

基于改进 Canny 算子的树叶叶脉提取算法研究

郑鹏^{1*}, 成孝刚²

(1.河北师范大学 软件学院 石家庄 050024;

2. 南京邮电大学 通信与信息工程学院 南京 210003)

(*通信作者电子邮箱 15732115701@163.com)

摘要:植物的叶脉包含丰富的生理特征, 精准的叶脉提取, 对后续基因分析至关重要。为了克服现有方法的局限性, 诸如手动选取阈值、叶脉信号断裂等, 本文提出了一种改进的 Canny 边缘检测算法。该方法使用 Radon 变换对树叶进行方向矫正, 继而采用双边滤波代替高斯滤波, 并基于实例验证其有效性; 在此基础上, 提出一种动态地给予不同区域不同 Canny 阈值的叶脉提取算法, 并运用特殊的形态学变换核减少断裂, 最后基于双向区域增长方法, 提取去除噪声且具有完整边缘细节的叶脉。通过对海量白杨树树叶样本测试, 验证了本文所提算法的有效性。

关键词: Canny 算子; Radon 变换; 双边滤波; 区域增长; 叶脉特征

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

Study on extraction algorithm of leaf vein based on modified canny operator

Zheng Peng^{1*}, Cheng Xiaogang²

(1. College of software, Hebei Normal University, Shijiazhuang, 050024, China;

2. College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003, China)

Abstract: Veins of plants contain abundant physiological characteristics, and the precise leaf vein extraction is essential to the subsequent gene analysis. To overcome the limitations of existing methods, such as manual selection of double thresholds, vein signal rupture, a modified Canny edge detection algorithm is proposed in this paper. This method used Radon transformation to straightening the leaf sample, and then used a bilateral filter instead of the original Gaussian filter to smooth the image without affecting the edge. On this basis, a new vein extraction algorithm which dynamically gives different regions different Canny thresholds was presented. Then special morphological kernel was used to try to reduce the fracture of leaf vein. Finally, region growth method was taken into practice to get rid of noise and extract the complete leaf vein with edge details. The validity of the proposed algorithm is validated by testing the large poplar leaf samples.

Keywords: Canny operator; Radon transform; bilateral filter; region growth; leaf vein characteristics

0 引言

叶脉特征的研究属于植物形态学范畴, 随着计算机视觉技术的发展, 对于植物叶脉形态特征的提取逐步由人工转为计算机实现, 且植物分类学[1]、植物系统学[2]等已渐渐成为当今的研究热点, 因此更加清晰地提取叶脉并分析其性质对于叶脉网络系统等相关领域研究[3], [4]。具有较大的推动作用。

目前叶脉提取的方法已有很多, 主要分为两大类。一类是通过传统图像处理方法提取, 主要包含边缘检测, 聚类等方法: 宣旭峰等[5]通过将叶脉图像色彩空间转至 HSV 后研究直方图信息, 提出了基于 FFCM 聚类的植物叶脉提取; 同时对边缘检测经典算子的改进也不断被提出[6-9]。而另一方面主要是通过神经网络进行的叶脉特征提取, 随着近几年深度学习的兴起, 此类方法也收获颇丰[10][11]。

传统图像处理方法耗时短, 对样本的需求小, 成本低, 理论完善。然而由于树叶的形状各异、方向不定、表面斑驳

收稿日期: 20yy-mm-dd; 修回日期: 20yy-mm-dd; 录用日期: yyyy-mm-dd。

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61401236); 江苏省博士后基金(No. 1601039B); 江苏省重点研发计划(No. BE2016001-3); 教育部-中移动科研基金(No. MCM20150504)资助

作者简介: 郑鹏(1998—), 男, 江苏盐城人, 讲师, 本科, 主要研究方向: 计算机视觉、机器学习; 成孝刚(1980—), 男, 江苏盐城, 硕士生导师, 博士, 主要研究方向: 计算机视觉、机器学习。

本刊网络出版时间 yyyy-mm-dd。本刊网络出版地址;

