,研究方向为模式识别、图像处理;韩璞 (1959-),男,河北平泉,本科,教授,博导,研究方 向为火电厂智能控制及系统仿真。 是电气绝缘及支撑线路,由于常年暴露在大气中, 受雷击、污秽等多个因素影响,极易损坏。据统计, 电力系统故障率排在首位的就是由于绝缘子断裂 而引发的事故^[1]。因此对绝缘子进行状态检测和故 障诊断就变得非常重要。近年来使用直升机进行电 网巡检,利用图像处理技术发现绝缘子故障已成为 热点问题^[2]。而从航拍图像中定位绝缘子是实现绝

http://www.china-simulation.com

第 29 卷第 6 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 6
2017年6月	Journal of System Simulation	Jun., 2017

缘子故障检测的基础。

现有的绝缘子定位方法主要有以下4种:

基于颜色信息的定位。考虑绝缘子与背景区域的颜色差异,文献[3]将玻璃绝缘子彩色图像转换到HSI空间,对饱和度分量S进行阈值分割,采用连通区域法标示出绝缘子。文献[4]对蓝色绝缘子图像结合区域定位法,利用饱和度分量图像和最大类间方差法进行绝缘子的分割。当绝缘子与背景区域颜色区别明显时,基于颜色信息可以标示出绝缘子,但当二者颜色比较接近时,标示效果不理想。

2) 基于边缘检测的定位。文献[5-6]通过边缘 检测实现绝缘子定位,文献[7]采用基于非下采样 轮廓波变换提取绝缘子图像边缘,提取结果比较 好。因为航拍图像背景非常复杂,包含输电线、杆 塔、防震锤等多个目标,这使得边缘检测算法的定 位精度受到影响。

3) 基于形状特征的定位。文献[8]先将绝缘子 彩色图像从 RGB 转换到 HSI 空间,对 S 分量进行 阈值分割,然后依据绝缘子的形状特征识别出绝缘 子。文献[9]先对航拍图像进行阈值分割,再利用 二值图像中绝缘子串的形状特征,定位绝缘子。航 拍过程中由于拍摄角度问题,有时绝缘子会发生倾 斜,拍摄距离不同绝缘子在画面中所呈现的大小也 会不同,这些特点导致依据形状特征进行定位的准 确率下降。

4) 基于纹理特征的定位。文献[1,10]基于绝缘 子图像的纹理特征进行定位,取得了一定的效果。 但是基于纹理特征的定位计算复杂度高,且可能存 在与绝缘子纹理相近的其他目标,致使该方法的应 用性受到限制。

还有一些学者考虑绝缘子的其他特性,也提出了 相应的定位方法。李佐胜等^[11]提出应用绝缘子红外热 像图的处理来实现绝缘子的识别和故障诊断。李和明 等^[12]基于绝缘子的放电紫外图像来识别绝缘子。上述 方法在一定范围内,能够定位出绝缘子,但定位精度、 绝缘子完整性和适用性方面还有不足。文献[13]采用 粗细定位相结合进行航拍绝缘子图像分步识别,虽然 定位精度有所提高,但该方法易出现绝缘子被重复定 位以及局部定位的不足。本文所采用的方法克服了此 不足,能够单次定位到完整的绝缘子。

考虑到航拍图像背景复杂,并且在航拍过程中 由于角度和视距不同,图像中的绝缘子会表现出不 同的形状,所处位置也不同,有时拍摄到的绝缘子 会出现倾斜,而且拍摄距离不同画面中绝缘子的大 小也不同,很少有文献考虑到这些因素。矩具有尺 度、旋转和平移不变性,可以很好地解决航拍过程 中出现的这些问题,因此本文先利用绝缘子的不变 矩特征进行粗定位,为了提高定位精度,根据 AdaBoost 分类器的结果按照顺序割图法进行裁 割,得到精细定位的绝缘子。

1 航拍图像中绝缘子定位方法

针对航拍图像背景复杂、分辨率低的特点,本 文提出了一种基于不变矩特征的绝缘子定位方法。 首先利用遗传算法(GA)^[14]改进的 OTSU 法^[15]对航 拍绝缘子图像进行阈值分割;考虑到航拍绝缘子图 像缺乏,还没有标准测试样本库,本文采用 SketchUp 软件构建绝缘子正样本,以背景图像作为 负样本,分别提取正负样本的 Hu 不变矩^[16],作为 AdaBoost 分类器^[17]的训练数据,训练分类器;提取 待处理的分割后的绝缘子图像的 Hu 不变矩,利用 训练好的分类器进行分类识别,对绝缘子粗定位; 通过顺序割图法对粗定位得到的包含同一绝缘子的 所有矩形的并集的初始最小外接矩形进行裁割,最 终获得精细定位的绝缘子,其流程图如图1所示。





