

基于 Hough 变换和总体最小二乘法的电力线检测

操昊鹏,曾卫明,石玉虎,徐 鹏

(上海海事大学 信息工程学院,上海 201306)

摘要:随着智能电网技术的飞速发展,无人机智能巡检已经受到了广泛关注,而电力线是电力故障检测和无人机导航的重要参照物。针对电力系统中故障检测定位难的问题,提出了一种基于霍夫变换和总体最小二乘法的电力线提取方法。首先,在原图像经过预处理的基础上,通过霍夫变换进行初步检测,获得电力线的大致位置;然后,根据霍夫变换的检测结果锁定电力线的范围;最后,对锁定范围内所有的点,使用总体最小二乘法精确拟合出电力线。实验结果表明,该方法能够很好地检测电力线位置并拟合出电力线,具有鲁棒性强、检测精度高等特点。该方法不仅适用于地形复杂的山地区域,而且对于图像的清晰度要求并不高,因而在电力系统故障检测中具有很强的实用性。

关键词:智能电网;电力线;霍夫变换;总体最小二乘法;图像处理

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)10-0164-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.10.034

Power Line Detection Based on Hough Transform and Total Least Squares Method

CAO Hao-peng, ZENG Wei-ming, SHI Yu-hu, XU Peng

(School of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: With the rapid development of smart grid technology, UAV intelligent inspection has attracted a lot of people's attention, and the power line is an important reference for power fault detection and unmanned aerial navigation. Aimed at the problem of fault detection and positioning in power system, we propose a power line extraction method based on Hough transform and total least squares method. In detail, the Hough transform is firstly used to obtain the approximate position of the power line. Then, the range of the power line is roughly determined according to the detection result of the Hough transform. Finally, we use the overall least squares method for all the points in the locking range above which can fit the location of power line accurately. The experiment shows that the method proposed can detect the position of power line and fit the power line well, with strong robustness and high detection accuracy. The method is not only applicable to mountainous areas with complex topography, but also has not high requirement for image definition, so it has strong practicability in power system fault detection.

Key words: smart grid; power line; Hough transform; total least squares method; image processing

0 引言

随着计算机图像处理技术的快速发展,基于图像处理的电网检测技术得到了广泛的应用。在现阶段的情况下,由于智能巡检技术发展不够完善,基本上都采用的是人工巡视方法。因为输电线路所处的环境很复杂,人工巡检方法成本高、效率低,难以保证巡检的质量^[1]。通过研究发现,在电力设备故障检测放电位置定位和无人机自动寻径的过程中,电力线是重要的参照物,能否完整地拟合出电力线的位置,对电力故障检

测结果有着很重要的作用^[2]。目前电力线拟合的方法有很多种,无人机航拍方法得到了广泛应用^[3]。2007年,Yan等采用线性模板和比率线检测算子技术来筛选电力线点,然后采用Radon变换和卡尔曼滤波方法检测出电力线,效果良好,但是其中线性模板容易产生噪声,而比率检测算子的效果则依赖于先验阈值的选择^[4]。

在现有的直线检测方法中,霍夫变换是经典的方法之一,具有鲁棒性好,无须启发式信息等优点^[5]。但

收稿日期:2017-11-21

修回日期:2018-03-06

网络出版时间:2018-05-28

基金项目:国家自然科学基金(31470954)

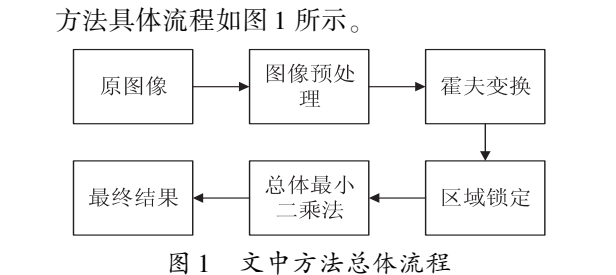
作者简介:操昊鹏(1993-),男,硕士,研究方向为图像处理与模式识别;曾卫明,博士,教授,研究方向为图像处理与模式识别、脑功能连通性检测与神经认知等。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180525.1603.054.html>