知网网络出版时间 yyyy-mm-dd hh:mm:ss。知网网络出版地址。

偏多、叶片颜色的不确定性以及采集图像的亮度不同等一系列不利因素,使得在提取过程中存在:叶脉易断裂、需手动调整阈值、阈值的全局性导致局部边缘丢失等问题。

在使用边缘检测的叶脉提取算法中,常见的微分算子有 Sobel 算子、Laplace 算子、Canny 算子等。其中 Canny 体现出抗噪能力较强,对于复杂场景的适应性强等卓越性质,往往效果最好。然而在传统 Canny 算子中,初步进行的高斯滤波在平滑图像的同时,往往会过滤掉部分边缘,并且双阈值往往需要人为经验来手动设定,对于不同场景需要重新设置,同时阈值的全局性也往往会使得边缘提取的效果欠佳,容易造成局部信噪比欠佳。针对以上问题,诸多学者对传统 Canny 算子进行改进[12]。然而一方面之前没有针对修复断裂区域给出很好的解决方案,另一方面没有考虑叶脉的方向性,因此在对叶脉的提取上往往噪声较多,效果欠佳。

本文(1)使用双边滤波替换原本的高斯滤波,保存了更多的边缘,同时提高了边缘的连通性。(2)针对叶脉的方向性,以有效边缘在断裂区域内的比例作为参考,提出了一种动态调整 Canny 双阈值的方法,在提取叶脉时一定程度上克服了叶脉的断裂情况。(3)利用双向区域增长法,提取出叶脉主干而排除了噪声,并极佳地保留了其在叶脉分叉处的细节,分别提取出了主次叶脉。

1 基于改进的 Canny 算子提取叶脉

1.1 叶片方向矫正

由于改进的 Canny 算子的适应性调整是要基于叶脉的方向的,方便起见,这里以主叶脉为例,利用 Radon 变换调整叶片图像的旋转角度。

Radon 变换是将二维图像 $I(x, y)$ 沿直线 $\rho_0 = x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0$ 做累加求和,若将图像看作二维函数 $f(x, y)$,即求其在直线上的线性积分。效果见图 1。

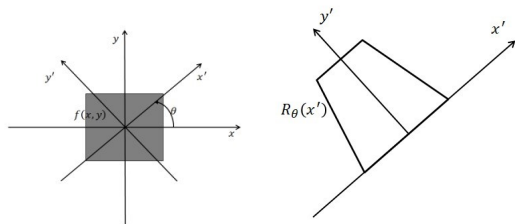


图1 Radon 变换原理

Fig. 1 Radon transformation

$f(x, y)$ 的 Radon 变换公式为:

$$R(\theta, \rho) = \iint I(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (1)$$

$$\text{其中 } \delta(x) = \begin{cases} 0, & x \neq 0 \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad (2)$$

通过计算各个方向的投影积分,求得图像的整体方向,最后利用放射变换,将图像进行方向矫正。



图2 Radon 变换矫正叶片方向

Fig. 2 Radon transformation corrects angle of a leaf

1.2 双边滤波对比高斯滤波

在常用的几种平滑图像的滤波中,均值滤波中同一个卷积核进行一次滤波时,像素的权重相同,高斯滤波相较于均值滤波,考虑了像素的空间域。而双边滤波则是在考虑了空间域的基础上,同时考虑了像素差值属性,保护了边缘。双边滤波的输出图像中,对应处为邻域像素值的加权求和:

$$g(i, j) = \frac{\sum_{k, l} f(k, l) w(i, j, k, l)}{\sum_{k, l} w(i, j, k, l)} \quad (3)$$

其中,权重系数 $w(i, j, k, l)$ 受定义域核 $d(i, j, k, l)$

和值域核 $r(i, j, k, l)$ 的共同影响:

$$\begin{aligned} w(i, j, k, l) &= d(i, j, k, l) \times r(i, j, k, l) \\ &= \exp \left(-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|f(i, j) - f(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

双边滤波与高斯滤波使用相同 Canny 算子基于 Lena 图的比较:



