

基于彩色通道相似性图像分割方法的植物叶面积计算

韩殿元^{1,2}, 黄心渊^{1*}, 付慧¹

(1. 北京林业大学信息学院, 北京 100083; 2. 潍坊学院计算机工程学院, 潍坊 261061)

摘要: 为了快速、准确地测量植物叶面积, 该文提出了基于彩色通道相似性图像分割的植物叶面积测量方法。该文基于彩色图像, 利用像素彩色通道的相似性和自适应方法得到的阈值分割叶片区域, 并分别统计叶片和参考矩形的像素数, 进而计算植物叶面积。试验表明, 该方法得到的植物叶片区域更准确, 并且对叶片阴影、花斑等具有很强的鲁棒性, 错分率为仅为 1.23%, 具有较高的精度。该方法是一种实用的通过拍照计算植物叶面积的方法, 可嵌入到手机等移动设备中。

关键词: 图像处理, 图像分割, 测量, 叶面积, 彩色通道相似性

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.06.029

中图分类号: S126

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-06-0179-05

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.

Han Dianyuan, Huang Xinyuan, Fu Hui. Measurement of plant leaf area based on image segmentation of color channel similarity[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(6): 179-183. (in Chinese with English abstract)

0 引言

叶片是植物进行光合作用的主要器官。植物叶面积是衡量作物群体结构的重要指标之一, 是植物生长状态诊断及其生长预测模型中重要的参数之一, 也是实际管理的重要依据^[1]。因此, 快速准确地测量植物叶面积具有重要意义。

当前, 基于图像处理的植物叶面积测量方法^[2-6]以其设备简单、操作方便、测量准确等优点, 日益受到重视^[7]。所用器材主要是数码相机和计算机。其中, 对叶片图像进行快速精确地分割^[8]是关键, 它直接影响着基于图像处理的植物叶面积测量方法的精度。本文通过大量试验, 发现在对叶片拍照时, 由于光照强度和方向的不同, 会产生较大的阴影。另外由于叶片本身的花斑、虫害等影响, 叶片的颜色会出现很大的差异。

在采集叶片图像时, 较为常用的方法是用纯色(如白色)的画有参考矩形的背板^[9]作为图像的背景, 以简化算法的复杂度, 并能够根据叶片与参考矩形的比例计算叶片的面积。提取叶片区域的过程属于简单背景下的图像分割。为提高算法的速度, 一般采用阈值分割^[10]的方法。主要思路是先将彩色图像灰度化, 再用简单统计法^[11]、最大类间方差法(OTSU)^[12]等自动阈值分割算法对叶片图像进行分割, 再经过去噪、畸变校正^[13-14]等, 最

后统计叶片区域的像素个数。在彩色图像灰度化时, 阴影颜色较黑, 会归为叶片区域, 颜色较浅的花斑等会归为背景, 从而使分割出的叶片出现较大的误差。鉴于此, 本文采用基于颜色通道相似性方法, 不需彩色图像灰度化, 而是根据彩色信息直接对叶片图像进行分割, 以期提高叶面积测量的精度。

1 叶面积测量原理

1.1 植物叶面积测量流程

基于图像处理植物叶面积测量的流程如图 1 所示。

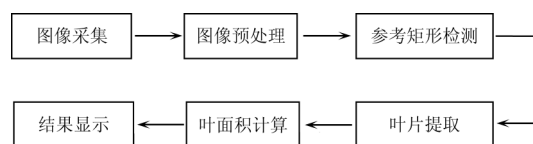


图 1 基于图像处理植物叶面积测量流程图

Fig.1 Flow chart of plant leaf area measurement based on image processing

图像采集是利用数码相机等对叶片进行拍照, 拍照时要将叶片放在有参考矩形的白色参照板上, 其示意图如图 2 所示。该方法既可以准确测量离体植物叶面积, 也可测量活体叶面积, 只要在拍照时让叶片尽量紧贴参照板, 就能保证精度要求。

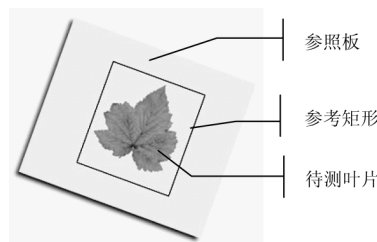


图 2 叶片图像采集示意图

Fig.2 Diagram of plant leaf image acquisition

收稿日期: 2011-07-24 修订日期: 2012-02-03

基金项目: 国家 948 计划项目(2009-4-41)