第 29 卷第 6 期 2017 年 6 月

1.1 图像分割

1.1.1 基于 OTSU 的图像分割

图像分割是图像处理中最关键的步骤之一,迄 今为止,还没有一种通用的图像分割方法。OTSU 方法^[15]被认为是自动选取分割阈值的最简单易行 的方法,它是在最小二乘法原理的基础上推导出来 的,它把某一灰度作为阈值,将图像分成两组,计 算两组的方差,当被分成的两组之间方差最大时, 就以该灰度值为阈值分割图像。

图 2(a)对应两幅航拍绝缘子图像,基于 OTSU 算法对两幅图像进行阈值分割,其分割效果如图 2(b)所示。从图 2(b)中可以看出,电力线、杆塔等 过多细节会干扰绝缘子的提取,因此需要对分割算 法进行改进。



1.1.2 遗传算法改进的 OTSU 分割

由于基于 OTSU 算法的图像分割结果中存在

许多不需要得到的细节部分,如输电线等,这些细 节不仅增加了绝缘子提取的计算负担,还会影响绝 缘子定位精度。因此需要对基于 OTSU 算法的图 像分割进行改进。遗传算法^[14]通过模拟生物进化 过程来搜索问题的解。由于 GA 对函数的数学性质 几乎不做任何要求,因此具有广泛的适应面。在遗 传算法设计中,关键问题在于确定合适的适应度函 数、编码方案以及遗传操作算子。对于本文的优化 问题,其选择如下:设定类间方差为染色体的适应 度函数,采用二进制编码,遗传操作采用比例选择、 部分离散交叉法及自适应变异算子,使个体进行变 异的概率动态调整。

根据上述遗传算法的选取方法,找到类间方差 最大时的最佳阈值,对图像进行分割,结果如图 2(c)所示。与图 2(b)相比,图 2(c)左图中两个绝缘 子之间的电力线减少,右图中绝缘子后面的电力线 及杆塔顶端的驱鸟器基本上被去除,因此,GA改 进后的图像阈值分割在保持绝缘子完整的基础上, 其他细微边缘也大大减少,但仍存在部分细微边缘 干扰绝缘子的分割结果,需要进一步处理。

1.1.3 形态学滤波重构

航拍图像经过 GA 改进的阈值分割后,已经将 绝缘子从复杂背景中分割出来,但分割后图像仍存 在很多细小噪声点和输电线区域,无法确定绝缘子 目标。本文先采用形态学开闭运算消除噪声,再利 用腐蚀运算和开运算对图像进行重构,处理结果如 图 3 所示。图 3 显示了分割后的图像经过形态学滤 波和重构后,绝缘子目标边缘完整,没有噪声,为 后续定位工作打下了良好的基础。

1.2 绝缘子粗定位

图像分割后,无法确定分割结果即为绝缘子, 还需要考虑绝缘子相关特征进行识别。在航拍过程 中由于角度和视距的差异,图像中的绝缘子会表现 出不同的形状,有时候拍摄到的绝缘子会出现不同 程度的倾斜,而且在拍摄画面中绝缘子大小不同, 所处位置不同。矩具有尺度、旋转和平移不变性, 因此本文利用绝缘子的不变矩特征进行识别定位。

第 29 卷第 6 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 6
2017年6月	Journal of System Simulation	Jun., 2017

考虑到目前航拍绝缘子图像缺乏,没有标准测试样本库,本文采用 SketchUp 软件建立绝缘子图像库,即正样本;分别提取正样本和负样本(背景)的 Hu 不变矩,作为 AdaBoost 分类器的输入数据,训练分类器;提取分割后的绝缘子图像的 Hu 不变矩,利用训练好的分类器进行分类识别,对绝缘子粗定位。





(a) 图 2 滤波结果



(b) 图 2 滤波和重构结果图 3 滤波和重构后的图像Fig. 3 Filtered and reconstructed images

1.2.1 构建正样本集

基于航拍图像的绝缘子识别还处在起步阶段, 缺乏绝缘子图像样本库,并且大量航拍素材存在背 景复杂、主体不明显等缺点。对于图像目标识别, 样本集的数量与质量对识别效果起着重要的作用。 本文运用建模技术绘制绝缘子图像,构建优质正样 本集,达到提高识别效果的目的。