图3 双边滤波对比高斯滤波

Fig. 3 Bilateral Filter versus Gaussian Filter

表 1 双边滤波对比高斯滤波

Tab. 1 Bilateral Filter versus Gaussian Filter

	边缘像素数	边缘数	所有边缘的平均长度	大于 100 的边缘平均长度	大于平均边缘长度
高斯滤波	16734	362	87.42	260.94	236.06
双边滤波	17176	423	81.28	306.19	267.10

根据图 3 对比可以看出,相比于高斯滤波,双边滤波在噪声不增加的情况下,能够找到更多的边缘(如:由左侧的纵向边缘),并且起到了一定保持边缘连通的效果(如:

右下角边缘在 Gaussian 滤波中断裂，而在双边滤波中连续），因此选用双边滤波可以找到更多的边缘并提高边缘的连通度。

由表 1 数据可以得出：双边滤波提取了更多的边缘；因为找到了更多的短边缘，导致双边滤波所寻边缘的平均长度低于 Gaussian 滤波所得边缘，但对于较长边缘（往往是两者滤波都找到主体的边缘）而言，双边滤波极大地提高了边缘的连通度。

1.3 利用改进的 Canny 算子提取主叶脉

设所有主叶脉区的最上方白色连通域的顶端点纵坐标为 y_top ，最下方白色连通域的底端点纵坐标为 y_bottom ，对主叶脉区域运用局部自适应 Canny 对主叶脉区域进行增强：

具有动态 Canny 算子阈值的叶脉提取算法

```

1: while  $i < y\_bottom$  do
2:   自上向下逐行扫描，找到首个全黑的行，记其纵坐标为  $y\_up$ 
3:    $i = y\_up$ 
4:   继续向下逐行扫描，找到首个存在边缘像素的行，记其纵坐标为  $y\_down$ 
5:    $y\_up \sim y\_down$  区域即为叶脉断裂区域
6:   while True do
7:     计算主叶脉区域中  $y\_up \sim y\_down$  区域的边缘像素百分比为  $PoE$ 
8:     if  $PoE$  过高 then
9:       将过多的噪声误认作边缘
10:      升高 Canny 算子的上下限阈值，重新检测断裂区边缘
11:     else if 重新自上向下扫描得到的新  $y\_up >$  原  $y\_up$  then
12:       有效地延伸了边缘
13:       break
14:     else
15:       边缘过少，未能延伸边缘
16:       降低 Canny 算子的上下限阈值，重新检测断裂区边缘
17:     end if
18:     if 连续多次  $PoE$  无变化 or 阈值过低不适宜继续降低 then
19:       说明即使阈值再下降也无法提出更多边缘
20:       直接用白色短线连接上下两行白段中点

```

```

21:        $i = y\_down$ 
22:       break
23:     end if
24:   end while
25: end while

```

1.4 利用双向区域增长法去除噪声并提取叶脉

基于以上由局部自适应性 Canny 得到的二值化图像，经过去轮廓操作后，选取上顶点和下顶点，由上顶点开始以“下左右三方向”为生长方向的区域增长，由下顶点开始以“上左右三方向”为生长方向的区域增长，两个结果图进行与操作，提取主叶脉骨架，之后将骨架膨胀，再将其与“主次叶脉图”做与操作，便可获得保存分叉处细节的主叶脉。