作者简介: 韩殿元(1971-), 男, 山东安丘人, 讲师, 博士, 主要从事图像处理, 模式识别研究。北京 北京林业大学信息学院, 100083。

Email: wfhd@163.com

※通信作者: 黄心渊(1965-), 男, 河南济源人, 教授, 博导, 主要从事计算机动画、计算机可视化等研究。北京 北京林业大学信息学院, 100083。

Email: hxy@bjfu.edu.cn

图像预处理主要是去除图像噪声。该文中采用中值滤波算法^[15]。参考矩形检测是为了计算参考矩形内的像素数，以便计算叶片的面积。

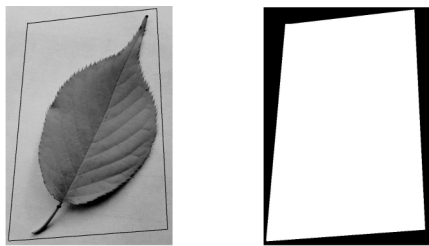
为了快速准确地检测参考矩形，本文使用了双向扫描法。因该方法只需对图像扫描一遍即可完成，故其速度得到了极大提高，过程描述如下：

第一步，定义一个二值图像 *scan*，并将其每个像素值初始化为 0，尺寸与待检测的彩色图像相同。

第二步，对待检测的彩色图像从第 1 行到最后一行进行正向扫描，对每一行像素，从左到右按公式 (1)^[16] 分别计算其灰度值，并与事先测定的阈值 *T1* 相比较，如果 $gray > T1$ ，就将二值图像 *scan* 中的相应位置的元素值改为 1，如果 $gray \leq T1$ ，说明当前位置是参考矩形的左边缘，这时就改为从本行的右侧到左侧按同样的方法扫描，当再次遇到 $gray \leq T1$ 的像素就停止，该位置就定为参考矩形的右边缘。试验中阈值 *T1* 为 128。参考矩形检测的结果如图 3 所示。

$$gray = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

式中，*R*、*G*、*B* 分别表示像素的红、绿、蓝 3 个颜色分量，*gray* 表示转换后的亮度值。



a. 待检测参考矩形的图像 b. 二值图像表示的参考矩形

注：白色区域表示检测到的参考矩形。

图 3 测量的参考矩形

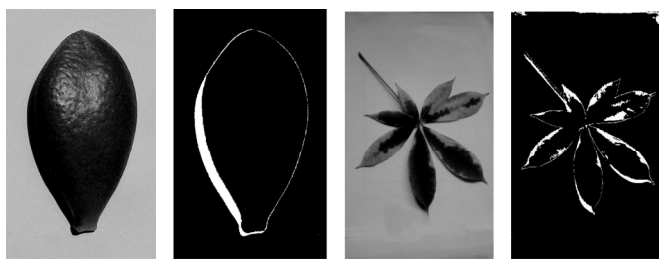
Fig.3 Detected rectangle by 2-side scanning method

1.2 基于彩色通道相似性的叶片图像分割

1.2.1 传统的图像分割方法

基于图像处理的植物叶面积测量首先要用数码相机等拍摄叶片图像。植物叶片都有一定的厚度，光线方向和拍摄方向不一致时，都会产生阴影。拍摄图像时，很难保证叶片完全贴在参照板上，叶边缘往往会翘起来，这样产生的阴影会更严重^[2]。

叶片边缘阴影与背景亮度反差较大，二值化时会将阴影也归类到叶片区域，使得计算出的叶片区域的像素数大于实际数，从而产生较大的误差，如图 4。这些错误分割的像素都会对最终的测量结果产生较大的影响。



a. 阴影图像 b. 错归为叶片区域 c. 花斑图像 d. 错归为背景区域

图 4 测量结果的主要影响因素示例

Fig.4 Example of major influencing factors on measured result

1.2.2 色通道相似性的叶片图像分割

数码相机等图像采集设备都采用 RGB 颜色模式。将彩色图像转化为灰度图像再进行分割，必然会丢失一些有用信息^[17]，造成分割错误。

在灰度图像中易产生分割错误的阴影和花斑区域要想被正确分割，需要找到背景与叶片更为明显的区别特征。该文提出了一个彩色通道相似性的概念。通过研究发现，由于背景区域主要是由白色和阴影像素构成的，因此它的 *R*、*G*、*B* 3 通道值较为接近，而叶片区域像素具有各种各样的颜色值，其 3 通道值差别较大。因此说背景像素是具有彩色通道相似性的。彩色通道相似性采用方差 σ 来表示，可用公式 (2) 来计算。

$$\begin{cases} u = (R + G + B) / 3 \\ \sigma = \frac{(R - u)^2 + (G - u)^2 + (B - u)^2}{3} \end{cases} \quad (2)$$

