

# 基于霍夫变换与角点检测的叶脉特征提取算法

汪涛,成孝刚,李德志,吕泓君,李海波  
(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**叶脉特征提取对植物的基因研究具有重大价值,叶脉的特征体现了叶片的各种信息。而叶脉的角度信息直接反映了叶脉生长的方向和叶片顶端、底端的生长形态。因此,为了克服现有算法的局限性,提出一种基于霍夫变换和角点检测的叶脉特征提取算法。该算法首先通过霍夫变换搜索主叶脉,通过筛选得到主叶脉大致所在直线,继而得到叶片顶端、底端坐标;然后通过角点检测的方法搜索主叶脉与次叶脉的交点,再以获得的交点为起点,以区域增长法搜索叶片,以进一步提取主叶脉和次叶脉的坐标等参量,同时测得角度特征,包括主叶脉与边界夹角和主次叶脉夹角。利用瑞典白杨树叶(12 000片)对该算法进行验证,结果表明该算法在主次叶脉提取及其角度检测方面效果良好。

**关键词:**霍夫变换;Canny算子;白杨树叶脉;计算机视觉;基因

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2019)10-0159-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2019.11.032

## A Feature Extraction Algorithm for Leaf Vein Based on Hough Transform and Corner Detection

WANG Tao, CHENG Xiao-gang, LI De-zhi, LYU Hong-jun, LI Hai-bo

(School of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The extraction of leaf vein features is of great value to the genetic research of plants. The characteristics of leaf veins reflect various information of leaf. The angle of leaf vein directly reflects the direction of vein growth and the shape of leaf top and bottom. Therefore, to overcome the drawbacks of current veins extraction algorithms, a novel feature extraction algorithm for leaf vein based on Hough transform is presented. Firstly, the main vein is searched by Hough transform, and the approximate line of the main vein is obtained by filtering, and then the coordinates of the top and bottom of the leaf are obtained. Secondly, the intersection point between the main vein and the secondary vein is searched by corner detection method, and the area growth method is used to search the leaves from the intersection point obtained as the starting point, so as to further extract the coordinates of main and secondary veins and other parameters. Thereby, the angle parameters are calculated, including the angle between main and secondary vein, and that between the primary vein and leaf boundary. The algorithm is verified with leaves of Swedish aspen (12 000 leaves), which shows that it is effective in the main and secondary vein extraction and angle detection.

**Key words:** Hough transform; Canny operator; aspen vein; computer vision; gene

## 0 引言

叶脉是植物的重要器官之一,其特征直接反映了树叶的生长状态<sup>[1-2]</sup>。目前,国内外的学者从不同角度对叶脉特征进行研究。李灿灿等<sup>[3-4]</sup>利用基于K-means聚类算法和基于改进的Sobel算子和色调信息相结合的方法提取叶脉;张金瑞<sup>[5]</sup>利用基于数字图像

处理技术提取了毛白杨的叶面积等特征;余孝源等<sup>[6]</sup>针对叶片主茎脉与次茎脉之间的节点分部信息进行提取;金秋春等<sup>[7-8]</sup>对HIS颜色空间中植物叶脉信息进行提取,将多方向Top-Hat变换应用到叶脉特征提取中;Cope等<sup>[9]</sup>运用蚁群算法对树叶的叶脉进行提取;王晓洁等<sup>[10-11]</sup>设计了基于凸包的植物叶锯齿方法,并

收稿日期:2018-12-14

修回日期:2019-04-15

网络出版时间:2019-06-26

基金项目:国家自然科学基金(61401236);江苏省博士后基金(1601039B);江苏省重点研发计划(BE2016001-3);教育部-中移动科研基金(MCM20150504)

作者简介:汪涛(1993-),男,硕士研究生,研究方向为计算机视觉与机器学习;成孝刚,博士,硕导,博士后,研究方向为人工智能(Vision+);李海波,中组部千人特聘教授,江苏省特聘教授,博导,研究方向为新媒体技术。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190626.0840.062.html>