本文参考绝缘子国标尺寸(GB772)的相应规 定,运用 SketchUp 软件建立绝缘子图像,其过程 如下:

(1) 通过创建一个几何球体经过一些相关参数的更改做出类似帽状的单个绝缘子片模型;

(2) 用类似的方法做一个尺寸较小的相同模型;

(3)通过阵列的方式将大小模型间隔排成一 排,对齐后用圆柱体连接所有帽状物的中心处从而 得到基本绝缘子的结构;

(4) 进行填充材质,颜色渲染等操作。

为提高算法适用性,建立不同类型、不同长度 的绝缘子图像,对建模的绝缘子图像进行多角度拍 摄,从中精选出质量较高的 300 幅绝缘子图像做成 正样本。图 4 为部分利用 SketchUp 软件建立的绝 缘子图像,这些图像具有航拍图像无法比拟的优 点,其背景纯净,绝缘子特征突出,没有噪声和失 真影响,并能获得 3 维空间各个角度和各种尺寸大 小的绝缘子图像。



图 4 正样本集 Fig. 4 Positive samples set

1.2.2 Hu 不变矩特征提取

矩是一种线性特征,矩特征对于图像的旋转、 比例和平移具有不变性,因而被用来描述图像中的 区域特征。Hu利用代数不变性的理论构造了 7 个 具有平移、比例和旋转不变性的矩不变量,即 Hu 不变矩^[16],为叙述方便,本文将其记为 Hu1~Hu7, 利用这 7 个 Hu 不变矩来表示绝缘子的矩特征。经 计算分别得到绝缘子区域(正样本)以及背景区域 (负样本)的 Hu 不变矩,它们之间有明显差异。图 5 给出了 100 个正负样本的第二个不变矩 Hu2 特征 值,图中绝缘子区域的矩特征值范围为[1.255 1, 3.220 3],而背景区域的矩特征值变化范围要比绝 缘子区域广,且普遍高于绝缘子区域。因此,通过 不变矩可以很好的区分绝缘子和非绝缘子区域。

1.2.3 AdaBoost 分类器训练

AdaBoost 算法^[17]是一种能够提升任意给定学 习算法精度的普适方法,通过改变数据分布来实现,它根据每次训练集中每个样本的分类是否正确 以及上次的总体分类的准确率,确定每个样本的权 值。将修改过权值的新数据集送给下层的分类器进 行训练,最后将每次训练得到的分类器融合起来, 第 29 卷第 6 期 2017 年 6 月

作为最后的决策分类器。文献[18-20]分别介绍了 AdaBoost 分类器在人脸检测、车辆识别和文本分 类中的成功应用。



Fig. 5 Moment invariants of foregrounds (insulators) and backgrounds

本文分别提取 300 幅绝缘子图像(正样本)和 300 幅背景图像(负样本)的 Hu1~Hu7 不变矩特征 值,作为训练 AdaBoost 分类器的数据,经过训练 得到一个最强的级联分类器。

1.2.4 绝缘子粗定位

由于采用 SketchUp 软件构建的正样本仅包含 一个绝缘子,其图像面积小,在待处理航拍绝缘子 图像进行分割和形态学滤波及重构后(为叙述方 便,将该图像记为预处理后图像),选取一个小面 积矩形作为子块,提取该子块对应的预处理后图像 部分的 Hu1~Hu7 共 7 个 Hu 不变矩,将其作为上 一节已训练好的分类器的输入数据,利用该分类器 进行绝缘子识别。移动子块遍历整幅图像,最后使 用矩形在原图中标记出识别到的绝缘子位置,定位 结果如图 6 所示。



图 6 粗定位结果 Fig. 6 Rough positioning results

实验中发现,同一绝缘子会被多个矩形定位, 但并不一定每个矩形都能包含一个完整绝缘子,很 多情况下,一个矩形只包含绝缘子的一部分,但多 个矩形的并集可以包含一个完整绝缘子。如图 6 左图中,画面左侧的绝缘子同时被 6 个矩形定位 到,画面右侧的绝缘子同时被 3 个矩形定位到,这 主要是因为所建立的绝缘子图像库中绝缘子形状 不同,长度不同,还有多个角度,采用遍历搜索法 时,包含短绝缘子就被认为找到了绝缘子,而此时 该短绝缘子有可能只是完整绝缘子的一部分,这就 使得同一个绝缘子被不同的矩形多次定位;有的矩 形虽然能够定位到完整的绝缘子,但定位面积过 大,因此需进一步精确定位。