由于电力线图像情况的复杂性,大多数图像中存在噪声、干扰物和弧度等,所以仅仅使用传统的霍夫变换并不能满足需求。对此,文献[6]采用改进 RANSAC 算法能够提取出精度较高的直线,但是该方法不能自动去除不感兴趣的区域。基于多种直线检测算法,文献[7-8]提出了一种基于霍夫变换和最小二乘法的直线检测方法,该方法鲁棒性强,可以很好地剔除不感兴趣区域,但是该方法采用了经典最小二乘法,对噪声点比较敏感,结果会产生偏差。

基于各种方法的优缺点考虑,文中提出了一种基于霍夫变换和总体最小二乘法的电力线拟合方法。该方法使用霍夫变换提取出电力线大致位置,然后锁定区域,最后在区域内使用总体最小二乘法直线拟合。

1 方法流程



为了保证电力线拟合的正确性,需要对原图像进行一些必要的预处理,然后采用霍夫变换得出一些线段,筛选出感兴趣区域,最后在感兴趣区域使用总体最小二乘法得出结果。

2 图像预处理

首先将原图像转换成灰度图像,然后对灰度图像进行边缘提取。由 Roberts 提出的算子是一种利用局部差分算子寻找边缘的算子,在 2×2 邻域上计算对角导数^[9]。

$$G[i,j] = \frac{\sqrt{(f[i,j] - f[i+1,j+1])^2 + (f[i+1,j] - f[i,j+1])^2}}{2} \quad (1)$$

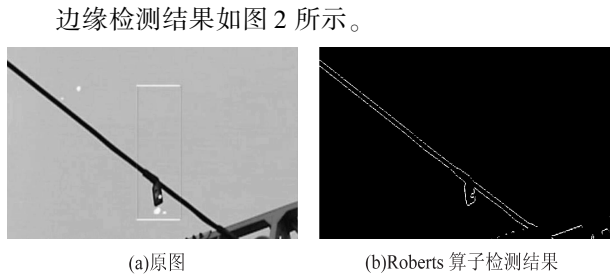


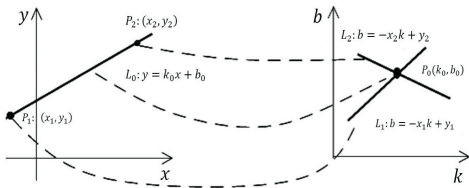
图 2 边缘检测效果

3 霍夫变换

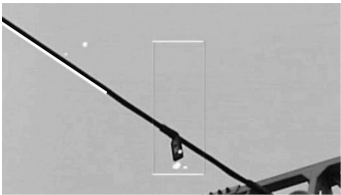
霍夫变换的基本原理在于利用点与线的对偶性,

将原始图像空间给定的曲线通过曲线表达形式变为参数空间的一个点。这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转化为寻找参数空间中的峰值问题,也即把检测整体特性转化为检测局部特性。

霍夫变换直线检测原理如图 3(a)所示。



(a)霍夫变换原理



(b)霍夫变换检测结果

图 3 霍夫变换

平面直角坐标系中的直线 L 表达式为:

$$y = kx + b \quad (2)$$

其中, k 为斜率; b 为截距。

据式 2,直线 L 上不同的点 (x,y) 在参数空间中被变换为一族相交于 P 点的直线。显然,若能确定参数空间中的 P 点(局部最大值),就实现了直线的检测。平面中任意一条直线也可以用极坐标方程来表示,即可以用 ρ 和 α 两个参数确定下来,对于图像空间的任意点,其函数关系为:

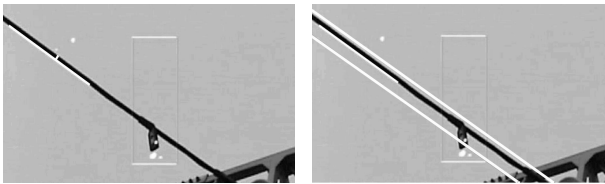
$$\rho = x \cos \alpha + y \sin \alpha \quad (3)$$

其中, ρ 为原点到直线的距离(即原点到直线的垂直线的长度); α 确定了直线的方向(即原点到直线的垂直线与 x 轴方向的夹角)。

如果对位于同一直线 L 上的 n 个点进行上述变换,则原图像空间 n 个点在参数空间中对地得到 n 条正弦曲线,并且这些曲线相交于同一点^[10]。最后对这些点进行投票,设置票数阈值,超过该阈值判定为检测到的直线,得出霍夫变换结果,如图 3(b)所示,白色线条为霍夫变换检测的结果线段 L_1 。

4 范围锁定

由于霍夫变换检测到的是电力线的边缘,所以根据这一特性,可以检测出电力线的大致宽度。具体方法为从霍夫变换已经检测到的线段 L_1 上任意一点出发,沿着该线段垂直方向做像素点遍历,并统计像素点个数,直到出现灰度值差异很大的点,终止遍历,得到电力线大致宽度 d ,如图 4(a)白色线段所示。



(a)电力线宽度检测结果 (b)电力线范围锁定

图 4 电力线的范围锁定

得到宽度 d 之后,考虑到电力线的一般情况,设置宽度范围为 $2d$ 到 $5d$ 之间。文中方法使用 $2.5d$,也就是说在距离线段 $L_1 2.5d$ 的地方画两条平行线,如图 4 (b)所示。

所以将范围缩小到这两条平行线之间,然后在锁定的范围内记录 Roberts 算子得到的边缘点。

5 总体最小二乘法

总体最小二乘 (total least-squares, TLS) 问题是 1980 年由 Golub 等提出了整体解决方法。近 20 年来,人们已经对总体最小二乘解的算法以及解的形式、总体最小二乘解与最小二乘 (LS) 解之间的关系、总体最小二乘解的扰动理论以及数值实验做了许多的工作,获得了非常丰富的理论结果和数值计算方法。LS 是科学计算中求解超定线性方程组 $Ax = b$ 的一种经典方法。但是,很多实际问题得到的超定线性方程组用最小二乘方法求解会导致较大的误差,而用总体最小二乘方法来求解该超定线性方程组可能效果更好。因为在大多数情况下,平差模型中系数矩阵的元素并不总是常数,而往往是由观测值或其他计算结果组成的,都含有误差,所以 TLS 可以得到比 LS 更加合理的结果。

当系数矩阵和观测值都含有误差时,总体最小二乘问题的数学模型为:

$$y - e = (A - E) \cdot \xi \tag{4}$$

其中, e 和 E 分别为观测值和系数矩阵的随机误差,具有独立、同分布、服从零均值和相同的方差; $\text{rank}(A) = m < n$; y 为 $n \times 1$ 的观测值向量; A 为 $n \times m$ 的系数矩阵; ξ 为 $m \times 1$ 的特征估计参数。

若在经典最小二乘法中,系数矩阵 A 被认为是没有误差的,因此所有的误差都包含在观测向 e_y 中,然而在现实中,这样显然不完全合理。所以引入总体最小二乘法,该方法同时考虑了观测值和系数矩阵的随机误差,结果更精确。

总体最小二乘法的思想就是不仅用扰动向量 e 去干扰数据向量 y ,而且扰动矩阵 E 的同时干扰矩阵 A ,所以,求解总体最小二乘的准则为约束最优化的问题^[11]:

$$\min \| [E; e] \|_F \tag{5}$$

式 5 中的 $[E; e]$ 是增广矩阵 $[E; e]$ 的 Fro-

benius 范数。

将增广矩阵 $[A; y]$ 进行奇异值分解 (SVD) 得:

$$[A; y] = U \Sigma V^T \tag{6}$$

其中, $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{m+1})$, 且 σ_{m+1} 为 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{m+1}$ 中的最小值。