对多种叶片进行检测。现有算法无法适应大批量树叶的处理,这导致部分基因研究团队仍然采用人工测量方法。由此,亟待一种智能化的叶脉特征提取算法,以辅助植物基因研究。

文中提出一种基于霍夫变换<sup>[12-13]</sup>的叶脉特征提取算法。通过霍夫变换寻找主叶脉位置,判定其顶端和底端。通过角点检测,得到主叶脉和次叶脉的交叉坐标,继而得到主次叶脉的细节特征,并在此基础上计算对应角度。文中的主要贡献在于:将霍夫变换与角点检测相结合,应用于树叶主次叶脉提取;应用海量叶片扫描数据,对算法进行验证。

## 1 理论基础

### 1.1 霍夫变换

文中主要利用霍夫变换对树叶主茎脉进行直线检测。霍夫变换的原理是当图像平面上所有的点都对应到参数平面上,如果有不同的点进行变换后的曲线交于同一点,那么可以认为这些点通过原始平面内的一条直线。可以假设一个阈值,若交于某一点的曲线大于规定的阈值,则可认定这个交点为原始平面上的直线。

### 1.2 角点检测

在求取树叶主茎脉与次茎脉形成的夹角时,需要寻找角点,即主次叶脉的交叉点。文中主要运用 Harris 角点检测的思想<sup>[14-16]</sup>。角点检测的具体步骤为:(1)计算图像一阶高斯偏导数  $I_x$  与  $I_y$ ;

(2)计算  $I_x^2$ ,  $I_y^2$  与  $I_x * I_y$  的值;

(3)对步骤 2 的三个值进行高斯模糊,得到  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$ ;

(4)定义 Harris 矩阵,计算矩阵特征值;

(5)计算  $R$  值,  $R = \det M - K(\text{trace} M)^2$ , 其中  $\det M = \lambda_1 \lambda_2$ ,  $\text{trace} M = \lambda_1 + \lambda_2$ ;

(6)使用  $3 * 3$  或者  $5 * 5$  的窗口,实现非最大值压制。

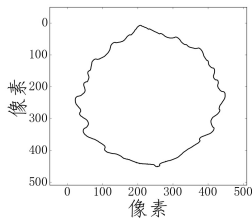
## 2 叶脉特征提取算法

该算法的研究主要分为三个部分:主次叶脉坐标提取;主叶脉与叶片边界角度提取;主次叶脉夹角提取。具体阐述如下:

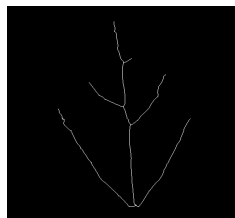
### 2.1 骨架化

首先使用 Canny、Sobel、Roberts 三种边缘检测算子获取图像的间断边缘;然后利用形态学膨胀方法将边缘间断处连接;继而将膨胀边缘图像骨架化,细化到一个像素宽度的连续边缘图;接着去除图像骨架化过程中形成的毛刺;最后得到树叶叶脉和边界的轮廓坐标。预处理后得到了一个树叶边缘轮廓以及主茎脉与

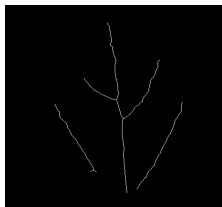
次茎脉的图,如图 1 所示。



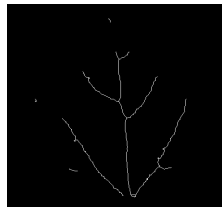
(a)叶片轮廓效果



(b)Canny 算子



(c)Sobel 算子



(d)Roberts 算子

图 1 叶片骨架化效果

通过图中发现,使用 Canny 算子提取树叶主次茎脉的效果最好。

### 2.2 主叶脉与树叶边界角度提取

文中利用霍夫变换来检测树叶中的主茎脉的近似位置。通过提取的树叶边缘坐标找到与主茎脉距离最近的点,即树叶的顶端和底端坐标。接着,以顶点和底点为起点向树叶两侧使用区域增长法找到边缘坐标。最终得到叶片边缘与主茎脉形成的四个夹角。

### 2.3 主次叶脉及其角度提取

在此过程中,首先通过角点检测得到图像上的候选角点,继而筛选出位于主叶脉上的关键角点,即主叶脉和次叶脉的交叉点。接着通过判断候选角点与 Hough 变换检测直线的两个端点是否近似在一条直线以确定目标角点的坐标。针对每一个角点提取周围一块区域,使用区域增长法找到邻近的主茎脉与次茎脉。根据已提取的主茎脉和次茎脉进行角度计算。算法的详细步骤如下:

算法:基于霍夫变换和角点检测的叶脉特征提取算法。

输入:1 200 棵白杨树(12 000 片树叶)。

输出:单个树叶主叶脉与树叶边界角度、主次叶脉夹角。

(1)预处理。

滤除噪声并二值化;

Canny 边缘检测获取树叶边缘;

获取树叶边界和叶脉坐标。

(2)主叶脉与树叶边界角度提取。

利用霍夫变换检测树叶主茎脉;

搜索树叶顶端和底端坐标;

利用区域增长法搜索以顶点和底点为起点的边缘坐标。

(3)主次叶脉及其角度提取。

角点检测搜索候选角点;

筛选出主叶脉与次叶脉相交的角点;

针对每一个角点利用区域增长法找到邻近的主次叶脉坐标。

3 计算机验证及分析

利用 Matlab 和 Python 对算法进行验证。计算硬件信息如下:CPU i7-6700HQ 2.60 GHz,显卡 NVIDIA GeForce GTX 960M,显存 2 GB,内存 8 GB。用于算法验证的白杨树叶来自瑞典等国家,共计 12 000 片(1 200 棵树\*10 片/棵)。实验结果显示良好,能够提取树叶的主次叶脉坐标和角度特征参量。下面给出了一组树叶中的部分效果图。图 2 为树叶灰度化后的效果,图中直线为霍夫变换找到的近似主茎脉的直线;图 3 是主茎脉与次茎脉形成的角度效果;图 4 是主茎脉与树叶边缘形成的角度效果。

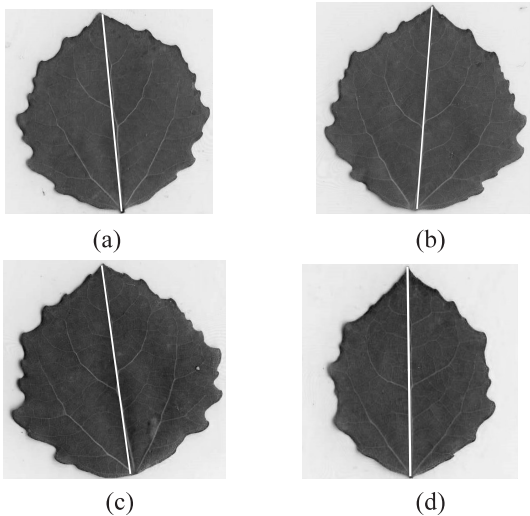


图 2 树叶灰度化效果

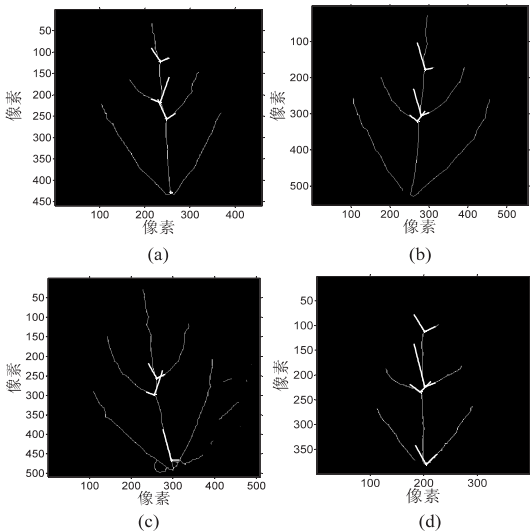


图 3 主茎脉与次茎脉夹角效果

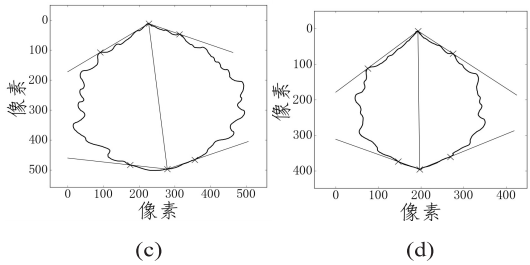
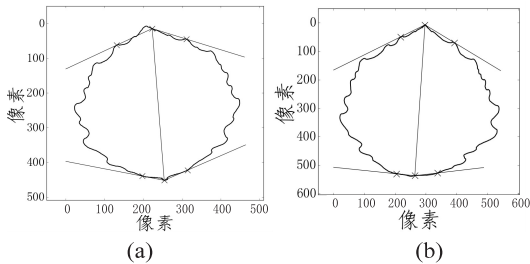


