

Automatic Tower Recognition Method Based on LSD Algorithm and Hough Transform in Aerial Transmission Line Image*

ZHANG Jun¹, PANG Shiqiang², LI Xiaobin^{1*}, ZHANG Haomin¹

(1. Jiangmen Power Supply Company, Guangdong Electric Power Company, Jiangmen Guangdong 529000, China;

2. Jiangmen Electric Power Design Institute Co., Ltd., Jiangmen Guangdong 529000, China)

Abstract: The inspection of transmission lines can ensure the safe operation of the power grid. The use of drone images to accurately and quickly achieve 3D modeling of overhead lines and corridors is an effective measure to promote the construction of smart grids. Considering that none of the current three-dimensional modeling methods have effectively modeled the line towers, this paper proposes an automatic extraction method for the towers based on drone images, which can effectively identify the line towers from the complex background image. First, the RGB threshold is used to roughly extract the line towers, and the connected domain is used to remove the image background; then the line segmentation detection and intersection operation are performed on the towers through the LSD algorithm; finally, the straight line segments are grouped according to the line tower geometry feature design of tower extraction algorithm. From the UAV image test, it can be seen that the automatic extraction method of the line tower proposed in this paper can effectively eliminate the interference of the complex background information of the image and realize the accurate identification of the line tower.

Key words: tower extraction; RGB threshold; LSD algorithm; Hough transform

EEACC: 6135; 8130F; 8130H

doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2021.05.031

融合 LSD 算法与 Hough 变换的航拍输电线路 图像杆塔自动识别方法*

张俊¹, 庞世强², 李晓斌^{1*}, 张浩民¹

(1. 广东电网有限责任公司江门供电局, 广东 江门 529000; 2. 江门电力设计院有限公司, 广东 江门 529000)

摘要: 对输电线路的巡检能够确保电网的安全运行, 利用无人机图像准确快速地实现架空线路及走廊的三维建模是推进智能电网建设的有效措施。考虑当前三维建模方法均未对线路杆塔进行有效建模, 因此, 本文提出了一种基于无人机图像的杆塔自动提取方法, 能够从复杂的背景图像中完成对线路杆塔的有效识别。首先, 采用 RGB 阈值对线路杆塔进行粗提取, 并结合连通域对图像背景进行去除; 然后通过 LSD (Line Segment Detector) 直线检测算法对杆塔进行直线分割检测和交运算; 最后结合 Hough 变换对直线段进行编组, 根据线路杆塔几何特征设计了杆塔提取算法。由无人机图像试验可知, 本文所提出的线路杆塔自动提取方法能够有效排除图像复杂背景信息的干扰, 实现线路杆塔的准确识别。

关键词: 杆塔提取; RGB 阈值; LSD 算法; Hough 变换

中图分类号: TP751; TM752

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2021)05-1210-05

伴随着国民经济的快速发展, 对于电能需求进一步增长, 由此架空线路的规模逐渐增大。架空线路多处于地貌复杂、交通不便地区且结构较为复杂, 人力开展巡检已经无法满足其需求^[1-2]。与传统的人工巡视检查方式相比, 无人机巡检不仅降低检测成本和人员危险性, 而且可以数字化、图像化、三维化。通过航拍建模的方式展示空中视角的架空线路和走廊, 很

大程度克服人工巡视检查的局限性, 因此研究输电线路三维建模技术具有一定的研究价值^[3-4]。

近年来, 国内外对于无人机航拍图像进行三维建模发展保持着较高水平。利用无人机图像的特征点匹配算法所建立的三维模型仅仅包含架空线路和走廊, 并未包含线路杆塔。这是因为与地表物和架空线路不同, 杆塔属于镂空结构, 难以通过特征点匹

项目来源: 广东电网有限责任公司科技项目(030700KK52180149)

收稿日期: 2020-10-14 修改日期: 2020-12-30

配进行建模。强行使用算法建模易造成杆塔结构不全等错误^[5-6]。

目前国内外人们对线路杆塔的三维建模进行了许多研究。文献[7]中提出了一种模型驱动的激光点云输电线路杆塔建模方法,利用输电网点云计算和云分布的方向特征,确定输电杆塔的主方向。文献[8]中提出通过对不同类型输电杆塔的现有三维模型进行分解,建立输电杆塔的全要素组件模型库,实现模型库中的不同组件能够根据其固定的连接关系自动拼接。文献[9]提出一种结合塔架结构的分布参数特征模型,它可以应用于具有不同塔架结构和线路参数的短线路。文献[10]基于多视几何进行杆塔三维重建。