1.3 绝缘子细定位

1.3.1 构造目标函数

经过粗定位,已经能够找到绝缘子大体位置, 但仍不够精确,本文找到粗定位得到的包含同一个 绝缘子的矩形并集的初始最小外接矩形,该矩形包 含一个完整绝缘子,采用顺序割图法(OC)对该矩形 进行裁割,从而获得精细定位的绝缘子。

根据粗定位训练好的 AdaBoost 分类器,构造目标函数 O(x),其定义为:

$$O(x) = \sum_{r=1}^{M} \alpha_r G_r(x) \tag{1}$$

式中: Gr(x)为弱分类器; α_r 为 Gr(x)在最终分类器中的权重; M为循环迭代次数。O 值越大,说明包含的绝缘子越完整。

1.3.2 顺序割图法细定位

用 R_i 表示粗定位找到的同一个绝缘子所画出 的矩形,用 $\bigcup_i R_i$ 表示找到的同一个绝缘子的矩形 的并集, R 表示并集 $\bigcup_i R_i$ 的初始最小外接矩形,从 预处理后的图像中截取 R 对应的图像部分,记为 I_R 。由于 I_R 已经包含一个完整的绝缘子,因此对应 I_R 计算得到的 O 值应该是最大的,记作 O_p 。对 I_R 进行裁割,如果裁掉一块图像后剩余部分的目标函 数 O 值和 O_p 值相等,说明没有裁掉绝缘子部分,

第29卷第6期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 6
2017年6月	Journal of System Simulation	Jun., 2017

该块图像可以直接裁去,相应调整 *R* 的坐标;相 反地,如果裁掉一块图像后剩余部分的目标函数 *O* 值比 *O_p* 值小,说明裁掉了绝缘子部分,应该恢复 该块图像,不能裁去。如此反复迭代,直到找到仅 包含一个完整绝缘子的最小外接矩形 *R*₀,即绝缘 子被精确定位。借助集合概念,*R*₀定义为:

$$R_0 = \underset{R}{\arg\min} \{ \Phi(R), \bigcup_i Ri \subset R \}$$
(2)

式中: $\Phi(R)$ 表示矩形的面积; $\bigcup_i R_i \oplus R$ 的含义同前面所述。

采用顺序割图法细定位流程图如图7所示。



图 7 顺序割图法流程图 Fig. 7 The flow chart of Order Cut method

被粗定位的绝缘子在矩形 R 中的位置有多种 可能性,割图过程中为了避免在某个方向上过度 裁割对其他方向造成影响,采用四个方向轮流循 环裁割,并约定从 R 的上部开始,沿着顺时针方 向都裁割一遍视作一轮,为达到精确定位目的可 以重复进行多轮裁割。图 8 标明了绝缘子位于 R 的中间位置时裁割过程示意图,其中数字表示裁 图的先后顺序号。先计算出该图像的目标函数值 *O_p*,然后从矩形 R 的上部(如图 8 中区域 1 所示) 开始,先裁掉一块图像,计算剩余图像部分的目 标函数值 *O*,如果目标值没有减小,则调整 R 的 坐标,收缩矩形大小,再从 R 的右侧(如图 8 中区 域 2 所示)接着裁割,判断 O 值没有变化,再次调整 R 的坐标,接着继续裁割 R 的下部和左侧(如图 8 中区域 3 与 4 所示)部分,如此反复进行,直到四个方向都不能裁割,找到包含一个完整绝缘子的最小矩形为止。



图 8 顺序割图法示意图 Fig. 8 The schematic diagram of Order Cut method

接下来说明顺序割图法的具体步骤。以原始图 像左上角为坐标原点,设矩形 R 从左上角开始沿 顺时针方向的 4 个顶点坐标依次为 $X_1, X_2, X_3,$ X_4 , 其中 $X_1 = (X_1^W, X_1^L)$, $X_2 = (X_2^W, X_2^L)$, $X_3 = (X_3^W, X_3^L)$, $X_4 = (X_4^W, X_4^L)$,当选择 S 为裁 割步长时, S 对应图像部分记为 I_S ,将 I_R 按照步长 S 裁掉一部分,用集合的概念表示为:

$$I_{R} = I_{R} \cap \overline{(I_{R} \cap I_{S})}$$
(3)
顺序割图算法如下:

输入: a_r, G_r, I_R, R 的 4 个顶点坐标 X₁, X₂, X₃, X₄
 输出: R₀的 4 个顶点坐标 X⁰₁, X⁰₂, X⁰₃, X⁰₄

2 初始化:设置4个方向的裁图标志位 top=0, bottom=0, left=0, right=0;

计算 I_R 对应的目标函数 O_p ; 设置裁图法步长为 S; num=top+bottom+left+right;

- 3 while(num<4)
- 4 { if(top=0)
- 5 { 根据公式(3)将 I_R 按照步长 S 从上部裁掉一部分;
- 6 计算 I_R 对应的 7 个 Hu 不变矩 Hu₁~Hu₇;
- 7 根据公式(1) 计算 I_R 对应的 O 值;
- 8 if $(O_p = O)$
- 9 按照公式(4)更新 R 坐标;
- 10 else top $\leftarrow 1$; }

第 29 卷第 6 期 2017 年 6 月

- 11 **if**(right=0)
- 12 {根据公式(3)将 I_R 按照步长 S 从右侧裁掉一部分;
- 13 计算 *I_R* 对应的 7 个 Hu 不变矩 Hu₁~Hu₇;
- 14 根据公式(1) 计算 IR 对应的 O 值;
- 15 **if** $(O_p = O)$
- 16 按照公式(5)更新 R 坐标;
- 17 else right $\leftarrow 1$; }
- 18 **if**(bottom=0)
- 19 {根据公式(3)将 I_R按照步长 S 从下部裁掉一部分;
- 20 计算 *I_R* 对应的 7 个 Hu 不变矩 Hu₁~Hu₇;
- 21 根据公式(1)计算 I_R 对应的 O 值;
- 22 **if** (*O_p=O*)
- 23 按照公式(6)更新 R 坐标;
- 24 else bottom $\leftarrow 1$; }
- 25 **if**(left=0)
- 26 {根据公式(3)将 I_R 按照步长 S 从左侧裁掉一部分;
- 27 计算 I_R 对应的 7 个 Hu 不变矩 Hu₁~Hu₇;
- 28 根据公式(1) 计算 I_R 对应的 O 值;
- 29 **if** $(O_p = O)$
- 30 按照公式(7)更新 R 坐标;
- 31 else left $\leftarrow 1$; }
- 32 num=top+bottom+left+right; }

33 $X_1^0 \leftarrow X_1, X_2^0 \leftarrow X_2, X_3^0 \leftarrow X_3, X_4^0 \leftarrow X_4$; //找到 R_0 的坐标

采用顺序割图法进行细定位过程中,当需要对 初始最小外接矩形进行裁割,更新矩形坐标时,具 体更新过程分为4种情况:

 1)如果是从上部分裁割,则调整*X*₁和*X*₂坐标: *X*₁ = (*X*₁^W, *X*₁^L + *S*), *X*₂ = (*X*₂^W, *X*₂^L + *S*) (4)
 2)如果是从右侧裁割,则调整*X*₂和*X*₃坐标: *X*₂ = (*X*₂^W - *S*, *X*₂^L), *X*₃ = (*X*₃^W - *S*, *X*₃^L) (5)
 3)如果是从下部分裁割,则调整*X*₃和*X*₄坐标: *X*₃ = (*X*₃^W, *X*₃^L - *S*), *X*₄ = (*X*₄^W, *X*₄^L - *S*) (6)
 4)如果是从左侧裁割,则调整*X*₁和*X*₄坐标: *X*₁ = (*X*₁^W + *S*, *X*₁^L), *X*₄ = (*X*₄^W + *S*, *X*₄^L) (7) 当四个方向都不能再裁割,即找到包含一个完

整绝缘子的最小外接矩形 R₀。

2 实验结果与分析

为验证本文提出的顺序割图法的有效性,我们

选取 100 幅航拍图像组成图像库进行实验(部分实 验图像如图 9 所示),并比较了本文方法、广义霍 夫变换(GHT)^[21-22]以及文献[13]的分步识别方法的 实验结果。



