

# 基于角点检测的叶缘锯齿快速识别

徐 辉 王忠芝 黄心渊

(北京林业大学信息学院)

**摘要:**叶缘锯齿特征是植物识别的重要特征。本文提出了一种运用图像角点检测技术对叶缘锯齿进行识别和定位的方法。该方法首先利用基于 Harris 算子的方法进行角点检测,然后通过人工调整阈值提高检测精度。研究结果表明,该方法便捷、高效,在叶缘的锯齿检测中取得了较好的效果。

**关键词:**叶缘锯齿;角点检测;阈值;Harris 算子

中图分类号: TP391. 41 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2010)06-0085-05

XU Hui; WANG Zhong-zhi; HUANG Xin-yuan. **Rapid identification of the toothed leaf margin based on corner detection.** *Journal of Beijing Forestry University*(2010)32(6):85-89 [Ch ,10 ref. ]

School of Information Science & Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

Toothed leaf margin is the important characteristics for plant identification. We presents an image corner detection method to find and locate the margin tooth. Identification of corner based on Harris operator and the detection accuracy were improved by manual adjustment of thresholds. Results show that this method is convenient, effective and good in the detection of sample leaves.

**Key words** toothed leaf margin; corner detection; thresholds; Harris operator

随着计算机技术的不断发展,图像处理技术在林业中得到了一定的应用。运用计算机图像处理技术代替传统手工测量的方法采集植物的特征,大大地提高了工作效率。王晓峰等<sup>[1]</sup>介绍了一种基于叶片图像的形状特征对叶片进行识别的方法。该方法通过提取叶片轮廓,计算叶片的几何特征和图像不变矩对叶片进行识别。陈鼎才等<sup>[2]</sup>提出了一种基于参照物的植物叶片面积的研究方法。该方法先对图像进行中值滤波处理,然后采用直方图法进行图像分割,最后根据像素计算叶片面积。赵卓英等<sup>[3]</sup>应用细胞神经网络的方法对植物叶片图像中叶脉信息进行提取和分析。祁亨年等<sup>[4]</sup>提出了一种基于叶片特征的计算机辅助植物识别模型,包括叶片圆形度、边缘复杂度和锯齿数等。叶缘锯齿特征是叶片主要形态特征之一<sup>[4]</sup>,是进行植物识别与分类的一个重要依据。叶缘锯齿包含着非常丰富的角点信息,角点作为图像重要的局部特征,在图像匹配、目标描述与识别等领域都具有广泛的应用<sup>[5]</sup>。运用数字图像处理中的角点检测技术快速对叶缘锯齿进

行提取和检测,在植物识别以及植物建模与可视化的研究中都具有一定的理论意义和实用价值。

## 1 叶缘锯齿的特征与 Harris 算法

### 1.1 植物叶缘的形态特征

叶缘即叶片的边缘,叶缘随叶肉的发育方法和叶脉分布状态的不同具有多种形状<sup>[6]</sup>。常见的叶缘形状有全缘、波状、齿状、裂状等类型(如图 1 所示)。齿状叶缘又分为细锯齿状、重锯齿状、锯齿状、圆锯齿状等类型;裂状叶缘根据叶片的形状和缺刻(指叶片边缘上的凹陷)的深浅划分为羽状浅裂、羽状深裂、羽状全裂、掌状浅裂、掌状深裂、掌状全裂等类型<sup>[6]</sup>。

### 1.2 锯齿型叶缘的角点特征

叶缘具有锯齿特征的齿状和无锯齿的裂状叶片,本文均称为锯齿型叶缘。齿状叶缘的最大特点就是叶片的边缘以锯齿状生长。对于无锯齿的裂状叶片,其叶裂具有类似锯齿的特征,因此本文对

收稿日期:2009-06-30

基金项目:“948”国家林业局引进项目(2009-4-41)。

第一作者:徐辉。主要研究方向:数字图像处理。电话:010-62336392 Email:xuhuing2008@163.com 地址:100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学信息学院。

责任作者:王忠芝 副教授。主要研究方向:数字图像处理。电话:010-62336392 Email:wzzhi@bjfu.edu.cn 地址:同上。

本刊网址:<http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>



图1 叶片边缘类型

Fig. 1 Leaf margin types

注:图示来源于 <http://www.clemson.edu>。

此叶缘类型也进行了实验研究。观察发现,叶缘锯齿具有明显的角点特征,不同的植物类别,叶缘锯齿在数量、分布密度上都有所差异。

### 1.3 叶缘锯齿检测与角点检测

如果对叶片图像直接进行角点检测,在叶脉交叉处的角点信息和叶片边缘的锯齿信息都会被检测出来。因此,对叶片图像直接进行角点检测,标记出来的角点信息不一定是叶缘锯齿。进行叶缘锯齿检测要求把角点信息控制在叶缘上,对叶片上的其他角点不需要作为有效信息标记出来。本文采用图像二值化预处理和人工设定阈值的方法,只对叶缘锯齿信息进行标记。因此,提取叶片图像的角点特征是进行叶缘锯齿识别的基础,角点检测的精准度决定了叶缘锯齿检测的准确率。

