

基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积

徐贵力, 毛罕平, 胡永光

(江苏大学机械工程学院)

摘要: 该研究利用计算机视觉技术采用参考物法测量叶片的面积, 研制了无需采摘叶片测量其面积的活体采样光箱, 并进行了光箱参数的优化, 研究了用极值法求得阈值, 并对图像进行阈值化, 研究了去除图像中残留杂点的方法, 最后验证利用计算机视觉技术参考物法测量叶片面积的可行性, 且测量精度和效率都很高。

关键词: 叶片面积; 计算机视觉; 参考物法; 测量

中图分类号: TP242.62

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2002)01-0154-04

叶片是植物进行光合作用合成有机物质的主要器官。叶面积是一些作物栽培和育种实践中常用的指标^[1], 叶片的总面积也是农作物的产量和品质的评价指标^[2]; 树叶面积的大小是造林经营、理想株型选育和造林密度重要研究内容^[3]; 测定害虫食叶面积也是研究害虫危害损失、经济阈值的重要内容^[4]。目前叶面积测量方法较多, 有的用叶重估计叶面积; 有的用方格法; 有的用进口叶面积测定仪测定, 虽然准确简单快速, 但价格昂贵。有的用回归方程法, 即通过测叶宽和叶长预测出叶面积^[2]。也有用扫描仪测定害虫食叶面积, 但需将叶片摘下来, 且不适于室外作业^[2]。以上的方法或者测量不方便且耗时, 或者测量前需做实验求一些系数, 或者误差大, 或者需将正在培育的叶子采摘下来测量, 影响培育实验。

本研究旨在利用计算机视觉技术进行番茄叶片面积的快捷准确测量, 为番茄生长试验提供参考。

1 测量原理和测量方法

由于数字图像由一个个像素点组成^[5], 所以, 在已知每个像素点代表的真实面积下, 可以通过计算图像中叶片的像素数求出叶片的面积。但是, 这种方法在测量叶片面积时, 需要在严格的物距下进行叶片的采样, 以保证每个像素点代表的真实面积不变, 而且要求光学器件的线性度较高, 镜头的焦距不可变, 可见此方法要求较高。本研究提出参考物法, 即利用计算机视觉技术分别测量出已知面积的参考物和被测叶片对应的像素数, 从而可知它们的像素数比, 也即面积比, 参考物的面积已知, 就可求出叶片的面积。可见, 参考物法无须严格的物距、高线性度的光学器件和镜头的焦距不变等条件, 尤其镜头的

焦距由不变到可调, 使图像大小和清晰度得以改善, 给测量带来了很大方便。

在自然状态下用摄像头对叶片和参考物进行采样时, 自然光的变化使叶片与背景不易分离, 产生一定误差, 而且, 参考物颤动及参考物和叶片不一定与摄像头较精确地垂直, 则测量误差会进一步增大。

若将叶片采摘下来放在一密闭光箱中的载物台上, 摄像头与载物台垂直安装, 则可以较好地进行叶片面积的测量, 但这种方案需要采摘下叶片, 会影响农学试验的连续性。

本研究设计了适合于番茄等长叶径作物的叶片活体采样密闭光箱, 即无需采摘叶片, 就可以较精确地测量出叶片面积。

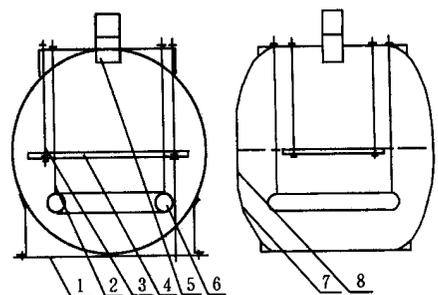
2 硬件设备

本研究的测量叶片面积系统的硬件包括采样光箱和计算机视觉技术硬件。

2.1 采样光箱

2.1.1 活体采样光箱的设计

设计要求: 载物台与摄像头应相互垂直; 可进行物距、光距调节; 照射光最好为漫反射光, 这样可避免阴影, 减小测量误差; 背景色与叶片应易于阈值的分割。光箱的结构简图如图 1 所示。



