

文章编号: 2095-2163(2019)04-0173-04

中图分类号: TP39

文献标志码: A

基于植物图像的活体叶片面积测量方法研究与实现

于东玉, 冯天祥, 李奕昕, 任洪娥

(东北林业大学 信息与计算机工程学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 针对传统叶面积测量方法存在需手工操作、效率低、叶面积测量仪价格昂贵、不利于广泛应用等问题, 本文提出一种基于植物图像的活体叶片面积测量方法。首先利用双边滤波、拉普拉斯算子和顶帽变换对采集图像进行预处理, 再通过分水岭算法对标记过的图像进行分割得到目标图像, 最后由参照物法得出叶片实际面积。与传统的方格法进行比较, 实验结果表明, 该方法速度快、精度高, 具有较高应用价值。

关键词: 叶面积; 双边滤波; 拉普拉斯算子; 顶帽变换; 分水岭算法

Research and implementation of living leaf area measurement based on plant image

YU Dongyu, FENG Tianxiang, LI Yixin, REN Hong'e

(College of Information and Computer Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

[Abstract] In this paper, a living leaf area measurement method based on plant image is proposed to solve the problems of traditional leaf area measurement methods, such as manual operation, low efficiency, expensive price of leaf area measurement instrument and disadvantages in wide application. Firstly, the acquired image is preprocessed by bilateral filtering, Laplace operator and Top-cap transformation. Then, the Watershed algorithm is used to segment the marked image to obtain the target image. Finally, the actual area of the blade is obtained by the reference method. The results show that compared with the traditional square method, this method is faster, more accurate and has higher application value.

[Key words] leaf area; bilateral filtering; Laplace operator; Top-cap transform; Watershed algorithm

0 引言

叶片是植物进行光合作用的物质基础, 是蒸腾作用的媒介, 是合成有机物的主要器官^[1], 其面积是衡量植物对光能利用、水循环、生长发育、果实产量的重要因素, 也是研究植物生理生化、遗传育种和作物栽培等方面的关键指标^[2]。近年来快速、准确地测量叶片面积越来越受到人们的关注。传统叶面积测量方法有方格法、称重法和回归方程法等, 这些方法结果稳定, 但需要手工操作完成, 工作量大, 效率低。利用叶面积仪测量速度快, 但其价格昂贵, 不利于广泛应用^[3-5]。本文针对上述方法存在的问题, 提出一种基于植物图像的活体叶片面积测量方法。该方法探寻一种简单、高效、准确的植物叶片面积测量方法。

1 植物叶片面积测量方法

1.1 图像采集

制作一个已知面积标定物和一块白色背景板, 将标定物固定在白色背景板上, 利用数码相机对植物叶片进行拍照, 如图 1 所示。拍摄时尽量保持白板和叶片在同一平面, 拍摄角度尽量垂直白板。

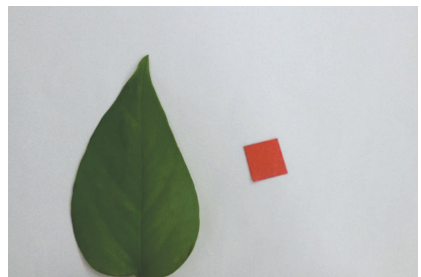


图 1 采集叶片图像

Fig. 1 The acquisition of blade image

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2572017PZ10); 东北林业大学省级大学生创新创业计划训练项目(201810225363)。

作者简介: 于东玉(1998-), 男, 本科生, 主要研究方向: 图像处理、机器学习; 冯天祥(1997-), 男, 本科生, 主要研究方向: 图像处理、机器学习; 李奕昕(1998-), 女, 本科生, 主要研究方向: 图像处理、机器学习; 任洪娥(1962-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 图像识别与智能控制。

通讯作者: 任洪娥 Email: nefu_rhe@163.com。

收稿日期: 2019-05-07

1.2 图像预处理

1.2.1 双边滤波去噪

在图像获取、传输和存储的过程中常常会受到各种噪声的干扰和影响而使图像降质,为了使图像更加清晰,必须对噪声进行去除。双边滤波是一种非线性滤波方法,结合图像的空间邻近度和像素值相似度进行折中处理,同时考虑空域信息和灰度相似性,利用强度的变化保存边缘信息^[6]。本文采用双边滤波法,有效地消除了噪声,同时保持了叶片图像的边缘信息。