其中，*R*、*G*、*B* 分别是像素的 3 个颜色分量值，*u* 表示 3 个颜色分量值， σ 表示 3 个颜色分量值的方差。

对图 3a 中的待测量叶片图像，可用三维图像表示的 3 通道的方差，如图 5 所示。从图中可见，对应叶片区域的方差值很大，而对应背景区域方差值很小。

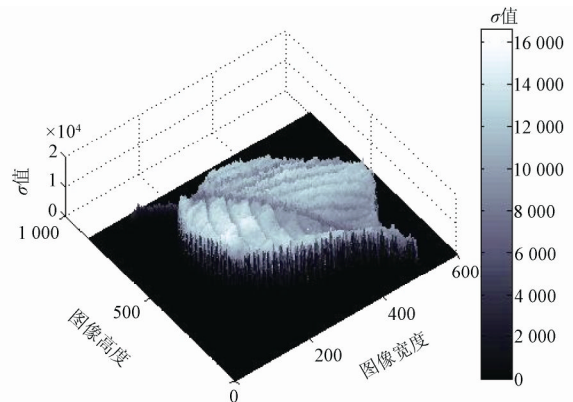


图 5 彩色图像的三通道的方差的三维表示

Fig.5 3-d presentation of 3 color channels variance for color image

试验中发现，固定的阈值 *T*，对不同的叶片图像进行分割，效果不是很好，不同的图像有其最适合的分割阈值。所以，应当使阈值 *T* 针对不同的输入图像具有自适应性，才会达到最好的分割效果。

简单统计法由 Josef Kittler 等提出的，用于确定自适应分割阈值。它是一种基于统计的阈值选取方法，最大优点是不用统计图像的直方图，具有较快的速度。具体方法如下：

先对原彩色叶片图像进行正向扫描，按公式(2)计算每个像素的 σ 值，并存储在与原图像相同尺寸的 *delt* 矩阵中，*delt* 矩阵也可视为一广义的灰度图像。

再对 *delt* 矩阵中奇数行奇数列按公式(3)计算自适应分割阈值 *T*。

$$T = \frac{\sum_x \sum_y e_{\max}(x, y) \times f(x, y)}{\sum_x \sum_y e_{\max}(x, y)} \quad (3)$$

$$\text{其中, } \begin{cases} e_x = |f(x-1, y) - f(x+1, y)| \\ e_y = |f(x, y-1) - f(x, y+1)| \\ e_{\max}(x, y) = \max(e_x, e_y) \end{cases}$$

式中, $f(x,y)$ 表示存储在 delt 矩阵中 x 行 y 列处的像素值。 e_x 表示水平方向上某像素的左、右 2 个像素的差值, e_y 表示垂直方向上某像素的上、下 2 个像素的差值, $e_{\max}(x,y)$ 表示取 2 个差值中的较大者。

这样, 对于同属于背景或同属于叶片中的像素, 其上、下、左、右像素的 σ 值相差很小, $e_{\max}(x,y)$ 就很小; 而叶片与背景的交界处的像素, 其上、下或左、右像素的 σ 值相差很大, $e_{\max}(x,y)$ 就很大, 公式 (4) 中分子的作用就是将背景和叶片对应的 σ 值缩小, 而将叶片与背景的交界处的 σ 值放大, 计算出的 T 就可视为背景和叶片交界处的 σ 值的均值。 x, y 分别取矩阵 delt 中的奇数行奇数列是为了提高算法的运行速度。

按公式 (3) 计算出自适应分割阈值 T 后, 再对 delt 矩阵进行正向扫描, 若 $f(x,y) < T$, 则表示原叶片图像中相应像素具有彩色通道相似性, 将该像素归为背景, 否则将其归为叶片, 这样就很容易将叶片与其背景分开。

1.3 叶面积的计算

叶面积计算是分别统计叶片区域的像素数和参考矩形的像素数, 因实际参考矩形的尺寸是已知的, 通过公式 (4) 可计算叶片面积。

$$S_{\text{leaf}} = \frac{N_{\text{leaf}}}{N_{\text{rectangle}}} S_{\text{rectangle}} \quad (4)$$