图 4 主茎脉与树叶边缘夹角效果

综上,文中算法可以得到叶脉角度的信息。在实验中,对叶片的角度信息进行了主观评测,用以衡量算法的准确性。表 1 给出了图 3 中各角度参量,每一行下方给出了相应的主观评测数据。由上至下编号为 1,2,3,4。此外,表 1 也分别给出了用 Sobel、Roberts 两种算子提取的骨架形成的主次叶脉夹角的度数,用以进行比较。表 2 给出了图 4 中各角度的参量,每一行下方给出了相应的主观评测数据。根据左上方,右上方,左下方,右下方角度的顺序依次编号为 1,2,3,4。角度单位均为角度制。

表 1 主次叶脉夹角数据

图 3	角 1/°	角 2/°	角 3/°	角 4/°
(a)	Canny 算子	99.85	93.35	79.01
	Sobel 算子	/	96.35	82.08
	Roberts 算子	/	94.18	82.71
	主观评测	98.5	90.5	80
(b)	Canny 算子	94.02	81.80	85.34
	Sobel 算子	/	84.86	75.22
	Roberts 算子	/	85.62	59.2
	主观评测	92.5	82.5	87
(c)	Canny 算子	90.11	93.19	104.12
	Sobel 算子	/	81.38	/
	Roberts 算子	101.52	70.36	95.15
	主观评测	92	88	103.5
(d)	Canny 算子	88.33	83.83	94.52
	Sobel 算子	88.15	79.29	92.28
	Roberts 算子	/	76.35	/
	主观评测	90	85.5	96.5

注:‘/’表示用该算子无法求出角度;‘N’表示没有该角。

表 2 主叶脉和叶片边缘角度数据

图 4	角 1/°	角 2/°	角 3/°	角 4/°
(a) 主观评测	66.49	66.92	73.79	68.11
	67.5	68	74	68
(b) 主观评测	58.33	60.42	87.18	79.16
	58	61	88	79
(c) 主观评测	60.75	61.64	76.35	74.02
	60	61	76	74
(d) 主观评测	48.79	51.50	66.22	64.59
	46.5	50.5	66	64.5

根据表 1、表 2 的数据,绘制如图 5、图 6 的折线图,以比较各算子计算度数的准确度。

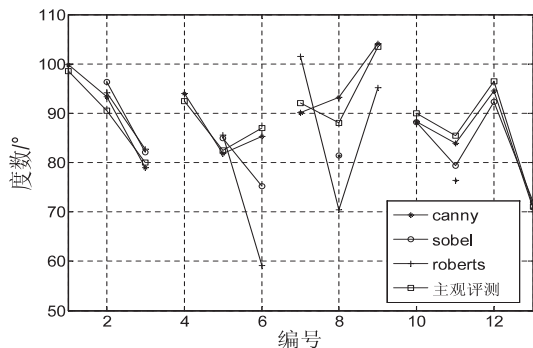


图 5 主叶脉夹角误差比较

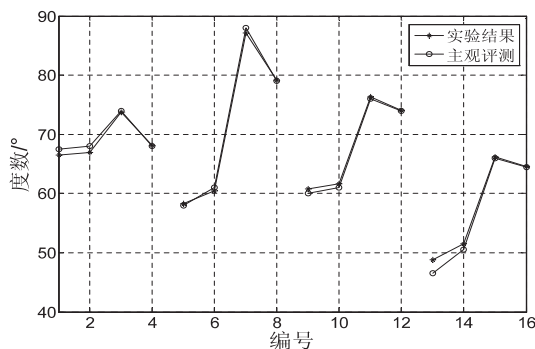


图 6 主叶脉和叶片边缘角度误差比较

通过图 5 发现,在用三种不同算子计算角度时,由于 Sobel、Roberts 算子骨架化的效果较差,有些角度出现丢失,并且角度与主观评测的误差较大。而 Canny 算子的效果最好,与主观评测的误差最小。表 2 的实验结果也与主观评测的结果误差较小。需要说明的是,在海量的算法验证过程中,也出现了一些效果不理想的图片,如图 4(a) 所示。可以看出在测量树叶顶部角度时,由于顶点坐标选取的误差导致角度的检测并不精确。随机抽取 100 张图片,这种情况的概率为 5%。这对于海量数据的检测而言,已经能够满足应用需求。这也将成为后续改进的方向。