为了求得 ξ , 使目标函数最小,改写方程为:

$$[\hat{A}, \hat{y}] \cdot [\hat{x}, -1]^T = 0 \tag{7}$$

因此利用特征值的方法进行 TLS 的求解,待求的参数向量则等于:

$$\hat{\xi} = - \frac{1}{v_{m+1, m+1}} [v_1, \dots, v_m, v_{m+1}]^T \tag{8}$$

设系数矩阵和观测值的修改量 $[\Delta A; \Delta y]$ 为^[12]:

$$[\Delta A; \Delta y] = [A; y] - [\hat{A}; \hat{y}] = \sigma_{m+1} u_{m+1} v_{m+1}^T \tag{9}$$

因为 $[\hat{\xi}, -1]^T$ 是 $[A; y]^T [A; y]$ 的特征值 σ_{m+1} 对应的特征向量,所以:

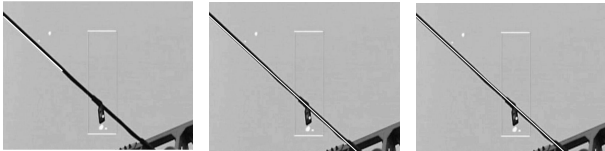
$$[A; y]^T [A; y] = \sigma_{m+1}^2 [\hat{\xi}, -1]^T \tag{10}$$

由式 10 可得^[13-15]:

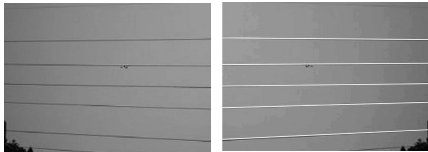
$$\hat{\xi} = (A^T A - \sigma_{m+1}^2 I)^{-1} A^T y \tag{11}$$

6 实验结果与分析

实验分别采用了三种不同的方法,即霍夫变换、基于霍夫变换和经典最小二乘和基于霍夫变换和总体最小二乘,结果分别如图 (a) ~ (c) 所示;另外其他实验数据的结果如图 5 (d) 和 (e) 所示。



(a)霍夫变换检测结果 (b)霍夫变换基于经典最小二乘法检测结果 (c)文中方法检测结果



(d)其他原图 (e)文中方法检测结果

图 5 几种方法的效果对比

结果对比如表 1 所示。

表 1 实验结果比较

方法	斜率	截距	起始点坐标	终点坐标
基于霍夫变换和经典最小二乘法	0.593 9	44	(0,44)	(900,579)
文中方法	0.594 7	47	(0,47)	(900,582)

基于图 5 (a) ~ (c) 的效果和表 1 的数据对比可以看出,文中方法明显优于霍夫变换,文中方法的效果要略好于基于霍夫变换和经典最小二乘法的结果。

7 结束语

文中提出一种基于霍夫变换和总体最小二乘法的方法来检测电力线。首先使用霍夫变换检测出感兴趣区域,然后根据电力线宽度锁定检测范围,最后使用总体最小二乘法拟合出高精度的直线。该方法弥补了霍夫变换直线检测对噪声敏感、鲁棒性弱的不足,在检测精度上比经典最小二乘法更加准确。实验结果表明,该方法检测效果好,可以应用于无人机导航和电力领域的故障检测等方面。

参考文献:

[1] 时圣革,王 森,董力文.一种基于方向可调滤波的航拍图像电力线检测算法[J]. 光学与光电技术,2015,13(6):45-48.

[2] 孙浩轩,毕艺飞,王 蕊,等.一种快速电力线检测方法初步探究[J]. 电子技术与软件工程,2014(19):101.

[3] GOLIGHTLY I, JONES D. Visual control of an unmanned aerial vehicle for power line inspection[C]//12th international conference on advanced robotics. Seattle, WA, USA: IEEE,2005:288-295.