本文为实现无人机图像中复杂背景下线路杆塔的准确提取,提出一种自动提取方法。该方法利用 RGB 阈值法、LSD 算法和 Hough 变换,对线路杆塔进行提取,并根据线路杆塔几何特征对直线段编组合并,能够快速、高效地完成对线路杆塔目标的三维建模。

1 算法总体框架

算法设计总体流程如图1所示,本文为实现复杂图像背景中输电杆塔的准确提取,主要思路首先采用 RGB 阈值对于杆塔辐射特征进行粗提取,并结合连通域完成对背景进行初步去除。其次针对线路杆塔在空间中的镂空特征,通过 LSD 算法对直线段初步提取,将连通域和 LSD 算法的处理结果进行交运算。最后通过 Hough 变化将直线段编为一个组别,那么相同组别中线段有无重合或者侧向距离大于一定阈值即可判断是否为同一直线。需要注意的是,直线段端点的连接需设置合适的阈值,且遵循最小二乘拟合原则,则可以提取出完整的线路杆塔。

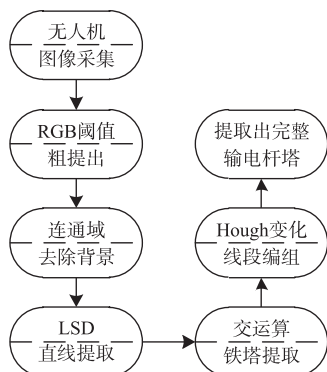


图1 算法设计总体流程

2 边缘检测与直线段提取

2.1 RGB 阈值粗提取杆塔

文献[11]分别通过分析 Phong 光照模型,发现

在阴影区域的三个通道中,R 通道下降的最多,G 通道次之,B 通道下降的最少,这相当于增加了阴影区域的蓝色分量。本文充分利用了阴影区域的这一属性,通过对彩色 RGB 影像进行如下的归一化处理:

$$\begin{cases} R' = \frac{R}{R+G+B} \\ G' = \frac{G}{R+G+B} \\ B' = \frac{B}{R+G+B} \end{cases} \quad (1)$$

式中: R 、 G 、 B 分别为原始 RGB 分量, R' 、 G' 、 B' 分别为归一化后的 RGB 分量。通过前面的分析可知,由于在阴影区域 B 通道灰度下降得最少,所以在 B' 分量中,阴影区域主要占据的是高像素值端,通过对 B' 分量图采用阈值分割的方法,设置一个较高的阈值就可以得到大致的阴影区域。但原始影像中的偏蓝色地物在 B' 分量中也具有很高的像素值,需要将这些区域从阴影区域中去除。基于此,本文在原始的 B 分量图中引入了一个阈值来保证阴影检测的精度。只有在 B' 分量中高于某个阈值,并在 B 分量中低于某个阈值的区域,才被检测成为阴影区域^[12]。

如图2所示,铁塔和导线在航拍影像上具有较为明显的辐射特征,利用辐射特征可以排除大部分的背景信息,特别是和铁塔、导线辐射特征差别较大的背景,如地表植被等。本算法采用影像 RGB 阈值法,通过阈值的调整和控制达到保留铁塔与导线信息,同时排除大量背景信息的目标。

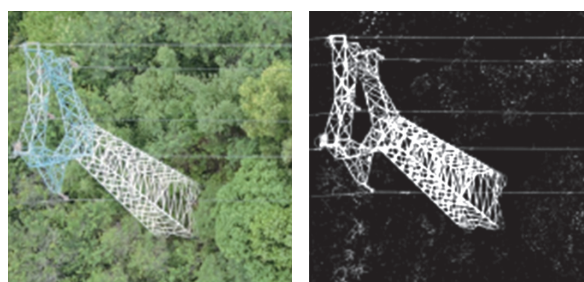


图2 原始杆塔和 RGB 提取后图像

2.2 连通域去除背景

由于无植被的裸地或混凝土路面等反射强度大的地方,其辐射特征和铁塔、导线较为相似,上一步使用基于辐射特征直线检测的结果必然仍然带有大量背景信息。但是这种背景信息与铁塔、导线信息相比大都是离散的点,或者非常小的区域。而铁塔塔材连通处众多、导线更是贯穿整幅影像。根据这一特征,本算法根据区域连通性的筛选将那些离散点、短线段和小面积的封闭区域进行去除,最大限度

