

基于切比雪夫多项式描述子的复杂背景下 输电线路提取算法

赵常威¹, 李森林¹, 程登峰¹, 操松元², 严波², 陈忠¹

(1. 国网安徽省电力公司 电力科学研究院, 合肥 230022; 2. 国网安徽省电力公司, 合肥 230061)

摘要: 在电力系统中, 利用计算机视觉和图像处理技术对输电线路的进行检测, 在保障电力系统的安全运行方面具有非常重要的作用; 针对复杂背景下的输电线路, 提出了一种基于切比雪夫多项式描述子输电线路提取算法, 该算法首先对输入图像进行预处理, 其次利用随机 Hough 变换提取图像中的直线和曲线, 然后利用切比雪夫多项式描述子的曲线描述优势, 对所提取的对象进行特征描述, 为了提高提取的精确度, 通过 K-means 聚类分析方法来训练视觉字典, 通过视觉字典的比对, 最终确定图像中的输电线路; 实验结果说明了所提出的算法可以精确地提取复杂背景下的输电线路。

关键词: 切比雪夫多项式描述子; 随机 Hough 变换; 输电线路; K-means 聚类; 曲线描述

Transmission Line Extraction Algorithm Based on Chebyshev Polynomial Descriptors in Complex Background

Zhao Changwei¹, Li Senlin¹, Cheng Dengfeng¹, Cao Songyuan², Yan Bo², Chen Zhong¹

(1. Electric Power Research Institute of State Grid Anhui Electric Power Company, Hefei 230022, China;
2. State Grid Anhui Electric Power Company, Hefei 230061, China)

Abstract: In the power system, there is a very important role in the protection of the safe operation of the power system by using computer vision and image processing technology to detect the transmission line. For the complex background, a transmission line detecting algorithm based on the Chebyshev polynomial descriptors (CPDs) is proposed. The algorithm firstly preprocesses the input image. Secondly, the random Hough transform is used to extract the straight lines and curves in the image, which are then described by the CPDs. In order to improve the accuracy of the extraction, the K-means clustering analysis method is used to train the visual dictionary, and the transmission lines in the image are finally determined by the comparison of the visual dictionary. The experimental results show that the proposed algorithm can accurately extract the transmission lines in complex background.

Keywords: Chebyshev polynomial descriptors; random Hough transform; transmission line; K-means clustering; curve description

0 引言

在电力系统中, 架空线路输电是电力工业发展以来所采用的主要输电方式。依赖于人工对输电线路进行巡检和维护的方式不仅效率低、成本高, 而且存在着很大的安全性问题。随着智能技术的发展, 利用计算机视觉和图像处理技术对输电线路的进行检测, 在保障电力系统的安全运行方面具有非常重要的作用。由于图像数据获取易受到传感器、拍摄环境、拍摄角度等多种因素的影响, 所获得的图像都不是单纯的输电线路, 大多含有复杂的背景, 研究复杂背景下的输电线路的提取算法具有重要的意义。

近期, 研究者们提出了许多在可见光图像中利用计算机视觉和图像处理技术来识别提取输电线路的算法。文献 [1] 提出了一种在复杂自然背景条件下, 用 Ratio 算子和分段 Radon 变换从航空影像中自动提取 550 kV 高压电力线的算法, 该方法能自动提取复杂自然背景下的 550 kV 高压电力线; 文献 [2] 在利

用 Canny 算子提取图像边缘、Hough 变换生成破碎直线段的基础上提出一种根据电力线的几何特征恢复完整电力线的算法, 该算法可以无人机航拍影像中提取出完整的电力线; 文献 [3] 在分析输电线路无人机巡检系统航拍图像中电力线特征的基础上, 运用 Ratio 算子和 Hough 变换, 提出一种基于特征检测的电力线提取算法; 文献 [4] 提出了一种基于 Hough 变换和支持向量机 (SVM) 的输电线路检测算法, 将该算法用于检测毫米波雷达所获取的视频图像; 文献 [5] 利用多个激光器用于定位, 提出了一种基于 HSV 空间奇异值分解的输电线路检测算法, 用于复杂环境和背景条件下的输电线路检测; 文献 [6] 提出了一种基于随机 Hough 变换和线追踪技术的电力线检测算法, 并指出大多数的已有的电力线检测工作侧重于直线检测, 并不能应用于具有较大曲率电力线图像的检测; 目前在电力线提取方面有一定成果, 但在复杂背景中提取电力线还是存在提取的电力线断裂不完整、算法复杂不稳定等不足之处^[7]。