1.2.2 拉普拉斯算子锐化和顶帽处理

图像锐化使图像灰度值反差增强,突出图像边缘轮廓,使图像更加清晰。本文选择拉普拉斯算子对图像进行变换,产生描述灰度突变的图像,其拉普拉斯算子差分形式如下:

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y), \quad (1)$$

再利用该算子与原始图像进行卷积运算产生锐化图像。产生的拉普拉斯锐化图像如下:

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) - \nabla^2 f(x, y); \\ f(x, y) + \nabla^2 f(x, y). \end{cases} \quad (2)$$

其中, $f(x, y)$ 为变换前图像在 (x, y) 处的像素值, $g(x, y)$ 为变换后图像在 (x, y) 处的像素值。

由于图像采集过程中会受到外界光照不均匀的影响,本文使用顶帽运算对图像处理,顶帽运算是原图像减去其开运算图像,可以突出原图像轮廓周围更明亮区域。

1.2.3 图像灰度化

数码相机采集的叶片图像是彩色图像,彩色图像中每个像素点都由 R, G, B 3 个通道构成,灰度化是使彩色的 R, G, B 分量值相等的过程^[7]。本文采用加权平均值法对图像进行灰度化处理, R, G, B 3 个分量加权系数分别取 0.30、0.59、0.11。加权平均值法的计算公式如下:

$$h(x, y) = 0.30R(x, y) + 0.59G(x, y) + 0.11B(x, y), \quad (3)$$

其中, $h(x, y)$ 为彩色图像在点 (x, y) 处灰度化的灰度值, $R(x, y)$ 、 $G(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 分别表示彩色图像在点 (x, y) 处的红色分量、绿色分量和蓝色分量。

1.3 分水岭算法分割

图像分割是把图像划分成互不相交的区域的过程,主要有基于阈值的分割方法、基于区域的分割方法、基于边缘的分割方法等^[8-9]。本文选择基于区

域的分水岭方法,将图像看成一个地面高低起伏的地形图,分割过程近似成自下而上的浸没过程,如图 2 所示。从谷底开始注水,当水浸没集水盆直到与来自相邻集水盆的水交界的地方,建立起一个大坝,这个大坝就是分水岭^[10]。

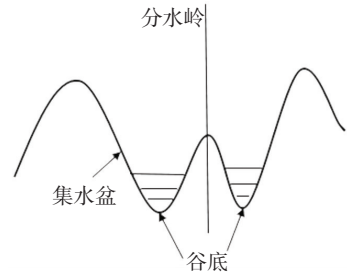


图 2 分水岭自下而上模型

Fig. 2 The Watershed bottom-up model

该模型是一个迭代过程^[11]。定义如下:

定义 1 图像 I 中阈值为 h 的像素集合为:

$$T_h = \{p \in D \mid I(p) \leq h\}. \quad (4)$$

其中, I 为图像; p 为图像 I 中的像素点; D 为图像 I 所有像素点集合。

定义 2 影响区域集合为:

$$C_A(B_i, B) = \{p \in A \mid d_A(p, B_i) < d_A(p, B - B_i)\}, \quad (5)$$

$$C_A(B) = UC_A(B_i, B), \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (6)$$

其中, B 为 A 子集, $d_A(p, B_i)$ 是 p 到 B_i 最短路径。

定义 3 迭代过程描述为:

$$\begin{cases} X_{h_{\min}} = T_{h_{\min}}; \\ X_{h+1} = \min_{h+1} \cup C_{T_{h+1}}(X_h), \quad h \in [h_{\min}, h_{\max}]. \end{cases} \quad (7)$$

其中, h 是图像灰度变化范围; h_{\min} 和 h_{\max} 是图像 I 中灰度最小值和最大值; X_h 是高度为 h 时像素点的集合; \min_{h+1} 是新产生集水盆的最小值。

同时在 2 个集水盆集合中的像素点构成的集合,即为分水岭。

1.4 轮廓提取

轮廓提取是后期叶片图像特征分析的基础,对研究植物叶片具有重要作用。本文调用 OpenCV 库的 $findContours$ 函数检测叶片和标定物图像的外围轮廓,再调用 OpenCV 库的 $drawContours$ 函数绘制图像轮廓,结果如图 3 所示。