### 1.4 Harris 算法

由于角点检测的结果直接影响叶缘锯齿检测结果,所以选择合适的角点提取算法非常关键。Harris 角点检测算子作为角点检测的经典算法,以其简单而且稳定的特点,在机器视觉领域得到广泛的应用<sup>[5]</sup>。Harris 算子在计算时只用到了图像数据的一阶导数<sup>[7]</sup>,所以对于图像旋转、亮度变化以及噪声的影响具有很好的鲁棒性。因此本文采用 Harris 算法提取叶缘锯齿。

Harris 算子是一种基于图像灰度的角点检测方法<sup>[7]</sup>。其核心思想是在图像中设计一个矩形检测窗口,考查当窗口沿不同方向移动时,区域内图像块的灰度变化情况。假设图像的灰度定义为  $I$ ,  $x$ 、 $y$  分别表示窗口在  $x$  方向和  $y$  方向的移动量。因此,对于小的偏移量  $E$  可以表示如下:

$$E_{x,y} = Ax^2 + 2Cxy + By^2 \quad (1)$$

用矩阵的形式表示为:

$$E_{x,y} = (x \ y) M (x \ y)^T \quad (2)$$

式中: $M$  为一个对称的自相关矩阵。

将  $M$  进行对角化处理:

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \rightarrow R^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} R \quad (3)$$

式中: $R$  为旋转因子,其不影响两个正交方向的变化

分量。

设两个正交方向的变化量  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  为矩阵  $M$  的特征值,则  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  与局部自相关函数的主曲率成比例。为了不对  $M$  分解求特征值,采用  $\text{Tr}(M)$  和  $\text{Det}(M)$  来代替  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ,其中:

$$\begin{aligned} \text{Tr}(M) &= \lambda_1 + \lambda_2 = A + B, \text{Det}(M) = \\ \lambda_1 \lambda_2 &= AB - C^2 \end{aligned} \quad (4)$$

定义角点响应函数为:

$$R = \text{Det}(M) - k\text{Tr}(M)^2 \quad (5)$$

式中: $k$  是随高斯函数和微分模板变化的变常量,一般取为 0.04<sup>[7]</sup>。

在窗口移动范围内,根据所得到的  $R$  值大小,可以判断是否存在角点。

## 2 叶缘锯齿检测过程

实验是在 Windows XP 系统、内存为 1 GB 的计算机平台以及 Matlab 7.0 的编程环境下进行的。实验系统利用 Matlab 图形用户接口进行用户界面设计,利用自带的图像处理工具箱进行图像预处理和实验结果输出。

### 2.1 实验样本的选择

实验选用具有代表性的细锯齿状、重锯齿状、锯齿状、波状,以及裂状中的掌状浅裂、掌状深裂 6 类叶缘类型的 120 张叶片图像作为实验样本,共包括 52 种植物叶片。实验样本均使用图像大小为  $800 \times 640$  像素且在单一背景下拍摄的单个叶片的图像,其中 80 张来自互联网,40 张为实地拍摄图像。

### 2.2 图像预处理

叶缘锯齿检测通过人工阈值设定的方法将角点信息控制在叶缘上,但仍然有少量的叶脉角点(图 2 中显示为角点的地方用“+”表示)被检测出来(如图 2a 所示)。为了避免这种情况,需要在角点特征提取前进行图像预处理。实验采取设置亮度阈值转换为二值图像的方法。经过二值化处理后的叶片图像(如图 2b 所示),去除了叶片上叶脉等其他特征,突出了叶缘的特点,增强了边缘锯齿的可检测性。经过图像

预处理后再进行叶缘锯齿检测,叶脉角点没有再被标记出来,叶缘锯齿的误检和漏检也明显减少,取得了较好的检测效果(如图2c所示)。

### 2.3 叶缘锯齿特征提取

实验采用图像与滤波的卷积来逼近微分运算。设 $I$ 为叶片图像的像素矩阵, $(u, v)$ 为图像上的像素点坐标。利用水平、垂直差分算子对图像每个像素进行滤波,分别求出图像像素点在水平方向和垂直方向的一阶导数 $I_u, I_v$ 。