图 9 航拍绝缘子图像 Fig. 9 Aerial insulators images

为便于比较,考虑到绝缘子定位精度和定位完整性会直接影响后续绝缘子状态检测和故障诊断工作的计算量和复杂度,本文提出用两个指标来衡量绝缘子定位效果:(1)绝缘子填充率(target filling proportion, TFP),即定位矩形中绝缘子面积与定位矩形面积的比例;(2)绝缘子完整性(target complete proportion, TCP),即定位矩形中绝缘子面积占图像中同一绝缘子面积的比例。实验图像采用三种定位方法的定位效果如图 10 和图 11 所示。

从图 10 可以看出,本文方法定位到的绝缘子 填充率在 0.6~1 之间,主要集中在 0.8~0.9 这个范 围,落到该区域的图像数占实验图像总数的 69%。 GHT 方法 TFP 范围在 0.1~0.8 之间,能达到 0.7~0.8 之间的占实验图像总数的 3%,有 50%的图像 TFP 范围在 0.5~0.7 之间。文献[13]方法 TFP 范围在 0.2~0.9 之间,主要集中在 0.4~0.7 区域,落在该区 域的图像数占实验图像总数的 79%,有 3%的图像 TFP 值能达到 0.8 以上。可见本文方法定位矩形中 绝缘子面积与定位矩形面积的比例远高于另外两种 方法,因此本文方法定位精度优于另外两种方法。

从图 11 可以看出,本文方法定位到的绝缘子 完整性都高于 0.8,TCP 值在 0.9 以上的占实验图 像总数的 95%。GHT 方法 TCP 值分布比较广泛,

第29卷第6期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 6
2017年6月	Journal of System Simulation	Jun., 2017

主要集中在 0.3~0.7 之间,占实验图像总数的 71%, 其值大于 0.9 的图像数占实验图像总数的 4%。文 献[13]方法 TCP 范围在 0.4~1 之间,主要集中在 0.5~0.8 区域,占实验图像总数的 87%,其值大于 0.9 的图像数占实验图像总数的 11%。可见本文方 法定位矩形中绝缘子面积占图像中同一绝缘子面 积的比例远高于另外两种方法,因此本文方法的绝 缘子完整性优于另外两种方法。



为了更清楚的说明问题,将图 9 中的前三幅航 拍图像的定位结果在原图中用矩形标出,如图 12, 这几幅图像质量较好,绝缘子在图像中比较清晰, 且包含不同类型、不同长度的绝缘子,其背景复杂 度不同,杆塔影响也不同,表 1、表 2 分别对应这 三幅图像的 TFP 和 TCP 比较结果。



图 12 中采用 GHT 方法可以大致找到绝缘子的 位置,但定位的矩形面积过大。图像(a)中左侧绝缘 子只定位了其中一部分,图像(c)直接把两个绝缘子 定位到了一起,这对后续绝缘子统计工作不利。表 2 的计算结果中 GHT 方法的 TCP 值较小,这说明 GHT 方法的完整性要稍差一些。虽然采用 GHT 方 法图像(b)的完整性为 1,但其相应的 TFP 值又是三 种方法中最小的,即定位精度稍差。文献[13]的方 法也能找到绝缘子,因为该方法对同一绝缘子多次 定位,多个定位结果的 TFP 值和 TCP 值不同,导 致和 GHT 方法相比文献[13]方法其 TFP 值有增有 减,三幅图像中同一绝缘子的多个定位结果其定位 精度有的提高有的降低,但该方法多次定位,对于 统计绝缘子个数造成不利影响。相比另外两种方法, 采用本文方法进行定位其 TFP 值和 TCP 值都明显 增加,即本文定位矩形中绝缘子面积与定位矩形面 积的比例大于另外两种方法,且定位矩形中绝缘子 面积占图像中同一绝缘子面积的比例都为 1, 即本

文方法绝缘子定位精度和完整性都有明显提高。

表 1	三幅图像的 TFP 值比较
Tab. 1 TF	P comparison of three images

航拍	绝缘	GHT	→ 表¥[12]→: >+	本文
图像	子	方法	又瞅[15]万法	方法
	左侧	0.193 1	0.464 1, 0.601 5	0.829 7
а	右侧	0.694 4	0.652 5, 0.652 5, 0.779 3	0.831 3
b		0.315 6	0.557 6, 0.576 9	0.671 8
	左侧		0.479 1, 0.541 6	0.866 6
С	右侧	0.544 4	0.479 1, 0.479 1	0.766 6