## 4 结束语

采用霍夫变换对主叶脉进行检测,然后搜索树叶顶点和底端坐标,继而通过角点检测法筛选出主叶脉的交点,最后提取所有主叶脉坐标和角度特征信息。文中的研究对象是瑞典的白杨树叶片,叶片数据经过 10 年的采集,共计 12 000 片。实验表明,该方法在提取角度以及主叶脉信息方面效果良好。存在的局限性是该方法是否适用于其他种类的树叶。同时,实验中也出现了一些效果不好的情况,一方面在提取树叶特征时效果还可以进一步完善,另一方面是在提取角点以及寻找顶点底端坐标时出现的误差,还有待后续的改进。另外,利用深度学习进行训练,提取叶脉的相应信息,将是非常有意义的尝试。这些都将成为

后续努力的方向。

## 参考文献:

- [1] PATIL J K, KUMAR R. Analysis of content based image retrieval for plant leaf diseases using color, shape and texture features [J]. Engineering in Agriculture, Environment & Food, 2016, 10(2): 69-78.
- [2] CHAKKARAVARTHY S S, SAJEEVAN G, KAMALANABAN E, et al. Automatic leaf vein feature extraction for first degree veins [C]//Advances in signal processing and intelligent recognition systems. Trivandrum, India: Springer International Publishing, 2016: 581-592.
- [3] 李灿灿, 王宝, 王静, 等. 基于 K-means 聚类的植物叶片图像叶脉提取 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 157-162.
- [4] 李灿灿, 孙长辉, 王静, 等. 基于改进的 Sobel 算子和色调信息的叶脉提取方法 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 196-199.
- [5] 张金瑞. 基于图像处理的树叶面积特征提取的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [6] 余孝源, 贾丽丽, 林挺, 等. 基于图像处理的叶片主叶脉节点分布信息的提取 [J]. 广东农业科学, 2015, 42(21): 156-160.
- [7] 金秋春, 郑小东, 童小利. 多方向 Top-Hat 变换在叶脉特征提取中的应用研究 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(4): 195-197.
- [8] 金秋春, 王杰, 童小利. HSI 颜色空间中植物叶脉信息提取的研究 [J]. 农机化研究, 2010, 32(8): 178-180.
- [9] COPE J S, REMAGNINO P, BARMAN S, et al. The extraction of venation from leaf images by evolved vein classifiers and ant colony algorithms [C]//International conference on advanced concepts for intelligent vision systems. Sydney, Australia: Springer, 2010: 135-144.
- [10] 王晓洁, 于浩杰, 郑小东. 凸包在植物叶锯齿与叶裂位置识别中的应用 [J]. 农机化研究, 2013, 35(3): 214-217.
- [11] 王晓洁, 郑小东. 基于双向极角的植物叶凸包生成算法 [J]. 农机化研究, 2009, 31(10): 173-175.
- [12] 王国宏, 李林, 于洪波. 基于点集合并的修正 Hough 变换 TBD 算法 [J]. 航空学报, 2017, 38(1): 198-208.
- [13] CHA Y J, YOU K, CHOI W. Vision-based detection of loosened bolts using the Hough transform and support vector machines [J]. Automation in Construction, 2016, 71(2): 181-188.
- [14] 卢瑜, 郝兴文, 王永俊. Moravec 和 Harris 角点检测方法比较研究 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(6): 95-97.
- [15] 章为川, 孔祥楠, 宋文. 图像的角点检测研究综述 [J]. 电子学报, 2015, 43(11): 2315-2321.
- [16] HE X C, YUNG N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support [C]//International conference on pattern recognition. Cambridge, UK: IEEE, 2004: 791-794.