现有的输电线路检测算法很多处理的是航拍图像或视频, 其中大多的航拍图像或视频中的输电线路成直线状或近乎于直线, 实际上, 由于输电线路的图像或视频数据获取受到传感器、拍摄环境、拍摄角度等多种因素的影响, 输电线路的形状

收稿日期: 2017-05-08; 修回日期: 2017-05-22。

作者简介: 赵常威(1988-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事输电线路状态监测技术方向的研究。

可能并不是呈现直线、抛物线等规则形状, 而是一些复杂的曲线。针对上述问题, 本文提出了一种基于切比雪夫多项式描述子的复杂背景下输电线路提取算法, 该算法利用随机 Hough 变换提取图像中的直线和曲线, 然后利用切比雪夫多项式描述子对所提取的对象进行特征描述, 并通过 K-means 聚类分析方法来训练视觉字典, 通过视觉字典的比对, 最终确定图像中的输电线路。

1 图像预处理与特征提取

1.1 图像滤波

由于图像获取的复杂性, 直接对图像进行特征提取往往效果不好, 在进行图像处理与分析之前, 需要对包含输电线路的图像进行必要的预处理以达到减少噪声等因素的影响。首先对图像进行中值滤波, 中值滤波可以克服边缘模糊和噪声等问题, 可以较好地保留输电线路的边缘信息; 利用直方图均衡化来增强图像的对比度, 以方便输电线路的定位; 然后利用阈值分割法获得二值图像以实现前景和背景的分隔。

1.2 特征提取

Hough 变换是一种提取边缘特征的方法, 可以提取直线、圆、椭圆、曲线等形状^[6]。传统的 Hough 变换虽然具有简单以及对于局部瑕疵是不敏感的优点, 但存在着计算时间长, 在复杂背景下容易误检测的缺点, 随机 Hough 变换^[9]在提取边缘像素时采用的是一种随机的方法, 效率高, 同时对图像的噪声更鲁棒^[10], 因此采用随机 Hough 变换来提取输电线路。

2 切比雪夫多项式描述子

在计算机视觉和图像处理领域中, 图像边界是非常有用的信息, 图像的边界一般表示成一个封闭的或者开的曲线, 研究者提出了很多描述闭曲线的方法, 如傅里叶描述子^[11]、隐含多项式曲线^[12]、曲率尺度空间^[13]等, 实际上, 很多从图像中提取得形状是开的, 如数字签名^[14]、含有虫蛀缺陷的植物器官的形状^[15]等, 因此一些开曲线的描述子, 如: p 型傅里叶描述子 (P-type Fourier descriptor)、跟踪开曲线 (tracing open curves) 等, 上述开曲线描述子存在着对噪声敏感、计算复杂度高等缺点^[16], 因此, 文献 [16] 提出了切比雪夫多项式描述子 (Chebyshev polynomial descriptors, CPDs) 用于描述开曲线, 该描述子具有很强的开曲线表示能力、准确性和稳定性高, 计算简单等优点。考虑到电力线的特征, 我们选用切比雪夫多项式描述子来描述电力线。

切比雪夫多项式定义为:

$$P_0(t) = 1, P_1(t) = t, P_m(t) = 2tP_{m-1}(t) - P_{m-2}(t), m = 2, 3, \dots \quad (1)$$

一维函数 $f(t)$ 可展开为:

$$f(t) = \sum_{i=0}^{\infty} c_i P_i(t) \quad (2)$$

实际中, 为了实现可计算性, 一般取前 m 项作为 $f(t)$ 的近似值, 即:

$$f(t) \approx \sum_{i=0}^{m-1} c_i P_i(t) \quad (3)$$

一个开曲线 C 的参数方程可以表示为 $Z(t) = (x(t), y(t))$, $t \in [0, L]$, 其中 $x(t)$ 与 $y(t)$ 表示长度为 t 时的曲线横坐标和纵坐标, 是关于长度 t 的函数, L 是曲线的总长度。 $x(t)$ 与

$y(t)$ 可以看成是两个一维函数, 按照切比雪夫多项式展开为:

$$x(t) \approx \sum_{i=0}^{m-1} a_i P_i(t), y(t) \approx \sum_{i=0}^{m-1} b_i P_i(t) \quad (4)$$

其中: 系数 $a_i (i = 0, 1, \dots, m-1), b_i (i = 0, 1, \dots, m-1)$, 称为曲线 C 的切比雪夫多项式描述子 (CPDs) 记为 $T_C = (a_0, a_1, \dots, a_{m-1}, b_0, b_1, \dots, b_{m-1})$ 。详见文献 [16]。