[4] YAN Guangjian, LI Chaoyang, ZHOU Guoqing, et al. Automatic extraction of power lines from aerial images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(3):387-391.

[5] DUDA R O, HART P E. Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures[J]. Communications of the

ACM,1972,15(1):11-15.

[6] 袁清珂,张振亚,毕 庆.改进 RANSAC 算法在直线拟合中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术,2015(1):123-125.

[7] 郭斯羽,翟文娟,唐 求,等.结合 Hough 变换与改进最小二乘法的直线检测[J]. 计算机科学,2012,39(4):196-200.

[8] 秦 涛,张 轲,邓景煜,等.基于改进最小二乘法的焊缝特征直线提取方法[J]. 焊接学报,2012,33(2):33-36.

[9] 甘金来.图像边缘检测算法的比较研究[D]. 成都:电子科技大学,2005.

[10] 唐佳林,王镇波,张鑫鑫.基于霍夫变换的直线检测技术[J]. 科技信息,2011(14):33.

[11] 张贤达.矩阵分析与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:403-415.

[12] FELUS Y A. Applications of total least-squares for spatial pattern analysis[J]. J. Surv. Eng., 2004, 130(3):126-133.

[13] 丁克良.整体最小二乘法及其在测量数据处理中的应用[C]//中国测绘学会第九次全国会员代表大会暨学会成立 50 周年纪念大会论文集. 出版地不详:中国测绘学会,2009.

[14] 李红伟,魏少春,陈安平,等.总体最小二乘法在直线拟合中的应用[J]. 地矿测绘,2010,26(2):4-5.

[15] 丁克良,沈云中,欧吉坤.整体最小二乘法直线拟合[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2010,29(1):44-47.

(上接第 163 页)

linguistics on human language technology. Edmonton, Canada: Association for Computational Linguistics, 2003:48-54.

[9] BAHDANAU D, CHO K, BENGIO Y. Neural machine translation by jointly to align and translate[C]//Proceedings of ICLR. [s. l.]:[s. n.], 2015.

[10] 王 龙,杨俊安,陈 雷,等.基于循环神经网络的汉语语言模型并行优化算法[J]. 应用科学学报,2015,33(3):253-261.

[11] SOCHER R, LIN C, NG A, et al. Parsing natural scenes and natural language with recursive neural networks[C]//Proceedings of the 28th international conference on machine learning. Washington:[s. n.], 2011:129-136.

[12] IRSOY O, CARDIE C. Deep recursive neural networks for compositionality in language[C]//Proceedings of the 27th international conference on neural information processing systems. Montreal, Canada: MIT Press, 2014:2096-2104.

[13] HOCHREITER S, BENGIO Y, FRASCONI P. Gradient flow in recurrent nets; the difficult of learning long term dependencies[M]. [s. l.]: WileY-IEEE Press, 2001:237-243.

[14] 黄 攀.基于深度学习的自然场景文字识别[D]. 杭州:浙

江大学,2016.

[15] PAPINENI K, ROUKOS S, WARD T, et al. BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation[C]//Proceedings of the 40th annual meeting on association for computational linguistics. Philadelphia: Association for Computational Linguistics, 2002:311-318.

[16] DODDINGTON G. Automatic evaluation of machine translation quality using n-gram co-occurrence statistics[C]//Proceedings of the second international conference on human language technology research. San Diego, California: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2002:138-145.

[17] BANERJEE S, LAVIE A. METEOR: an automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments[C]//Proceedings of the ACL workshop on intrinsic and extrinsic evaluation measures for machine translation and/or summarization. Ann Arbor:[s. n.], 2005:65-72.

[18] SNOVER M, DORR B, SCHWARTZ R, et al. A study of translation edit rate with targeted human annotation[C]//Proceedings of association for machine translation in the Americas. [s. l.]:[s. n.], 2006:223-231.