剔除复杂的背景影像信息,如图 3 所示。

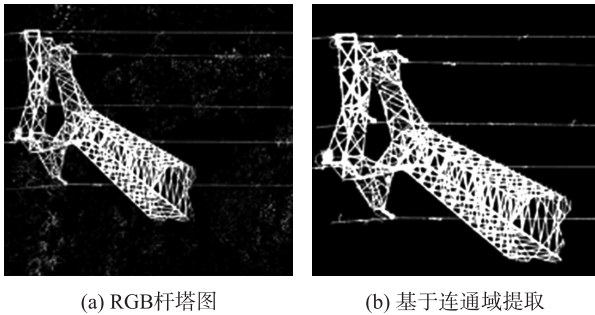


图 3 RGB 图像和基于连通域提取后图像

2.3 LSD 算法直线检测提取

LSD 算法的基本思想是检测图像中梯度变化较大的像素点集,因此输入图像必须是灰度图,检测目标即是图像中灰度从黑到白或是从白到黑变化的像素点,以达到在线性时间内获取亚像素精度的线段检测结果。

LSD 涉及到 2 个基本概念:梯度和图像的基准线,如图 4 所示。LSD 先计算每个像素与基准线的夹角以构建基准线场,然后利用区域生长算法合并场里方向近似一致的像素,得到一系列线支撑域,如图 5 所示;最后在这些域内进行像素合并提取直线段。



图 4 图像梯度和基准线

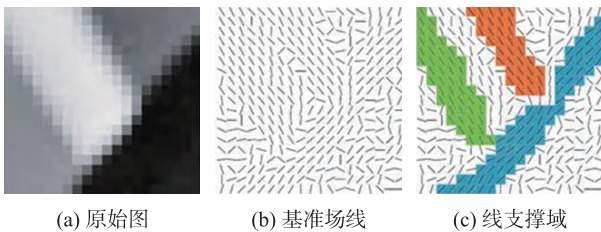


图 5 线支撑域示意图

LSD 算法流程如图 6 所示,经过 LSD 直线提取算法处理,可得所有检测出线段基元的左右端点及线段宽度,如图 7 所示。

但是 LSD 直线提取算法还存在一些问题,一方面,在真实图像中,往往由噪声和畸变等影响,致使直线变成有较小曲率的弧线;另一方面,从 LSD 像素合并和控制误差的准则可以看出,这种算法只对直线段有用,对其他线结构将失效,如弧段或折线等,即使是曲率较小的弧段也难以有效^[14]。

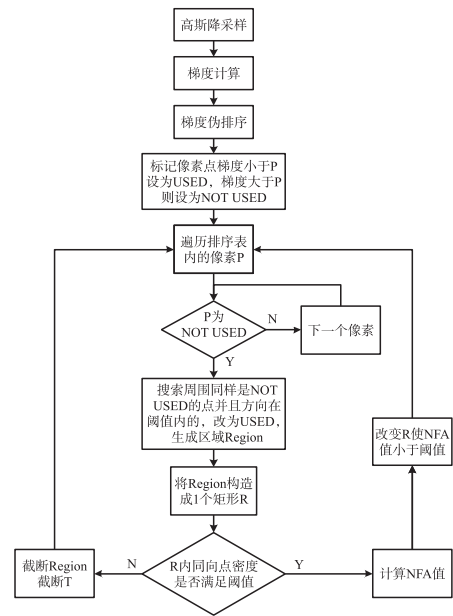


图 6 LSD 直线提取算法流程

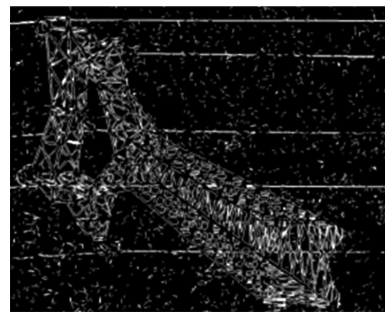


图 7 LSD 算法处理结果

2.4 交运算提取铁塔

LSD 算法有很强的抗噪性。但是,该算法无法排除背景信息的影响,利用 LSD 算法的线段检测结果与基于连通性去除背景的提取结果进行“交”运算,即一个像素在两组数据中都为目标时,将其推断为铁塔即提取目标。交运算的处理结果如图 8 所示。