3 输电线路的提取

在训练阶段, 提取大量特征作为训练集, 为了减少冗余的特征, 首先利用聚类分析方法来选择代表性的特征即视觉字典, 本文使用 K-Means 作为聚类方法, K-Means 聚类^[17]的是一种无监督学习方法, 应用非常广的, 是一个迭代的算法, 其学习策略是最小化所有样本到对应聚类中心的聚类的平方和, 从而使生成的相同类簇的样本尽可能紧凑, 不同类别之间的样本尽可能分开。它是一种简单、快速的空间聚类方法, 也是较为实用的聚类算法。K-Means 算法^[18]描述如下:

1) 首先随机初始化 K 个中心点 $\tilde{T}_1, \tilde{T}_2, \dots, \tilde{T}_K$;

2) 其次计算每个样本点分别到 K 个中心点的距离,

$$d_i = \|T_C - \tilde{T}_i\|, i = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

并把每个样本标记为离它最近的中心点那一类;

3) 根据当前样本的类别更新中心点;

4) 如果中心点没更新则结束否则转到 2) 继续迭代。

最后电力线的视觉字典可以表示为:

$$L = \{(T_1, \mu_1), (T_2, \mu_2), \dots, (T_k, \mu_k)\} \quad (6)$$

其中: T_k 表示第 k 个视觉单词的直方图向量, 它是第 k 类中所有特征向量的平均值。 $\mu_i (i = 1, \dots, k)$ 为匹配阈值, 通过训练样本来获得。

在匹配阶段, 对任意输入图像均可可以得到一系列特征描述子, 注意其中包含许多非输电线路特征描述子, 记为 $\{T^1, T^2, \dots, T^v\}$ 。然后将这些特征与 L 中每个视觉单词进行匹配, 并用 L 中对应的阈值来判断其是否为输电线路的特征, 这样就可以排除大多数非输电线路的特征, 留下所有输电线路的特征。本文的算法流程如图 1 所示。

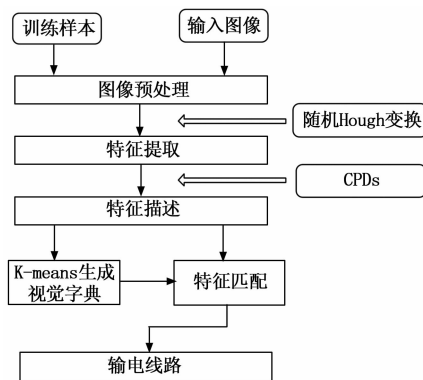


图 1 本文算法的流程图

4 实验结果与分析

本文使用大量含有输电线路的图像作为训练样本, 实验是在 Windows 7 环境下, 编译软件为 Visual Studio 2010 和 Matlab 2012 (b) _ , 电脑配置为 Intel core i7-4790 CPU@3.6 GHz, 8 核。

(下转第 223 页)

[10] 宋 涛, 褚光宇, 侯培国, 等. 基于质心点优化的鱼眼摄像机标定 [J]. 光子学报, 2016, (5): 100 - 105.

[11] 王 森, 伍 星, 刘 韬, 等. 基于反对称双正交小波变换的多尺度归一化分割方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016 (1): 106 - 118.

[12] Bradski G, Kaehler A. Learning OpenCV [M]. Yu S Q, Liu R Z, translated. Beijing: Tsinghua University Press, 2009: 414 - 416.

[13] Weng J, Cohen P. Hemiou M. Camera calibration with molds and accuracy Evaluation [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis

and Machine Intelligence, 2011, 16 (15): 469 - 476.

[14] Dai, Jian S. Euler-Rodrigues formula variations, quaternion conjugation and intrinsic connections [J]. Mechanism and Machine Theory: Dynamics of Machine Systems Gears and Power Transmissions Robots and Manipulator Systems Computer - Aided Design Methods, 2015, (1): 144 - 152.

[15] 岳晓奎, 侯小娟. 基于 Rodrigues 参数的视觉相对位姿确定方法 [J]. 宇航学报, 2010, 31 (3): 753 - 757.

[16] 施生达. 潜艇操纵性 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.