1.5 特征提取

为测出叶片面积,调用 OpenCV 库的 $contourArea$ 函数分别统计叶片和标定物的像素点个

数,由像素点个数比值、标定物实际面积计算出叶片实际面积,计算公式如下:

$$S_c = \frac{P_1}{P_2} \times S_1. \tag{8}$$

其中, S_c 为本系统测出叶片的实际面积; S_1 为标定物实际面积; P_1 为叶片像素个数; P_2 为标定物像素个数。

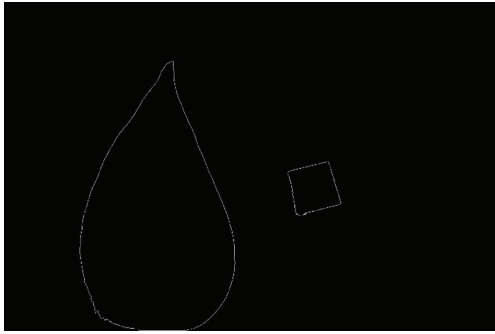


图 3 叶片轮廓提取效果图

Fig. 3 The effect diagram of extracting leaf contour

2 系统实现与实验结果分析

2.1 活体叶片面积测量系统

本系统在 Visual Studio 2017 集成开发环境下进行开发,使用 OpenCV3.4.2 库提供的函数。系统主要由预处理、图像分割、轮廓提取、特征提取 4 大程序块构成。预处理程序块通过去噪、锐化、形态学处理、灰度化提升原始图像的清晰度;图像分割程序块采用分水岭算法将图像的叶片和标定物与背景分割开;轮廓提取程序块绘制图像分割后的叶片和标定物轮廓;特征提取程序块通过统计叶片和标定物像素个数,由标定物实际面积得出叶片实际面积,系统流程如图 4 所示。

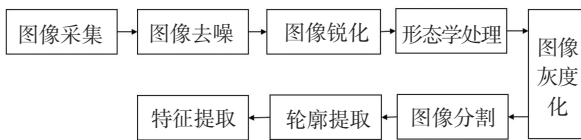


图 4 系统流程图

Fig. 4 The system flow chart

2.2 修正系数

图像采集时会受到多种因素影响,如:光照不均匀、叶片弯曲、拍摄角度等,这些因素使图像采集不精确,从而导致本方法求算的叶片面积与实际面积有差距。由此,引入叶片的修正系数,计算公式如下:

$$k = \frac{S_c}{S_{实}}. \tag{9}$$

其中, S_c 为系统测量叶片面积; $S_{实}$ 为叶片实际面积; K 为修正系数。

本文以绿萝为研究对象,取 30 片活体绿萝叶片,分别用方格法和本系统测出其面积,通过回归分析建立方格法叶片面积与本系统叶片面积之间的回归方程,确定叶片的修正系数。分析结果如图 5 所示。

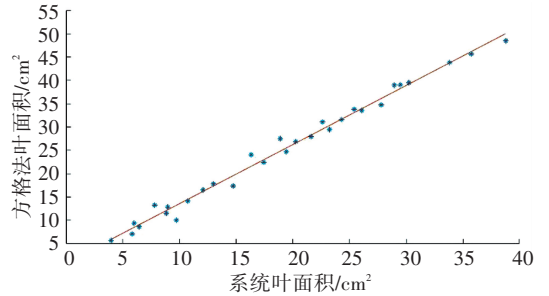


图 5 修正系数 K 的确定

Fig. 5 The determination of correction coefficient K

图中横坐标是本系统测量面积,纵坐标是方格法测量面积。由图得到修正系数为 1.267,且 $R^2 = 0.989$,接近 1,此模型对数据拟合效果较好,因此在本系统中采用 $K = 1.267$ 进行计算。

2.3 测量方法对比分析

为进一步验证系统的测量精度,分别选取无破损、大小不同的叶片共 30 片,分别采集叶片图像并编号排序。通过采用修正系数的本系统得到的叶片面积,与方格法测定结果比较,验证本系统的可行性与实用性,结果如图 6 所示。

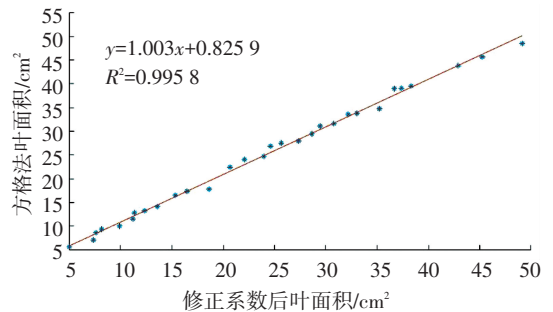


图 6 修正后叶面积与方格叶面积比较

Fig. 6 Comparison of the results between the modified leaf area and the square leaf area