表 2 三幅图像的 TCP 值比较 Tab. 2 TCP comparison of three images

-			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
航拍	绝缘子	GHT	文献[13]方法	本文
图像	-0-27	方法		方法
	左侧	0.290 9	0.771 4, 1	1
а	右侧	0.807 5	0.837 2, 0.837 2, 1	1
b		1	0.725, 0.75	1
c	左侧		0.606 1,0.685 1	1
	右侧	0.592 5	0.606 1,0.685 1	1

总之:1) 对于不同类型、不同长度的绝缘子, 采用本文方法定位的绝缘子外形完整,没有出现定 位到局部绝缘子的情况。如果定位只包含绝缘子的 一部分,而出现故障的部位没有被定位到,绝缘子 定位便失去了意义;2) 细定位结果中包含绝缘子 的矩形面积更小,定位精度更高;3) 算法在复杂 背景下定位绝缘子的误检率更低,鲁棒性更高。综 合以上这些优点,本文的定位方法使得在绝缘子定 位基础上的绝缘子状态检测和故障诊断等后续工 作计算量更小,可靠性更高,可以提高后续工作效 率和检测精度。

3 结论

本文提出一种电网巡检航拍图像中绝缘子定 位方法,实现了不同类型、不同长度绝缘子的精确 定位。具体过程分为4步:

1)利用遗传算法改进的 OTSU 法对航拍绝缘 子图像进行阈值分割,采用形态学滤波和重构改善 分割效果;

2) 采用 SketchUp 软件建模得到理想的正样本

集,解决了航拍绝缘子样本库匮乏的问题,计算正 样本集和负样本集的 Hu 不变矩特征,作为 AdaBoost 分类器的训练数据,训练分类器;

3) 提取分割后的绝缘子图像 Hu 不变矩,利 用已经训练好的分类器进行识别,实现绝缘子粗 定位;

4) 通过顺序割图法对粗定位得到的包含同一 个绝缘子的所有矩形的并集的初始最小外接矩形 进行裁割,最终获得精细定位的绝缘子。这是本文 最重要的贡献。

本文方法充分考虑了航拍过程中的角度和视 距问题,对不同类型、不同长度的绝缘子根据平移、 比例和旋转不变性的矩特征进行定位,通过顺序割 图法提高定位精度。实验结果表明,对于复杂背景 下的航拍图像,当绝缘子没有被大面积遮挡时,本 文方法能很好的定位到绝缘子。对于存在遮挡的情 况,需要通过对多帧图像或视频进行处理来解决, 这也是后续研究的方向。

参考文献:

- 李卫国,叶高生,黄锋,等. 基于改进 MPEG-7 纹理 特征的绝缘子图像识别 [J]. 高压电器, 2010, 46(10): 65-68. (Li Weiguo, Ye Gaosheng, Huang Feng, et al. Recognition of Insulator Based on Developed MPEG-7 Texture Feature [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 65-68.)
- [2] 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. (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.)
- [3] 黄霄宁,张真良. 直升机巡检航拍图像中绝缘子图像的提取算法 [J]. 电网技术, 2010, 34(1): 194-197.
 (Huang Xiaoning, Zhang Zhenliang. A Method to Extract Insulator Image From Aerial Image of Helicopter Patrol [J]. Power System Technology, 2010, 34(1): 194-197.)
- [4] 马帅营,安居白,陈舫明. 基于区域定位的绝缘子图 像分割 [J]. 电力建设, 2010, 31(7): 14-17. (Ma Shuaiying, An Jubai, Chen Fangming. Segmentation of the Insulator Images Based on Region Location [J]. Electric Power Construction, 2010, 31(7): 14-17.)