1. 底座 2. 光源升降拉杆 3. 载物台升降拉杆 4. 载物台
5. CCD 摄像头 6. 环形光源 7. 球形外壳 8. 叶片入口

图 1 采样光箱结构简图

Fig 1 The schematic of the sampling box structure

收稿日期: 2001-07-17

作者简介: 徐贵力, 博士生, 江苏镇江市 江苏大学机械工程学院 750#, 212013 Email: guilixu@263.net

光源用显色性好的 RGB 三基色环形日光灯(日本松下公司生产), 采用环形光源可使叶片的光照均匀, 减少阴影; 光箱近似球形, 可使光照分布均匀减少阴影, 同时反射光尽可能多地投向载物台上的叶片, 增加光强; 从球内光反射示意图^[6]可知, 将光源置于球心下方, 同时将载物台置于球心上方, 可形成较理想的漫反射光照, 减少阴影; 为进一步增加漫反射, 在光箱的内壁贴有摄影用的漫反射光纸; 为使叶片鲜明和易于背景分割, 本研究选用白色背景。

2.1.2 光箱参数的优化^[7]

光箱组成后, 如何确定载物台的位置、摄像头与叶片的距离和环形日光灯与载物台的距离, 如何组合最优, 本研究采用二次回归正交试验和规划求解的方法解决了以上问题。

一般 p 个变量的组合设计由下列 N 个试验点组成, $N = m_c + 2p + m_0$, m_c 是二水平全因素试验点个数, $2p$ 是分布在 p 个坐标轴上的试验点数, m_0 是在各变量都取零水平的中心点重复试验次数, 一般取 m_0 为 3, 为了使每一因素的水平间距大, 易于调节, 取 $r = 1.353$, 则 $N = 2^3 + 2 \times 3 + 3 = 17$ 。

根据摸索试验, 确定出了各因素的上下限, 并对因素进行编码, 因素水平编码表如表 1 所示。

表 1 试验设计因素和因素水平

Table 1 The factors and factor level of the experiment

x	x_1 (载台位置)	x_2 (光距)	x_3 (物距)
1.353	40	100	120
1	29.56	93.47	112.2
0	0	75	90
-1	-29.56	56.52	67.8
-1.353	-40	50	60

本研究试验指标有两个, 一个是总体成像效果 (y_1), 要求保证图像完整的情况下, 尽量充满屏幕, 也就是使叶片占有的像素数尽量多, 可减小测量误差; 另一个是阴影的大小 (y_2), 阴影过大则阈值分割效果差, 直接造成后面测量的误差。它们的评分值都为 1~4, 4 为最好。经过试验分析, 阴影的大小 (y_2) 比总体成像效果 (y_1) 对测量的误差影响大一些, 所以确定 y_1, y_2 的加权系数为 0.4 和 0.6, 则总体指标为: $y = 0.4y_1 + 0.6y_2$ 。

按着试验设计(表略)进行试验, 在通过二次回归正交试验设计的计算求得回归方程如下:

$$y = 2.98 + 0.1189x_1 + 0.129x_2 + 0.234x_3 + 0.01x_1x_2 + 0.13x_1x_3 - 0.055x_2x_3 + 0.02(x_1x_1 - 0.686) + 0.07(x_2x_2 - 0.686) + 0.01(x_3x_3 - 0.686)$$

再由代入关系式和约束条件

$$x_1 = \frac{(z_1 - 0) \times 2 \times 1.353}{(40 - (-40))} \quad -40 < z_1 < 40$$

$$x_2 = \frac{(z_2 - 75) \times 2 \times 1.353}{(100 - 50)} \quad 50 < z_2 < 100$$

$$x_3 = \frac{(z_3 - 90) \times 2 \times 1.353}{(120 - 60)} \quad 60 < z_3 < 120$$

求目标值 y 为最大时, 各个参数的取值, 即利用规划求解的方法得出参数最优组合为: 载台位置 (z_1) 在球心上方 40mm, 光距 (z_2) 为 88.1mm, 物距 (z_3) 为 110mm。则依此组合来确定载台、光源和摄像头的位置。这样拍摄的被测叶片图像整体效果和阈值分割效果最好, 即测量误差最小。

2.2 计算机视觉技术硬件组成

计算机视觉技术的硬件包括: CCD 摄像头、图像采集卡和计算机(CPU)。摄像头选用的是美国 Punix 公司生产的 CCD 摄像头, 型号为 TMC-7DSP, CCD 面阵为 768(H) × 494(V), R、G、B 分路输入, 精度较高, 噪声小; 图像采集卡选用加拿大 Matrox 公司生产的 Meteor II/MC4, A/D 转换精度较高; 计算机为 Pentium III-800。