图中横坐标为系统所测面积乘以修正系数后面积,纵坐标为方格法测量面积。结果显示,修正后系统得到的叶面积与方格法得到的叶面积具有较好的一致性,计算值与测定值之间的决定系数 R^2 在 0.9

以上。计算值与测定值之间的误差统计,见表1。

表1 修正后叶面积与方格叶面积的误差统计

Tab. 1 The error statistics of modified leaf area and square leaf area

作物	组数	个数	相对误差绝对值/%		
			平均	最大	最小
绿萝	1	10	6.37	25.03	0.97
	2	10	9.65	23.04	1.76
	3	10	3.81	7.72	0.03
	总体	30	6.61	25.03	0.03

若定义相对误差绝对值小于10%为合格,则绿萝叶面积计算结果的合格率均在90%以上,因此本系统可以更方便、准确地测定植物叶片面积。

3 结束语

本文提出了一种基于植物图像的活体叶片面积测量方法,采用双边滤波去噪、拉普拉斯算子锐化、顶帽运算、灰度化、分水岭算法分割、轮廓提取和特征提取等一系列操作,并开发出一个测量系统,成功地测量出叶片实际面积。同时,为排除外界因素影响,引入修正系数,通过与方格法测量结果对比,结

果表明,系统可简单、准确地测量出植物叶片面积。

参考文献

- [1] 孙玉婷,杨红云,王映龙,等. 基于支持向量机的水稻叶面积测定[J]. 江苏农业学报,2018,34(5):1027-1035.
 - [2] 韩殿元,黄心渊,付慧. 基于彩色通道相似性图像分割方法的植物叶面积计算[J]. 农业工程学报,2012,28(6):179-183.
 - [3] 陈涛涛,迟道才,梁茜. 基于矩形框几何校正的多叶面积测量方法[J]. 农业工程学报,2012,28(8):206-213.
 - [4] 陈玉青,杨玮,李民赞,等. 基于Android手机平台的冬小麦叶面积指数快速测量系统[J]. 农业机械学报,2007,48:123-128.
 - [5] 孟祥丽,刘一鸣,刘瑶,等. 基于摄影测量技术的植物叶面积精确测量方法研究[J]. 江西北林学院学报,2019,34(2):222-226.
 - [6] 芦碧波,皇甫珍珍,郭凯,等. 基于双边滤波的多尺度分层色调映射算法[J]. 液晶与显示,2018,33(9):816-822.
 - [7] 陈杰. 基于色彩信息的图像增强研究[J]. 南京邮电大学,2017:81.
 - [8] 郎春博,贾鹤鸣,邢致恺,等. 基于改进粒子群算法的植物冠层图像分割[J]. 森林工程,2019,35(1):47-52.
 - [9] 王琢,汪雅婷,宋文龙,等. 基于深度学习的叶片图像分割算法[J]. 森林工程,2019,35(1):42-46.
 - [10] 覃乔,黄力. 基于带标记分水岭的复合绝缘子憎水性图像提取算[J]. 电子测量技术,2019,42(2):88-91.
 - [11] 桑艳艳,李昕. 基于改进分水岭算法的菌落图像分割[J]. 电子测量技术,2019,42(6):87-93.
- (上接第172页)
- Communication and Image Representation, 2000, 11(2):130-141.
- [7] 姬治华. 基于GrabCut的三维医学乳房超声图像分割技术的研究[D]. 贵阳:贵州大学,2017.
 - [8] RUTA A, LI Yongmin, LIU Xiaohui. Real-time traffic sign recognition from video by class-specific discriminative features[J]. Pattern Recognition, 2010,43(1):416-430.
 - [9] SHI Hang, YANG Yu. A computational model of visual attention based on saliency maps[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 188(2):1671-1677.
 - [10] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A. "GrabCut": Interactive foreground extraction using iterated graph cuts[J]. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 2004, 23(3):307-312.
 - [11] KIM M, CHOI W, KIM B C, et al. A vision-based system for monitoring block assembly in ship building[J]. Computer-Aided Design, 2015, 59:98-108.

参考文献

- [1] 杨晓霞. 超声相控阵汽车发动机内腔腐蚀检测关键技术研究[D]. 天津:天津大学,2014.
- [2] 樊程广. 超声相控阵超分辨率成像方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2014.
- [3] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [4] CANNY J F. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6):679-698.
- [5] VINCENT L, SOILLE P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6):583-598.
- [6] CHAN T F, SANDBERG B Y, VESE L A. Active contours without edges for vector-valued images[J]. Journal of Visual