http://www.china-simulation.com

第 29 卷第 6 期	系统仿真学报	Vol. 29 No. 6
2017年6月	Journal of System Simulation	Jun., 2017

- [5] L Khalayli, H A Sagban, H Shoman, et al. Automatic inspection of outdoor insulators using image processing and intelligent techniques [C]// IEEE Electrical Insulation Conference. USA: IEEE, 2013: 206-209.
- [6] 谭磊, 王耀南, 沈春生. 输电线路除冰机器人障碍视 觉检测识别算法 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(11): 2564-2571. (Tan Lei, Wang Yaonan, Shen Chunsheng. Vision based obstacle detection and recognition algorithm for transmission line deicing robot [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(11): 2564-2571.)
- [7] 赵振兵,金思新,刘亚春. 基于 NSCT 的航拍绝缘子 图像边缘提取方法 [J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(9): 2045-2052. (Zhao Zhenbing, Jin Sixin, Liu Yachun. Aerial insulator image edge extraction method based on NSCT [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(9): 2045-2052.)
- [8] 姚春羽,金立军,闫书佳. 电网巡检图像中绝缘子的 识别 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(9): 1818-1822. (Yao Chunyu, Jin Lijun, Yan Shujia. Recognition of Insulator String in Power Grid Patrol Images [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2012, 24(9): 1818-1822.)
- [9] 赵振兵, 王乐. 一种航拍绝缘子串图像自动定位方法
 [J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(3): 558-565. (Zhao Zhenbing, Wang Le. Aerial insulator string image automatic location method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(3): 558-565.)
- [10] 杨翠茹. 基于纹理特征的绝缘子检测方法 [J]. 电气 技术, 2010, 11(7): 46-48. (Yang Cuiru. A Detection Method for Insulators Based on Texture Features [J]. Electrical Engineering, 2010, 11(7): 46-48.)
- [11] 李佐胜,李文利,姚建刚,等.应用绝缘子红外热像 处理的现场污秽等级检测方法 [J].中国电机工程学 报, 2010, 30(4): 132-138. (Li Zuosheng, Li Wenli, Yao Jiangang, et al. On-site Detection of Pollution Level of Insulators Based on Infrared-thermal-image Processing [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(4): 132-138.)
- [12] 李和明, 王胜辉, 律方成, 等. 基于紫外成像的污秽 绝缘子放电特性研究 [J]. 华北电力大学学报, 2010, 37(3): 1-6. (Li Heming, Wang Shenghui, Lu Fangcheng, et al. Study on insulator contaminant discharge characteristics based on ultraviolet imaging [J]. Journal of North China Electric Power University, 2010, 37(3): 1-6.)
- [13] 翟永杰, 王迪, 伍洋, 等. 基于骨架提取的航拍绝缘子 图像分步识别方法 [J]. 华北电力大学学报, 2015,

42(3): 105-110. (Zhai Yongjie, Wang Di, Wu Yang, et al. Two-stage Recognition Method of Aerial Insulator Images Based on Skeleton Extraction [J]. Journal of North China Electric Power University, 2015, 42(3): 105-110.)

- [14] T Ma, B Abdulhai. Genetic algorithm based combinatorial parametric optimization for the calibration of microscopic traffic simulation models [C]// Intelligent Transportation Systems. USA: IEEE, 2001: 848-853.
- [15] 郎咸朋,朱枫,郝颖明,等. 基于积分图像的快速二 维Otsu 算法 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(1): 39-43. (Lang Xianpeng, Zhu Feng, Hao Yingming, et al. Fast two-dimensional Otsu algorithm based on integral image [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(1): 39-43.)
- [16] M K Hu. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. IRE Transactions on Information Theory (S0018-9448), 1962, 8(2): 179-187.
- [17] Y Freund, R E Schapire. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to Boosting [J]. Journal of Computer and System Sciences (S0022-0000), 1997, 55(1): 119-139.
- P Viola, M Jones. Robust real-time face detection [J]. International Journal of Computer Vision (S0920-5691), 2004, 57(2): 137-154.
- [19] 文学志,方巍,郑钰辉. 一种基于类Harr特征和改进 AdaBoost分类器的车辆识别算法 [J]. 电子学报, 2011, 39(5): 1122-1126. (Wen Xuezhi, Fang Wei, Zheng Yuhui. An Algorithm Based on Haar-Like Features and Improved AdaBoost Classifier for Vehicle Recognition [J]. ACTA ELECTRONICA SINICA, 2011, 39(5): 1122-1126.)
- [20] 闫瑞,曹先彬,李凯. 面向短文本的动态组合分类算 法 [J]. 电子学报, 2009, 37(5): 1019-1024. (Yan Rui, Cao Xianbin, Li Kai. Dynamic Assembly Classification Algorithm for Short Text [J]. ACTA ELECTRONICA SINICA, 2009, 37(5): 1019-1024.)
- [21] 胡正平,高亚男. 形变冗余的改进GHT目标双层定位 方法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 50-58.
 (Hu Zhengpeng, Gao Ya'nan. Two-level deformed target locate algorithm based on the variant of generalized Hough transform [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(1): 50-58.)
- [22] C G Windsor, L Capineri, P Falorni. A data pair-labeled generalized Hough transform for radar location of buried objects [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters (S1545-598X), 2014, 11(1): 124-127.

http://www.china-simulation.com