定义角点响应函数:

$$R = \frac{\text{Det}(M)}{\text{Tr}(M) + \varepsilon} = \frac{I_u^2 I_v^2 - (I_u I_v)^2}{(I_u^2 + I_v^2) + \varepsilon} \quad (6)$$

式中: $\varepsilon$ 为一个绝对值非常小的数,防止了分母接近零的数产生的溢出错误。

式(6)与式(5)相比,避免了参数 $k$ 的选取,减少了实验结果的不确定性。响应函数(式(6))的高效性,在文献[8]中得到了证明。

提取叶缘锯齿特征的流程如下:

- 1) 载入叶片图像。
- 2) 进行图像预处理。
- 3) 根据式(6)计算各个像素点的兴趣值( $R$ 值)。
- 4) 根据叶缘类型人工选择阈值。
- 5) 求出邻域内兴趣最大点作为特征点。
- 6) 判断区域特征点是否大于阈值。
- 7) 舍弃区域特征点小于阈值的点,用“+”标记大于阈值的特征点。
- 8) 输出检测结果。

### 2.4 阈值的设定

本文在提取叶缘锯齿特征时,设定了 $\text{thresh}$ 和 $\text{radius}$ 两个可供人工选择的阈值。 $\text{thresh}$ 决定着核心点周围亮度变化的最小值, $\text{radius}$ 控制邻域大小。对于同一张叶片图像,设定不同的阈值,检测效果差异很大。以叶缘类型为掌状浅裂的叶片为例,实验设定了6组(记为a,b,...,f)不同的阈值进行叶缘锯齿识别。实验结果显示,阈值取值的变化,既能造成叶缘锯齿的漏检(如图3a,b所示)、错检(如图3d,e所示),也可以准确定位叶缘锯齿(如图3c,f所示),即叶缘锯齿的检测精度可以通过调整阈值来提高。

表1列出了这6组实验的阈值取值以及检测效果。对数据进行分析后发现,对于 $\text{thresh}$ 值的设定,当 $\text{radius}$ 取值不变,提高 $\text{thresh}$ ,提取的锯齿数目减少;反之,提取的锯齿数目增多。同样, $\text{radius}$ 也会影提取锯齿的数目和容忍度。当 $\text{thresh}$ 不变,提高 $\text{radius}$ ,提取的锯齿数目减少;反之,提取的锯齿

数目增多。

表1 不同阈值的设定与锯齿检测效果分析

Tab. 1 Test results of different values of threshold

	a	b	c	d	e	f
thresh	12 000	10 000	8 000	8 000	10 000	12 000
radius	6	6	6	4	4	4
系统检测	7	11	13	19	14	13
误检数目	-6	-2	0	+6	+1	0

注:误检数目为系统检测锯齿数目与人工目测叶缘锯齿数目之差。

实验表明,通过人工选择阈值的方法,可以控制叶缘锯齿的检测效果。因此,阈值的选择非常关键,它决定了叶缘锯齿定位的精度和检测的准确率。

## 3 实验结果分析

用样本库中所有的叶片图像来测试叶缘锯齿检测系统的性能。样本类型包含6类叶缘类型的120张叶片图像,其中叶缘类型为细锯齿状、锯齿状、重锯齿状的叶片各30张(包括有锯齿特征的裂状叶片)、波状叶片10张、无锯齿裂状叶片20张(掌状浅裂叶片与掌状深裂叶片各10张)。样本类型的多样性造成不同叶缘类型的锯齿识别准确率存在较大差异。细锯齿状、锯齿状叶缘的平均锯齿识别准确率较高,分别达到86.82%、85.46%;重锯齿叶缘的锯齿平均识别准确率稍低,为82.51%。对于无锯齿的裂状叶片,由于其叶裂具有角点特征,故叶裂也能被检测出来。掌状浅裂叶片的叶裂较容易被准确地检测出来,平均识别准确率为96.25%;而掌状深裂叶片在缺刻处的角点容易一同被检测出来,造成叶裂数目的重复计算,所以平均识别准确率较低,为75.48%。由于波形叶缘的叶片锯齿特征不明显,检测效果不稳定,平均识别准确率只有53.8%,因此波形叶缘的检测方法有待进一步研究。对于因角点形态差异引起的检测结果差异,文献[9-10]进行了系统的总结、分类和研究。