3 叶片面积的测量

3.1 参考物的选择

采样时, 发现以硬币为参考物的图像直方图波峰间隔不很明显, 谷底不易确定, 即不易寻找理想值, 给后序的阈值化带来困难, 测量误差将增加, 当改用黑色圆片为参考物时, 图像的直方图波峰间隔明显, 谷底清晰, 它们的直方图如图 2 和图 3 所示, 故本研究选用黑色圆片为参考物。它的面积为 $S_2 = 3.14 \times 1.854 \times 1.854 \text{ cm}^2$, 由于它的误差会影响后面叶片面积的测量精度, 所以 S_2 精度越高越好。

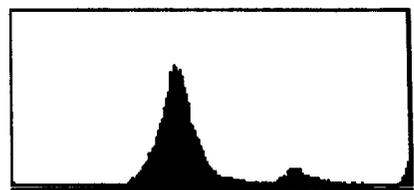


图 2 以硬币为参考物的直方图

Fig 2 The histogram of image including coin

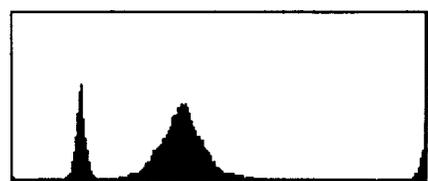


图 3 以黑色圆片为参考物的直方图

Fig 3 The histogram of image including black round sheet

3.2 阈值的确定及图像中杂点的去除

利用计算机视觉技术测量叶片面积的过程如下: 首先将叶片平放于活体采样光箱的载物台上, 调整好光箱参数和镜头光圈, 进行采样, 采样图像及其直方图如图 4 和图 5 所示。



图 4 被测叶片

Fig 4 The image of leaf and reference object

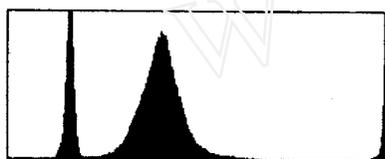


图 5 叶片直方图

Fig 5 The histogram of leaf and reference

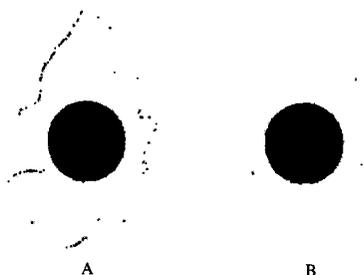


图 6 含杂点和去除杂点后的参考物图像

Fig 6 The image of reference object

本研究用求极值的方法确定分割图像的阈值, 即先求得图像的直方图函数 $f(n)$, n 是灰度级 $1 \sim 255$, 分别对 $f(n)$ 求一阶导函数 $f'(n)$ 和二阶导函数 $f''(n)$ 。当其中的任意点 k 的一阶导数 $f'(k) = 0$ 时, 表示 k 点为驻点, 此时, 若 $f''(k) > 0$, 则 k 点为极小值, 即为直方图的两波峰间的谷底; 若 $f''(k) < 0$, 则 k 点为极大值, 即为直方图的波峰。

由于数值图像的数据是离散的则一阶导函数为

$$f'(k) = \frac{f(k+h) - f(k)}{h} \quad h > 0$$

二阶导函数为

$$f''(k) = \frac{f(k+h) - f(k)}{h} \quad h > 0$$

根据实验采用第一个极小值和第二个极小值把参考物分割出来, 再用第二和第三个极小值把叶片分割出来。其中参考物分割出来后, 它的图像中含有较多杂点, 如图 6 中 A 所示, 这些杂点会影响后序测量。通过判断每一像素的相邻 4 个对角像素中是否有两个以上与该像素不同值, 若有, 则该像素为杂点, 把它除掉。图 6 中 B 为通过此法去除杂点后的参考物图像, 可见去除杂点的效果较理想。

3.3 叶片面积的测量及其效率和精度

去除杂点后, 分别对叶片和参考物进行二值化, 再求它们的像素数。由于计算机视觉技术在计算某一区域的像素数时, 区域边界的像素完全被计算进来^[5], 实际上, 边界的像素一半在物体内部, 另一半不属于物体, 如图 7 所示的硬币边界, 白色线实际上是硬币的真正边界, 线以外不属于硬币, 所以应在计算的像素数中减掉物体边界像素数的一半, 作为物体的有效像素数。