之后用整体叶脉做图像减操作，就可得到各个次叶脉，求各个连通域即可得到相应坐标，如：图 5~图 7 所示。

经验证，该方法可以极好地保留叶脉在分叉位置的枝干细节。

本文算法具体流程如图 5 所示。

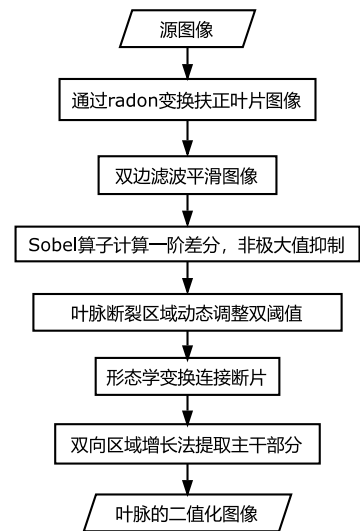


图4 叶脉提取过程

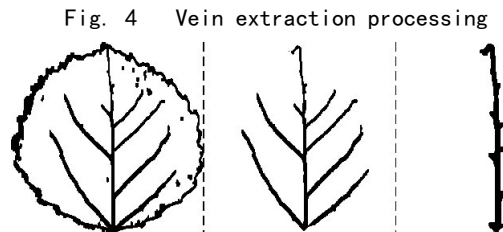


图5 提取流程

Fig. 5 Extraction processing

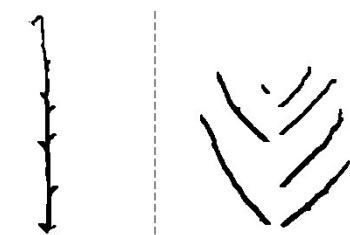


图6 主次叶脉分离结果

Fig. 6 Separation results of main vein and sub veins

2 计算机验证和结果分析

为了验证所提算法的有效性,本文基于海量白杨树叶进行验证(12000片),所应用的计算机硬件参数为:4CPUs, 1G显存, 4G内存,用Python3.6.1实现基于opencv-python3.2编程实现。

经检验,叶脉提取算法处理速度约为6.0秒/片。

批量处理中,首先通过阈值化获取后寻找大轮廓,得到所有叶片的连通域,接着视情况通过K-means将叶片聚类归为N行,在行内按叶片像素的最小纵坐标排序,之后依次使用上述算法提取,再将效果图按原序拼接,最终结果如图10~图13所示。

由提取结果可以看出,算法能够有效地对叶片进行扶正、抑制叶片的斑驳等噪声。相比传统Canny算子,算法能在无须手动调整阈值的基础上,提取更完整、连续的叶脉,同时也做到一定程度上的填补边缘断区,并能够保留叶脉边缘上的细节。算法的复杂度和运算时间尚可,但也仍然存在次叶脉可能缺失的状况。



图7 扫描叶片组1

Fig. 7 Scanned leaf group 1

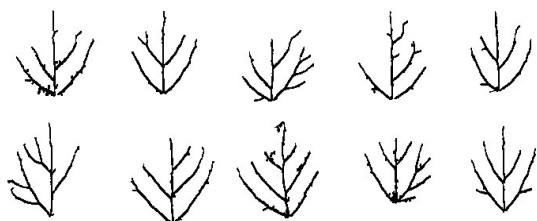


图8 组叶片提取效果1

Fig. 8 Extraction group 1



图9 扫描叶片组2

Fig. 9 Scanned leaf group 2

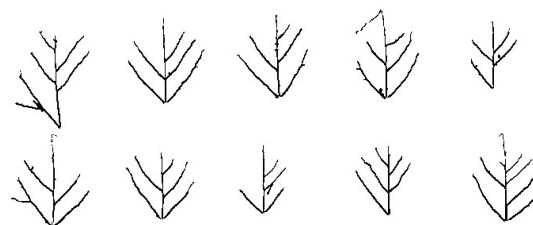


图10 组叶片提取效果2

Fig. 10 Extraction group 2

3 结语

本文提出的改进Canny叶脉提取算法,保留了传统Canny算子的优点,进而使用双边滤波代替了传统Canny算子的高斯滤波,并验证其能保留更多的边缘且可以提高长边缘的连通性;针对传统Canny算子手动设定全局双阈值的局限性,提出了基于叶脉方向的动态Canny阈值算法,有效地补全了更多的缺失边缘;针对主次叶脉分叉处的细节难保留问题,本文使用双向区域增长法,在去除噪声的同时,极佳地保留了分叉处的细节。实验结果表明,该方法为改善自动化提取植物叶脉进行了有益的探索,为将来利用深度学习对叶片基因分析工作的叶脉信息收集打下了坚实的基础。但同时,该方法还存在阈值调整方法不够智能、区域增长可能缺失次叶脉等问题,这还有待于进一步研究解决。