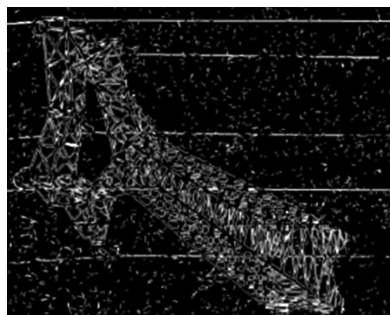


图 8 交运算处理结果

2.5 基于 Hough 变换的线段编组

Hough 具有良好的抗噪性能,可将具有相同特征的几何图形从灰度图像中分离出来^[15]。其主要基于点与线的对偶性来实现直线检测,极坐标系下

直线方程表示为:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

平面直角坐标系下任一点的坐标 (x, y) , 对应于与极坐标系下的过点 (ρ, θ) 的正弦曲线, 而直角坐标系下同属于一条直线上的点在极坐标系下会出现交集。首先, 由定义 $\theta \in [0, 180)$, ρ 表示为坐标原点到该直线的距离, 那么可以根据每一个点 (x, y) 及离散的 θ 值将 ρ 计算出来, 通过累计所有的 (ρ, θ) 可以获得最终的权值, 并选择其最大值, 记作 $A_m(\rho, \theta)$ 。如果 $A_m(\rho, \theta)$ 的值大于设定的阈值, 即可以找到直角坐标系中直线的位置。Hough 变换原理分析如图 9 所示。

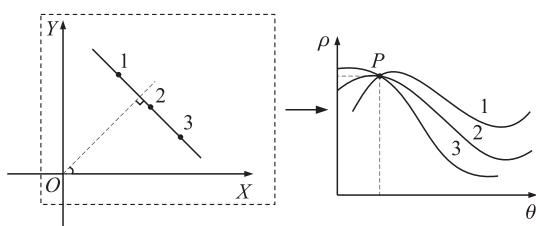


图 9 Hough 变换原理

由以上分析可知, 直线检测的 Hough 变换可以定义为:

$$H(\rho_q, \theta_p) = \sum_{i,j=0}^{N-1} A(x_i, y_j) \mid \rho_q - \frac{1}{2} \leq x_i \cos \theta_p + y_j \sin \theta_p \leq \rho_q + \frac{1}{2} \quad (3)$$

式中: $A(x_i, y_j)$ 表示提取的每个像素的灰度值, Q 是关于 ρ 的总体样本数, P 是所取离散的 θ 总数, 二值图像尺寸则定义为 $N \times N$ 。

将 Hough 变换应用于基于 RGB 阈值后的二值图像, 如图 10 所示。由于初始图像中背景信息较单一, 且无其他的线性干扰, 可以看到使用 Hough 变换能够使一些处于相同直线的短线段得到了较好的连接, 但对于杆塔背景图像复杂程度提升, 要想获取图像中的完整的杆塔, 仍有必要对初步提取后的线

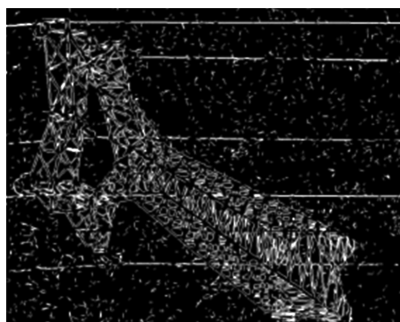
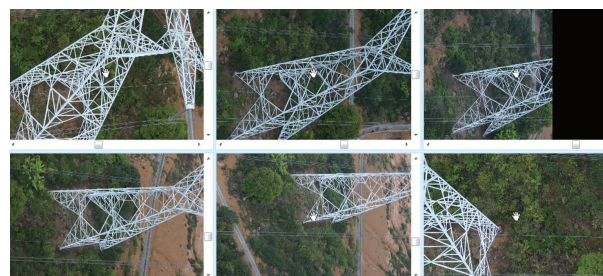


图 10 Hough 变换二值图像直线提取

路作进一步处理。

4 实验验证

为验证本文采用以上算法能够准确提取出航拍图像中复杂背景下的线路杆塔, 实验针对无人机的输电线路航拍杆塔图像信息, 采用本文所提出的算法分别对酒杯杆塔、干字塔进行建模分析对比。最终可得实验效果对比如图 11 所示。