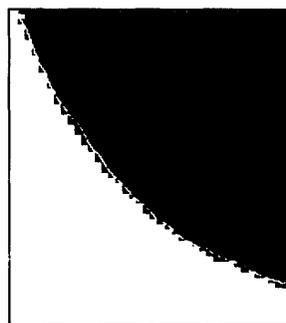


图 7 硬币的边界放大图

Fig 7 The magnifying image of coin's border

利用计算机视觉技术测量出参考物面积的像素数 $RN = 16839$, 其周长的像素数 $RCN = 480$, 则有效面积像素数 $SUM_1 = RN - RCN/2 = 16839 - 480/2 = 16599$; 叶片面积的像素数 $LN = 81784$, 其周长的像素数 $LCN = 1962$, 则叶片有效面积像素数 $SUM_2 = LN - LCN/2 = 81784 - 1962/2 = 80798$; 叶片的测量面积为

$$s = SUM_2 \cdot s_1 / SUM_1 = 80798 \cdot s_1 / 16599 = 52\,537 \text{ cm}^2$$

本研究随机选取了 5 个测量样本, 测量面积的程序平均耗时不到 35 s。

然而, 以前的方格法, 即将叶片平铺于方格纸上, 描出叶片的轮廓, 然后数出标准方格的个数, 测量出叶片的面积为 50 cm^2 , 该方法平均耗时达 10 min。可见利用计算机视觉技术测量叶片面积是一种快捷的方法。它的测量程序流程如图 8 所示。

由于叶片的形状复杂, 其面积真值不可知, 所以为了验证计算机视觉技术测量叶片面积方法的精

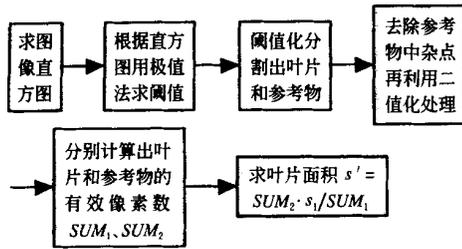


图 8 图像处理的程序流程简图

Fig 8 Flow chart of digital image processing

度, 本研究以硬币为参考物, 对 5 个不同大小, 但面积已知的深棕色圆片进行了测量。首先用游标卡尺测出硬币直径为 2.50 cm, 第一个大的圆片的直径为 7.04 cm, 则认为硬币面积为 $s_1 = \pi \times 2.5 \times 2.5/4 \text{ cm}^2$, 圆片真实面积为 $s = \pi \times 7.04 \times 7.04/4 = 38.9058 \text{ cm}^2$ 。

利用计算机视觉技术测量出硬币面积的像素数 $RN = 15724$, 其周长的像素数 $RCN = 424$, 则硬币的有效面积像素数:

$$\begin{aligned} SUM_1 &= RN - RCN/2 = 15724 - 424/2 \\ &= 15512; \end{aligned}$$

圆片面积像素数为 $LN = 120480$, 周长的像素数 $LCN = 1251$, 则有效面积像素数:

$$\begin{aligned} SUM_2 &= LN - LCN/2 = 120480 - 1251/2 \\ &= 119854.5; \end{aligned}$$

圆片的测量面积为:

$$\begin{aligned} s &= SUM_2 \cdot s_1 / SUM_1 = 119854.5 \cdot s_1 / 15512 \\ &= 37.9084 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

误差为 $(s - s)/s = 2.56\%$

未减周长的一半像素数时, 圆片的测量面积为:

$$\begin{aligned} s &= SUM_2 \cdot s_1 / SUM_1 = 120480 \cdot s_1 / 15724 \\ &= 37.5925 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

误差为 $(s - s)/s = 3.375\%$

又用此方法测量了其它 4 个圆片, 减掉周长的一半像素数时, 此方法的平均测量误差为 2.12%。

在没有减掉周长的一半像素数时, 此方法的平

均测量误差为 2.86%。

可见, 未减掉周长像素数的一半时, 测量面积的误差增加。所以应该用有效像素数来计算测量面积。

另外, 在 5 个被测圆片中, 测量误差随着被测量圆片的面积增加逐渐增大, 所以可以推断出测量误差的主要原因是参考物的面积不精确, 造成被测物面积随参考物面积倍数增加, 测量误差也增大的现象, 另外阈值分割误差也可以造成测量误差。

总之, 和现有的测量叶片面积的方法相比, 基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积是一种快捷和精度较高的方法, 此法已应用于作物生长试验中。