式中, $N_{\text{rectangle}}$ 代表图像中参考矩形的像素数, 可由上面的二值图像 scan 中统计值为 1 的元素个数得到; N_{leaf} 代表图像中叶片区域的像素数; $S_{\text{rectangle}}$ 代表实际参考矩形的面积。

1.4 错分率

文中用错分率 (misclassification error, ME) [19] 来衡量叶片被正确分割的程度。错分率定义如公式 (5) 所示

$$ME = 1 - \frac{|B_0 \cap B_T| + |F_0 \cap F_T|}{|B_0| + |F_0|} \quad (5)$$

式中, B_0 是手动分割图中背景的像素数, B_T 为分割算法中背景的像素数, F_0 是手动分割图中目标的像素数, F_T 为分割算法中目标的像素数, $|B_0 \cap B_T|$ 代表背景被正确分割的像素数, $|F_0 \cap F_T|$ 代表目标被正确分割的像素数, ME 值越小, 表明误差越小, 分割效果越好。

此公式既考虑了目标正确分割的情况, 又考虑了背景被正确分割的情况 [20], 效果较好。

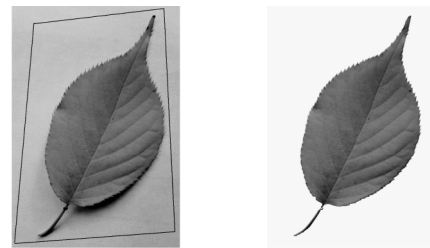
2 结果与分析

基于图像处理的叶面积测量方法最关键的步骤是将叶片图像准确分割出来。为验证该算法的性能, 需要与其他方法作对比试验。利用对像素计数的方法来求叶片区域面积, 不仅简单, 而且更直接且准确 [18]。故在本文中用 Photoshop 软件仔细删除测试图像中的叶片背景, 并对叶片边缘附近的像素进行逐像素判断处理, 仅保留

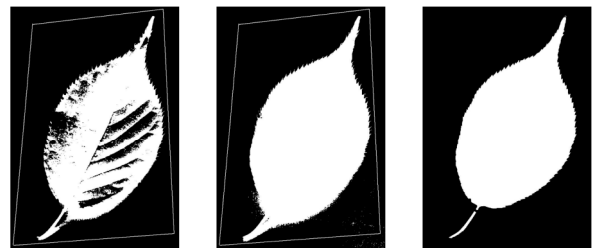
属于叶片的像素。然后统计叶片区域的像素数, 并将它作为标准值, 与各种算法计算出的叶片像素数作比较, 以判断各种算法的性能优劣。

为验证算法的性能, 本文选择了经典的简单统计法和最大类间方差法 (OTSU) 作与本文算法作对比, 对比的指标为错分率。简单统计法和最大类间方差法需要先将彩色图像按公式 (1) 转化成灰度图像。本文方法不需要将彩色图像灰度化而直接对彩色图像进行处理, 只需对图像进行一次扫描即可。

本文在 Window XP, Matlab 7.0 环境下对 20 幅测试图像进行了算法模拟。测试图像主要是由具有阴影和花斑的图像构成的。图 6 是采用不同方法对彩色叶片图像中的叶片进行分割的对比效果, 很明显, 对于原待测叶片图像中的阴影, 简单统计法和 OTSU 法都不能正确分割叶片图像, 而该文所用的基于彩色通道相似性的植物叶片图像分割方法效果很好。



a. 待测叶片图像 b. 人工抠图结果



c. 简单统计法分割结果 d. OTSU法分割结果 e. 该文方法分割结果

图 6 不同图像分割方法的叶片图像

Fig.6 Leaf image with different image segmentation methods

图 7 是用 3 种不同的方法对其中 10 幅有阴影和花斑的叶片图像分割所得到的错分率折线图。其中简单统计法平均错分率是 7.03%, OTSU 法平均错分率是 5.68%, 而该文中的平均错分率是仅为 1.23%, 从图中可看出, 本文方法的错分率明显小于简单统计法和 OTSU 方法。最后一