(a) 无人机航拍杆塔图像



(b) 酒杯杆塔建模



(c) 干字塔建模

图 11 实验结果分析

表 1 统计部分杆塔实测与建模结果的最大误差, 可以看出, 水平偏差最大仅为 0.132 m, 垂直偏差最大仅为 0.268 m, 反映出本研究三维重建的立体模型精度是很好的。由以上结果可以看出, 当图像背景信息比较复杂时, 使用本文所设计的算法, 如图 11(b)、11(c) 所示, 所提取的线路杆塔受背景信息干扰较小, 最终得到的线路杆塔图像较为清晰, 且未出现破碎, 验证了该算法能够实现复杂背景图像中线路杆塔的准确、完整的提取, 有利于架空输电线路设备本体的三维模型建立, 可进一步丰富当前建模平台化应用。

表 1 部分杆塔建模点与实测点对比

杆塔类型	实测点		建模点		偏移量/m	
	X(水平)	Y(垂直)	X(水平)	Y(垂直)	dX(水平)	dY(垂直)
酒杯杆塔	17 527.039	-5 468.498	17 526.907	-5 468.390	0.132	0.108
干字塔	16 757.518	-5 295.791	16 757.397	-5 296.059	0.121	0.268

5 结 论

本文设计了一种基于无人机图像的线路杆塔自动提取算法,能够从复杂的背景图像中完成线路杆塔的有效识别,进而达到三维建模的要求。首先由 RGB 阈值结合连通域对图像中杆塔进行初步提取,再经 LSD 算法直线分割检测和交运算,最后通过 Hough 变换线段编组合并最终完成线路杆塔的提取过程。由实验结果可知,该方法能够有效削弱复杂的背景噪声的干扰,且基于线路杆塔镂空特征进行合并,进一步实现了线路杆塔准确、完整的提取,验证了此方法的有效性。

参考文献:

[1] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术,2009,33(8):1-7.

[2] 刘文,杨慧霞,祝斌. 智能电网技术标准体系研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(10):120-126.

[3] 李智韬. 基于无人机摄影测量的架空输电线路三维实景建模研究与应用[D]. 广州:华南理工大学,2019.

[4] 刘跃波,马立新. 电力巡检无人机避障技术研究[J]. 电子测量技术,2019,42(13):1-5.

[5] 高旭东,张军朝,张建,等. 无人机电力线路巡检安全距离测量新方法[J]. 现代电子技术,2020,43(5):146-149,154.

[6] Cao W, Zhu L, Han J, et al. High Voltage Transmission Line De-

tection for UAV Based Routing Inspection [C]//2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Wollongong, Australia, 2013:554-558.

[7] 余文辉,奚建飞,雷伟刚,等. 模型驱动的激光点云输电线路杆塔高效 3D 建模方法[J]. 地理信息世界,2020,27(1):127-132.

[8] 郑晓光,陈驰,王柯,等. 基于全要素组件模型库的输电线路杆塔三维高效高精度建模[J]. 广东电力,2017,30(6):94-97,131.

[9] Li X, Li F, Liu P, et al. Modeling Approach for Short-Transmission Lines on the Same Tower with Different Wire Parameters and Tower Structure [C]//2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Guangzhou, China. 2018:376-383.

[10] Araujo A R J, Kurokawa S. A Tutorial About Tower Transmission Models for the Analyses and Prediction of Backflashovers [J]. IEEE Latin America Transactions, 2017, 15(8):1432-1438.

[11] Huang Jianjun, Xie Weixin, Tang Liang. Detection of and Compensation for Shadows in Colored Urban Aerial Images [C]//Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (IEEE Cat. No.04EX788), Hangzhou, China, 2004, 4:3098-3100.

[12] 黄远溢. 基于航拍图像的杆塔编号目标提取研究[J]. 通讯世界,2020,27(3):91-92.

[13] 杨俊,赵忠明. 基于归一化 RGB 色彩模型的阴影处理方法[J]. 光电工程,2007(12):92-96.

[14] 陈瑞. 基于航拍图像的输电线路关键部件故障识别方法[D]. 保定:华北电力大学,2019.

[15] 张少平. 输电线路典型目标图像识别技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.



张 俊(1982—),男,高级工程师,硕士,研究方向为电网工程建设、分析及管理工作;



庞世强(1975—),男,高级工程师,本科,研究方向为电网工程设计、分析及管理工作;



李晓斌(1986—),男,高级工程师,硕士,研究方向为电网工程建设管理及四新应用管理工作;



张浩民(1987—),男,高级工程师,硕士,研究方向为电网规划建设工作。