4 结论与展望

基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积, 技术上可行, 方便, 精度和效率都很高, 而且可进行活体测量叶片面积, 不影响作物的生长的连续性。若能解决露天下叶片颤动和自然光变化对图像的阈值分割带来的测量误差, 则会使叶片面积的测量更加方便, 以后也可以进一步研究利用计算机视觉技术对整株作物一次性测量叶片总面积, 使其成为农业科学试验中的一种有效的测量方法。

[参 考 文 献]

- [1] 庞红喜等. 不同穗型小麦品种叶重与叶面积关系的研究[J]. 麦类作物, 1998, 18(1): 39~40
- [2] 艾军, 李爱民, 王玉兰等. 北五味子不同株系间叶形指数无本质差异[J]. 特产研究, 1999, 1: 43~44
- [3] 张思玉等. 阔叶树叶面积求算的新方法[J]. 八一农学院学报, 1995, 18(3): 96~99
- [4] 袁哲明, 傅凌才. 用扫描仪测定害虫食叶面积[J]. 南京农业大学学报, 1997, 23(5): 472~473
- [5] 朱志刚等译. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998, 9
- [6] 赵振民. 照明工程设计手册[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1984
- [7] 茆诗松等. 回归分析及其试验设计[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1981

Ding Lijun, Wu Zhenhui, Cai Chuanghai (Department of Biology and Chemistry, Hanshan Normal Institute, Chaozhou, Guangdong 521041, China)

Abstract: The extraction of the flavonoid from Pagodatree flower with water system and alcohol-water backwatering system was studied. With water extracting method, the effect of temperature, pH value, and different technology was studied. With alcohol extracting method, through the orthogonal experiment, the optimum technical condition is obtained. The results showed that the optimum technology of extracting flavonoid from the Pagodatree flowers is B2C3A2, namely, 2 times volume 40% alcohol-water, 3 extracting times (2 h/each time), and the content of flavonoid is 13.04%.

Key words: pagodatree flowers; optimum technical conditions for extraction; backwatering; orthogonal experiment; flavonoid

· Agricultural Electronics and Information Technology ·

Information Processing System for Precision Agriculture Based on GPS and GIS ... (145)

He Yong, Fang Hui, Feng Lei (College of Agricultural Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: To acquire spatial information quickly and analyze it properly, an information processing system which uses MapObjects to integrate GPS with GIS is researched. This information processing system has the function of visualizing and analyzing spatial data, showing and tracking moving point and calculating area of closed polygon. It can integrate GPS and GIS into Expert System and Decision Support System perfectly. A new way of information processing and a new model of information processing system for the research of precision agriculture are put forward.

Key words: precision agriculture; GIS; GPS; information processing system

Fuzzy Pattern Recognition Method Based on Image Contour Line (150)

Yu Qingcang¹, Yan Hongbin² (1. College of Agricultural Engineering and Food Science, Zhejiang University Hangzhou 310033, China; 2. Zhejiang Power System Training and Education Center, Hangzhou 310029, China)

Abstract: A simplified method was put forward on a binary image contour line extraction. Distance between centroid and dots on contour line was calculated, and based on the maximum centroid-dot distance, a feature vector including twelve direction segments and lengths of contour line was studied in this paper, and two distance algorithms based on euclid distance were promoted. The experimental results show that the correct recognition ratios on three kinds of paddy seed reach respectively 79.89%, 89.63% and 93.27%. This method can also be applied to fuzzy pattern recognition on fruits, machine parts etc. As random of object's lay direction and side were taken into account in this paper, and objects are recognized at the same direction and on the same side, so this method can also be promoted to the optic measurements on object rotation angle and any preindicated geometrical parameters.

Key words: paddy seed; image; contour line; fuzzy pattern recognition

Measuring Area of Leaves Based on Computer Vision Technology by Reference Object (154)

Xu Guili, Mao Hanping, Hu Yongguang (College of Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: A method of measuring area of leaves by reference object based on computer vision technology was studied. The sampling box of live leaves was developed, and its data were optimized. The measurement process was studied. The reference object was segmented from the original image by the method of threshold. The data of threshold was gained by means of derivation. The way of removing the noises in the image was studied. Generally, the results show that this method has better feasibility, higher precision and higher efficiency.

Key words: leaf area; computer vision; method of reference object; measurement

Reversible Airflow Drying System Based on Single-Chip Computer Control (158)