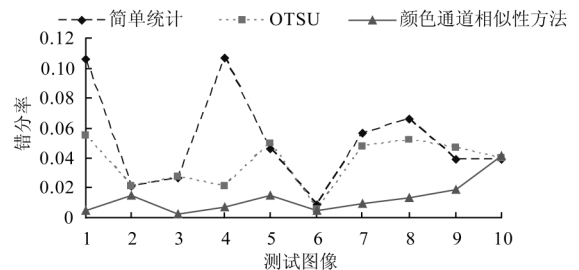


图 7 不同图像分割方法的错分率对比

Fig.7 Comparison of misclassification error for different image segmentation measurements

幅测试图像的错分率3种方法基本相同,该测试图像是在拍摄时光线不足,但没用闪光灯,使叶片部分像素颜色偏黑,失去彩色。在OTSU或简单统计法中,恰好能分割到叶片区域,而本文方法却将这部分当作阴影而归到背景区域,错分率反而会比其他2种方法稍微偏高。

OTSU方法和简单统计法先将彩色图像灰度化,需要对彩色图像进行一遍扫描。然后再根据灰度图像确定分隔阈值,需要对灰度图像进行一遍扫描。最后用得到的分隔阈值对叶片进行分隔,还要对灰度图像进行一遍扫描。本文方法不需要将彩色图像灰度化,但要计算彩色通道的相似度 σ 值,然后根据 σ 值确定分隔阈值,最后用得到的分隔阈值从彩色图像中对叶片进行分隔,所以3种方法计算速度相当。

3 结论与讨论

本文提出的基于彩色通道相似性的叶片图像分割方法,可较好地克服这些缺点。该方法直接使用R、G、B 3个颜色通道信息,不用进行彩色空间的转换^[21],试验也显示了本方法的有效性和实用性。

本文提出的方法可明显地提高叶片面积的测量精度,可嵌入到手机等移动设备中,充分利用手机的便携性,也可方便地与GIS、GPRS及网络技术相结合,与样地的航天遥感图像数据和航空摄影测量影像数据一起组成多分辨率的影像数据库,使基于图像处理的叶面积测量更好地适应野外考察和森林资源调查等。

基于彩色通道相似性的叶片图像分割方法,主要是利用叶片区域的彩色信息,故本文方法的缺陷是如果在拍照时光线不足,会使叶片区域颜色偏黑,使部分像素丢失彩色信息,在分割时会造成一些错误。所以在对叶片拍照时光照要充分,光线不足时要打开闪光灯进行补光。叶片较薄的,阴影中会有颜色,会将部分阴影错误划分到叶片区域,从而使本算法精度有一定程度的降低,但与其他方法相比,其优势还是明显的。

【参 考 文 献】

- [1] 聂鹏程, 杨燕, 刘飞, 等. 植物叶面积无损测量方法及仪器开发[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 198—202.
Nie Pengcheng, Yang Yan, Liu Fei, et al. Method of non-destructive measurement for plant leaf area and its instrument development[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(9): 198—202. (in Chinese with English abstract).
- [2] 韩殿元. 边缘阴影和晕圈对基于图像叶面积测量的影响及修正[J]. 林业资源管理, 2010, (3): 98—103.
Han Dianyuan. Influence and correction of the shadow and halo of leaf edge on image based measurements of leaf area[J]. Forest Resources Management, 2010, (3): 98—103 (in Chinese with English abstract).
- [3] 谭峰, 高艳萍. 基于图像的植物叶面积无损测量方法研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 170—173.
Tan Feng, Gao Yanping. Investigation of the method for non-destructive measurement of leaf area based on image[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(5): 170—173. (in Chinese with English abstract).
- [4] 王永皎, 张引, 张三元. 基于图像处理的植物叶面积测量方法[J]. 计算机工程, 2006, 32(8): 210—212.
Wang Yongjiao, Zhang Yin, Zhang Sanyuan. Approach to measure plant leaf area based on image process[J]. Computer Engineering, 2006, 32(8): 210—212. (in Chinese with English abstract).
- [5] 左欣, 韩斌, 程嘉林. 基于数字图像处理的植物叶面积测量方法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(27): 194—196, 221.
Zuo Xin, Han Bin, Cheng Jialin. A measurement approach of leaf area based on digital image processing[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(27): 194—196, 221. (in Chinese with English abstract).
- [6] 李明, 张长利, 房俊龙. 基于图像处理技术的小麦叶面积指数的提取[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 205—209.
Li Ming, Zhang Changli, Fang Junlong. Extraction of leaf area index of wheat based on image processing technique[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 205—209. (in Chinese with English abstract).
- [7] 张鑫, 孟繁疆. 植物叶面积测定方法的比较研究[J]. 农业网络信息, 2008, (12): 14—16.
Zhang Xin, Meng Fanjian. Comparitive study on the measure methods of the plant leaf area[J]. Agriculture Network Information, 2008, (12): 14—16. (in Chinese with English abstract).
- [8] 何俊, 葛红, 王玉峰. 图像分割算法研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(12): 58—61.
He Jun, Ge Hong, Wang Yufeng. Survey on the methods of image segmentation research[J]. Computer Engineering and Science, 2009, 31(12): 58—61. (in Chinese with English abstract).
- [9] 侯国祥, 翁章卓, 李洪斌, 等. 基于图像处理的树叶面积测量系统[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(4): 369—372.
Hou Guoxiang, Weng Zhanghuo, Li Hongbin, et al. An image processing based system for leaf area measurement[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2005, 23(4): 369—372. (in Chinese with English abstract).
- [10] 韩思奇, 王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(6): 91—94, 102.
Han Siqi, Wang Lei. A survey of thresholding methods for image segmentation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(6): 91—94, 102. (in Chinese with English abstract).
- [11] 陈杰, 王振华, 刘丽华. 尺度自适应canny边缘检测方法[J]. 光电工程, 2008, 35(2): 79—84.
- [12] 刘艳, 赵英良. Otsu多阈值快速求解算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(12): 3363—3365.
Liu Yan, Zhao Yingliang. Quick approach of multi-threshold Otsu method for image segmentation[J]. Journal of Computer