(上接第 171 页)

图 2 是本文算法对输电线路的检测结果。图 2 (a) 是原始图像, 从图中可以看出, 图像中含有多条输电线路, 还有建筑、树木等复杂背景。图 2 (b) 是利用随机 Hough 变换检测出的曲线 (灰色部分), 可见除了输电线路之外, 还有一些其他曲线, 需要进一步进行判别, 图 2 (c) 是利用在进行视觉字典匹配之后, 曲线是被识别为输电线路和非输电线路, 图 2 (d) 为最终检测结果, 从结果可以发现, 图像中可见的输电线路均已检测出来。

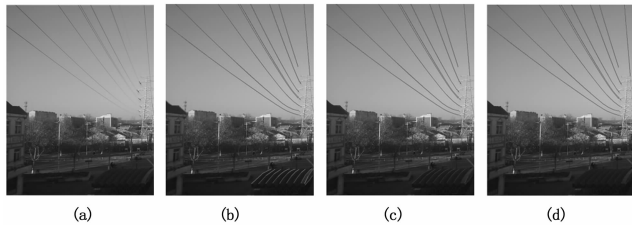


图 2 输电线路的检测

5 结论

输电线路的检测是电力传输系统中非常重要的问题, 为了解决复杂背景下的输电线路检测问题, 本文提出了一种基于切比雪夫多项式描述子的复杂背景下输电线路提取算法, 该算法利用随机 Hough 变换提取图像中的直线和曲线, 然后利用切比雪夫多项式描述子的曲线描述优势, 对所提取的对象进行特征描述, 并通过 K-means 聚类分析方法来训练视觉字典, 通过视觉字典的比对, 检测出图像中的输电线路。

实验结果说明了本文方法可以精确地提取复杂背景下的输电线路。但从实验结果看, 本文算法只能检测出图像中可见的输电线路, 在检测出的 9 条输电线路中, 有一条并不完整, 这是由于该输电线路可见度很低, 未检测部分基本不可见, 这需要进行经验判断, 也是我们今后的研究方向。

参考文献:

[1] 李朝阳, 阎广建, 等. 高分辨率航空影像中高压电力线的自动提取 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12 (6): 1041 - 1047.

[2] 李彩林, 冯朝晖, 等. 复杂地物背景下的电力线提取方法 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (22): 198 - 202.

[3] 张少平, 杨 忠, 等. 基于特征检测的航拍图像电力线提取方法 [J]. 应用科技, 2012, 39 (5): 36 - 39.

[4] Ma Q R, Goshi D S, Shih Y C, et al. An algorithm for power line detection and warning based on a millimeter-wave radar video [J].

IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20 (12): 3534 - 3543.

[5] Song W, Hu X R, Fu J, et al. The method of hybrid-laser image spot extracts based on HSV space SVD for power transmission line detection [A]. 2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA) [C]. 2016: 1361 - 1364.

[6] Baker L, Mills S, Langlotz T, et al. Power line detection using Hough transform and line tracing techniques [A]. 2016 International Conference on Image and Vision Computing, New Zealand (IVCNZ) [C]. 2016: 1 - 6.

[7] 汪 林, 王燕午, 千 琳, 等. 基于无人机的航空影像电力线提取方法的研究 [J]. 城市勘测, 2013, 3: 92 - 95.

[8] Ren D, Wang Q, Sun F. A fast and effective algorithm based on improved Hough transform [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2016, 44 (3): 465 - 469.

[9] Xu L, Oja E, Kultanen P. A new curve detection method: Randomized Hough transform (RHT) [J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11: 331 - 338.

[10] Baker L, Mills S, Langlotz T, et al. Power line detection using Hough transform and line tracing techniques [A]. 2016 International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ) [C]. 2016: 1 - 6.

[11] Zahn C T, Roskies R Z. Fourier descriptors for plane closed curves [J]. IEEE Trans, Comput, 1972, 21 (3): 269 - 281.

[12] Rouhani M, Sappa A. Implicit polynomial representation through a fast fitting error estimation [J]. IEEE Trans. Image Process, 2012, 21 (4): 2089 - 2098.

[13] Mokhtarian F, Mackworth A K. A theory of multiscale curvature - based shape representation for planar curves [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1992, 14 (8): 789 - 805.

[14] Mori M, Uchida S, Sakano H. Global feature for online character recognition [J]. Pattern Recognit. Lett., 2014, 35 (1): 142 - 148.

[15] Tanaka E, Tamura Y, Hosoya M, et al. Protrusion fourier descriptor: skeleton-based representation of open curves [J]. Forma, 2008, 23 (1): 9 - 18.

[16] Wu G, Zhang Y C, A new Chebyshev polynomials descriptor applicable to open curves [J]. Pattern Recognition Letters, 2015, 62: 41 - 48.

[17] Macqueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations [A]. Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability [C]. 1967: 281 - 297.

[18] 吴文峰. 基于局部特征字典的图像分类算法研究 [D]. 深圳: 深圳大学, 2012.