通过实验得知,选择适合叶缘形态的阈值能较快地识别叶缘锯齿。由于 $\text{radius}$ 取值越大,系统的计算速度越慢,所以 $\text{radius}$ 一般在1~20的整数范围内取值。对于具有不同叶缘形态的叶片,阈值 $\text{thresh}$ 的设计范围差异较大。细锯齿状、重锯齿状叶缘类型的叶片, $\text{thresh}$ 取值范围在10 000~15 000之间;锯齿状的叶缘类型的叶片, $\text{thresh}$ 取值范围在4 000~8 000之间;叶缘类型为掌状浅裂和掌状深裂型的裂状叶片,由于缺刻深浅各异, $\text{thresh}$ 取值可根据经验进行调整;而叶缘类型为波状的叶片因波形的形态特征与角点差异较大, $\text{thresh}$ 取值无法找出规律性。

本文从52种植物叶片的叶缘锯齿检测结果中选择了8种典型叶片作为结果展示(如图4所示)。表2列出了这8种叶片的叶缘类型以及阈值的取值。



图2 利用二值化方法去除非叶缘锯齿的角点

Fig. 2 Wiping away false corner using the method of binarization

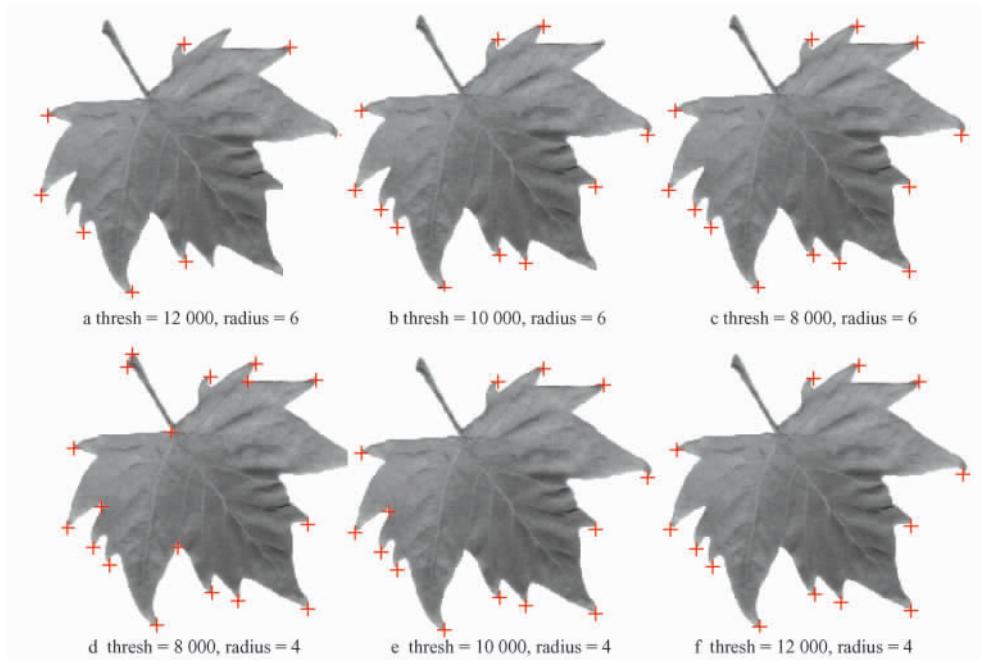


图3 选取不同阈值检测叶缘锯齿的效果

Fig. 3 Different positioning of same toothed leaf margin through adjusting the thresholds