- Applications, 2011, 31(12): 3363—3365. (in Chinese with English abstract).
- [13] 万峰, 杜明辉. 数码相机设计中图像几何畸变校正的实现[J]. 计算机工程, 2005, 31(17): 191—192.
Wan Feng, Du Minghui. Correction of lens distortion in digital camera design[J]. Computer Engineering, 2005, 31(17): 191—192. (in Chinese with English abstract).
- [14] 杨必武, 郭晓松. 摄像机镜头非线性畸变校正方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(3): 191—192.
Yang Biwu, Guo Xiaosong. Overview of nonlinear distortion correction of camera lens[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(3): 269—274. (in Chinese with English abstract).
- [15] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008: 70—74.
- [16] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital image processing second edition[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 70—74.
- [17] 钟玉琢, 沈洪, 洗伟铨, 等. 多媒体技术基础及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 74.
- [18] 张国权, 李战明, 李向伟, 等. HSV 空间中彩色图像分割研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(26): 179—181.
Zhang Guoquan, Li Zhanming¹, Li Xiangwei¹, et al. Research on color image segmentation in HSV space[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(26): 179—181. (in Chinese with English abstract)
- [19] 黄燕, 任光辉. 基于图像处理的叶面积测定方法的研究[J]. 农机化研究, 2006, (9): 192—193.
Huang Yan, Ren Guanghui. Investigation on the measuring method of leaf area based on image processing[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006, (9): 192—193. (in Chinese with English abstract).
- [20] Sezgin M, Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 146—165.
- [21] 闫成新, 桑农, 张天序. 图象过渡区提取与分割算法评价[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(8): 60—63.
Yan Chengxin, Sang Nong, Zhang Tianxu. Evaluation on transition region extraction based image segmentation[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(8): 60—63. (in Chinese with English abstract).
- [22] 张学习, 杨宜民. 彩色图像工程中常用颜色空间及其转换[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(5): 1210—1212.
Zhang Xuexi, Yang Yimin. Common color space and its conversions in color image project[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(5): 1210—1212. (in Chinese with English abstract)

Measurement of plant leaf area based on image segmentation of color channel similarity

Han Dianyuan^{1,2}, Huang Xinyuan^{1*}, Fu Hui¹

(1. School of Information Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Department of Computer Engineering, Weifang University, Weifang 261061, China)

Abstract: To measure plant leaf area quickly and accurately, a method of plant leaf area measurement based on color channel similarity image segmentation was put forward. In this paper, plant leaf area was separated by using the color channel similarity and an auto adaptive threshold. After the pixels of the leaf area and the referenced rectangle were counted, the leaf area was calculated. Experiments showed that this method was more accurate and had a strong robustness to the shadow and piebald, and the misclassification error was only 1.23%. So this method greatly improves the accuracy of measurement and is a practical method of plant leaf area measurement by taking pictures and can be embedded in mobile devices such as smart mobile phones.

Key words: image processing, image segmentation, measurements, plant leaf area, color channel similarity