参考文献

- [1] Chaki, Jyotismita & Parekh, Ranjan & Bhattacharya, Samar. (2015). 2015 : Plant Leaf Recognition using Texture and Shape features with Neural Classifiers. Pattern Recognition Letters. 58. 61-68. 10.1016/j.patrec.2015.02.010.
- [2] 孙素静,李芳兰,包维楷.叶脉网络系统的构建和系统学意义研究进展[J].热带亚热带植物学报,2015,23(03):353-360.
- [3] Kolivand, Hoshang & Bong, Mei Fern & Rahim, Mohd & Sulong, Ghazali & Baker, Thar & Tully, David. (2018). An expert botanical feature extraction technique based on phenetic features for identifying plant species. PLOS ONE. 13. e0191447. 10.1371/journal.pone.0191447.
- [4] Cai, Rongjin & Tang, Shengwen & He, Z. (2018). The modeling of electrical property in porous media based on fractal leaf vein network. International Journal of Engineering Science. 123. 143-157. 10.1016/j.ijengsci.2017.11.006.
- [5] 宣旭峰,王美丽,张建锋.基于HSV彩色空间与直方图信息的植物叶脉FFCM算法提取[J/OL].计算机应用研

- 究,2018(08):1-7[2018-04-01].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1196.TP.20170721.1354.084.html>.
- [6] 张棋,贾方秀,殷婷婷.基于改进 Sobel 算法的实时图像边缘检测系统设计[J].仪表技术与传感器,2018(02):101-104+108.
- [7] Kewen Liu. An Image Edge Detection Algorithm Based on Improved Canny[A]. Research Institute of Management Science and Industrial Engineering.Proceedings of 2017 5th International Conference on Machinery,Materials and Computing Technology(ICMMCT 2017)[C].Research Institute of Management Science and Industrial Engineering:,2017:5.
- [8] Arunkumar, P & P. Shantharajah, S & Geetha, M. (2018). Improved canny detection algorithm for processing and segmenting text from the images. Cluster Computing. 10.1007/s10586-018-2056-8.
- [9] Liu, Lisang & Liang, Fenqiang & Zheng, Jishi & He, Dongwei & Huang, Jing. (2018). Ship infrared image edge detection based on an improved adaptive Canny algorithm. International Journal of Distributed Sensor Networks. 14. 155014771876463. 10.1177/1550147718764639.
- [10] Hu, Jing & Chen, Zhibo & Yang, Meng & Zhang, Rongguo & Cui, Yaji. (2018). A Multi-Scale Fusion Convolutional Neural Network for Plant Leaf Recognition. IEEE Signal Processing Letters. PP. 1-1. 10.1109/LSP.2018.2809688.
- [11] Yin, Wenshuang & Xiang, Changcheng & Tang, Liming & Chen, Shiqiang. (2015). Venation extraction of leaf image by bi-dimensional empirical mode decomposition and morphology. 952-956. 10.1109/IAEAC.2015.7428697.
- [12] HE, YI-BIN & ZENG, YA-JUN & CHEN, HAN-XIN & XIAO, SAN-XIA & WANG, YAN-WEI & HUANG, SI-YU. (2018). Research on improved edge extraction algorithm of rectangular piece. International Journal of Modern Physics C. 29. 10.1142/S0129183118500079.

基金项目：国家自然科学基金(No. 61401236)；江苏省博士后基金(No. 1601039B)；江苏省重点研发计划(No. BE2016001-3)；教育部-中移动科研基金(No. MCM20150504)资助。

作者简介

郑鹏(1998.1.8-), 通信作者, 男, 本科, 讲师, 研究方向为计算机视觉, 机器学习, e-mail: 15732115701@163.com;
成孝刚(1980.4.1-), 男, 博士, 硕士生导师, 研究方向为计算机视觉, 机器学习;

This work is partially supported by the National Natural Science Foundation of China (61401236), the Postdoctoral Fund of Jiangsu Province(1601039B), the Key Research and Development Plan of Jiangsu Province (BE2016001-3), Ministry of Education-Mobile Research Fund(MCM20150504).

ZHENG Peng, born in 1998, Bachelor, lecture. His research interests include computer vision, machine learning.

CHENG Xiaogang, born in 1980, Ph. D., Master Tutor. His research interests include computer vision, machine learning.