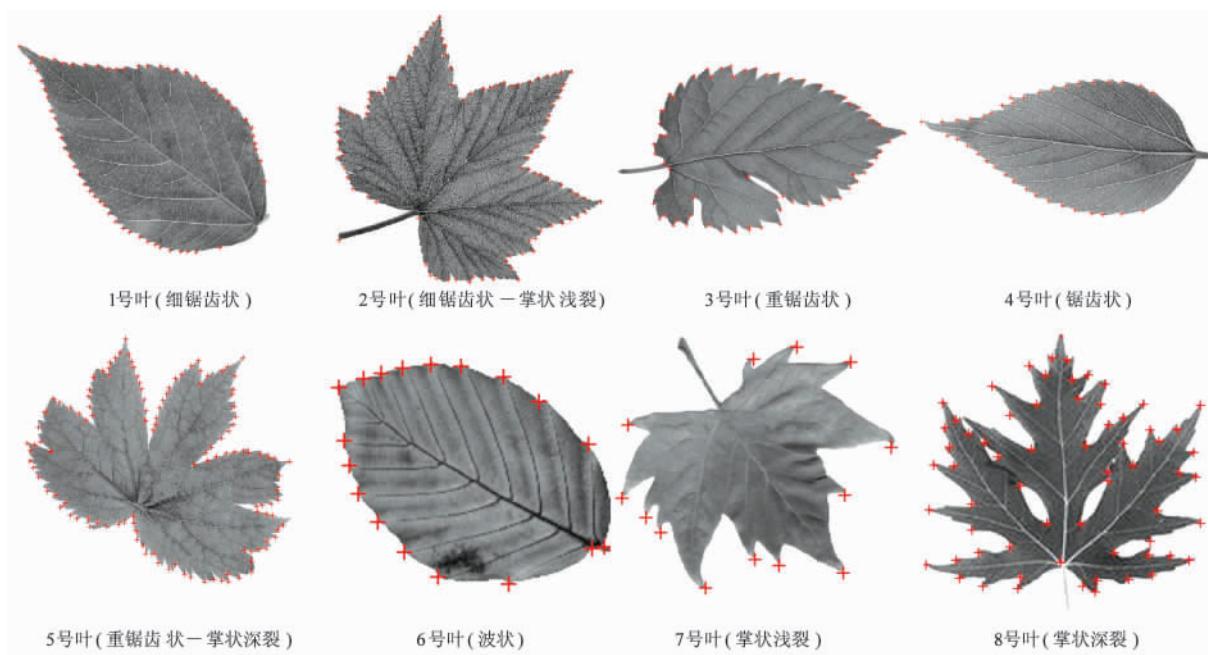


图4 不同叶片类型的叶缘锯齿检测效果

Fig. 4 Test results of different types of leaf margin

表2 不同叶缘类型的阈值  
Tab. 2 Threshold values of different types of leaf margin

	细锯齿状	细锯齿状—掌状浅裂	重锯齿状	锯齿状	重锯齿状—掌状深裂	波状	掌状浅裂	掌状深裂
叶片编号	1号叶	2号叶	3号叶	4号叶	5号叶	6号叶	7号叶	8号叶
thresh	11 000	15 000	13 000	8 000	9 000	2 000	12 000	8 000
radius	6	6	6	8	10	12	4	6
识别准确率/%	100	77.14	85.19	97.14	88.60	89.47	100	73.07

从表2和图4可以看出:叶片的形状及叶缘类型不同,则阈值的设定不同,识别的准确率也不同。比如都为细锯齿叶缘的1号叶片和2号叶片的检测结果,1号叶片的边缘锯齿被准确地识别出来,准确率为100%;而2号叶片由于具有裂状特点,造成锯齿的角点形态不一样,误检和漏检比较多,识别准确率只有77.14%。

## 4 结 论

本文通过研究叶缘锯齿的形态特征与Harris角点检测算法,提出了基于角点检测的叶缘锯齿特征提取方法,该方法在快速定位上具有一定的优越性。实验证明,应用图像处理和分析技术提取植物叶片锯齿特征不仅是可行的,而且比传统人工目测方法快速、便捷。但是,在提高检测精度的同时,如何根据阈值的取值规律,自适应地选取人工参数仍值得进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] 王晓峰,黄德双,杜吉祥,等.叶片图像特征提取与识别技术的研究[J].计算机工程与应用,2007,42(3):190-193.
- [2] 陈鼎才,王定成,查金水.基于机器视觉的现实叶片面积测量方法的研究[J].计算机应用,2006,26(5):1226-1228.

- [3] 赵卓英,孙明,姜伟杰.基于细胞神经网络的植物叶片图像中叶脉的提取[J].农机化研究,2009,31(4):168-171.
- [4] 祁亨年,寿韬,金水虎.基于叶片特征的计算机辅助植物识别模型[J].浙江林学院学报,2003,20(3):281-283.
- [5] 王玉珠,杨丹,张小红.基于B样条的改进Harris角点检测算法[J].计算机应用研究,2007,24(2):192-205.
- [6] 张爱芹,王彩霞,马瑞霞.植物学[M].成都:西南交通大学出版社,2006:70-71.
- [7] HARRIS C,STEPHEN M J. A combined corner and edge detector[OL].[2009-03-03].<http://www.cis.rit.edu/~cnspeci/references/dip/harris1988.pdf>.
- [8] ROCKETT P I. Performance assessment of feature detection algorithms:A methodology and case study on corner detectors[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2003,12(12):1668-1676.
- [9] LAGANIERE R. Morphological corner detection[J]. Computer Vision,1998,4(7):280-285.
- [10] GUO C G,LI X L,ZHONG L F,et al. A fast and accurate corner detector based on harris algorithm[C]// Proceeding of the 3rd international symposium on intelligent information technology application. New Jersey:IEEE,2009:49-52.

(责任编辑 冯秀兰)