

# 基于 Android 手机的植物叶片面积快速无损测量系统\*

郭文川<sup>1</sup> 周超超<sup>1</sup> 韩文霆<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 基于 Android 手机平台构建了一种植物叶片面积快速无损测量系统。获取包含被测植物叶片与已知面积的参照物图像,经图像灰度化、图像平滑、图像二值化、图像几何校正和连通区域标记等处理,根据参照物和被测植物叶片面积比得到植物叶片的面积。基于 Android 编程技术对系统的功能和界面进行了设计,对图像的几何失真问题提出了几何校正方法。以三叶草、木槿、腊梅、枫树、银杏、樱花等多种植物叶片为对象进行面积测量。试验结果表明,系统不受叶片形状的限制,面积测量的相对误差在  $-2.9\% \sim 2.7\%$ ,能够有效测量植物叶片面积。

**关键词:** 植物叶片 面积 无损检测 Android 手机

**中图分类号:** S24;S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)01-0275-06

## 引言

叶片是植物的重要器官,也是植物模型建立以及生长模拟中必不可少的组成部分<sup>[1-2]</sup>。近年来,针对植物叶片色素含量、冠层光谱特征及电特性等方面的研究已经取得了一些研究成果<sup>[3-5]</sup>。植物叶片面积是作物栽培和育种中常用的指标,也是选育理想株型、测定害虫危害损失的重要指标,在作物用水量计算、植物生长状况评估等研究领域具有广泛的应用<sup>[6-8]</sup>。实现植物叶片面积的快速、准确和无损测量对于指导农业生产具有重要意义。

传统的植物叶片面积测量方法主要有网格法、复印称重法、回归方程法、叶面积仪法和基于图像处理技术的扫描法等<sup>[9-10]</sup>。其中,网格法、复印称重法和回归方程法在农业研究中已广泛应用,但是其测量精度不高、测量时间长,更重要的是这些方法只适用于离体植物叶片面积的测量。叶面积仪法的精度高、速度快,但仪器的价格较高,维修不方便,此外它破坏作物的群体结构且对被测植物叶片的大小有一定的限制<sup>[11]</sup>。目前基于图像处理技术的植物叶片面积测量方法通常是利用扫描仪<sup>[12]</sup>或数码相机<sup>[13-14]</sup>获取图像,然后利用计算机进行图像处理,设备复杂,实现过程比较繁琐。

本文基于开源的 Android 手机平台,利用平台的图像处理能力和运算能力,设计一种基于 Android 手机的快速、无损植物叶片面积测量系统,并针对图

像畸变问题提出图像几何校正方法,以期便捷地实现植物叶片面积的快速测量。

## 1 系统总体设计

### 1.1 系统硬件平台

基于 Android 手机的植物叶片面积快速无损测量系统由硬件和软件组成。其中硬件部分采用智能手机 HTC Incredible S(宏达国际电子股份有限公司),其操作系统为 Android OS 2.2(Operating System),硬件配置为 QSD8255 1 GHz CPU(高通公司,美国),756 MB RAM。

### 1.2 系统软件平台

在 Windows 7 操作系统下,搭建了基于 Android SDK(Software development kit) + Java JDK 6(Java development kit) + Eclipse 3.5 + ADT(Android development tools)的应用程序开发环境,针对 Android OS 2.2 及以上版本开发系统软件。

### 1.3 测量植物叶片面积的工作流程

测量植物叶片面积的基本工作流程:

(1)选择拍摄背景。选择与植物叶片颜色差异较大,且平整的物体作为拍摄背景。本文以白色 A4 纸为拍摄背景。

(2)标记参照物。以面积已知、与拍摄背景颜色差异明显的物体为参照物。本文以在 A4 纸上打印的 2 cm × 2 cm 的黑色正方形作为参照物,如图 1 所示。

(3)获取图像。用 Android 手机的摄像头拍摄

收稿日期:2013-01-27 修回日期:2013-03-29

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD29B08)和高等学校学科创新引智计划“111”资助项目(B12007)

作者简介:郭文川,教授,博士,主要从事智能化检测与技术研究,E-mail:guowenchuan69@126.com

包含参照物及被测植物叶片的图像(图1),或者选择已经存储在存储卡中的包含参照物和被测植物叶片的图像。

(4)图像处理。对拍摄的图像进行图像灰度化、图像平滑、图像二值化、图像几何校正和连通区域标记等处理。

(5)计算面积。根据被测植物叶片和参照物的像素比及参照物的面积计算被测植物叶片的面积。



图1 图像获取方法

Fig.1 Method of image acquisition

## 2 软件设计

系统软件的主要功能是获取图像、处理图像(图像灰度化、图像平滑、图像二值化、图像几何校正和连通区域标记)和颜色比对(计算面积)。设计的植物叶片面积测量软件的主界面如图2所示。



图2 软件主界面

Fig.2 Main interface of developed software

### 2.1 获取图像

#### 2.1.1 获取实时图像

将被测植物叶片放置在拍摄背景上,且与参照物临近。点击软件主界面上的“获取图像”(图2),软件通过 `android.provider.MediaStore` 类提供的 `MediaStore.ACTION_IMAGE_CAPTURE` 调用摄像头拍摄图像,通过 `System.currentTimeMillis()` 方法获取系统当前时间,并以系统当前时间命名图

像,以 .bmp 格式保存到存储卡中。

#### 2.1.2 选择本地图像

除了获取实时图像外,也可以选择存储卡中已经保存的图像。点击图2软件界面上的“自选图像”,通过 `android.os.Environment` 类提供的 `getExternalStorageDirectory()` 方法获取存储卡的文件目录。进入软件的工作目录,通过 `android.widget` 类提供的 `ListView` 将工作目录下的图像文件以列表的形式显示在存储卡文件选择界面中。由图像文件后面对应的单选框选择需要处理的图像。

### 2.2 图像处理

在获取图像的基础上,点击“图像处理”(图2)实现图像灰度化、图像平滑、图像二值化、图像几何校正和连通区域标记。

(1)图像灰度化。通过 `android.graphics.Bitmap` 类提供的 `getPixel()` 方法获取图像中每一个像素的颜色信息,通过 `android.graphics.Color` 类提供的 `Color.red()`、`Color.green()` 和 `Color.blue()` 方法分别提取图像中每个像素的 RGB 值,采用加权平均法将彩色图像转化为灰度图像。

(2)图像平滑。采用邻域均值滤波法<sup>[15]</sup>进行图像平滑,以降低噪声。因 Android 中并未提供图像平滑的方法,为此创建 `imageSmooth()` 方法,利用滤波窗口 `SmoothTemp = {{0,1,0},{1,0,1},{0,1,0}}` 取图像中每个像素的邻域,以邻域中所有像素的灰度均值作为该点的灰度,从而实现图像平滑。

(3)图像二值化。创建 `getMaxMinGray()` 方法,遍历图像中的每个像素以获得最大和最小灰度。采用创建 `findSegmentation()` 方法将最大和最小灰度的平均值作为初始阈值,运用迭代法求出最佳阈值。创建 `segment()` 方法,以最佳阈值实现图像的二值化。

(4)图像几何校正。在获取图像过程中,不可能保证摄像头的主光轴与叶片所在平面始终保持垂直,因此会出现图像几何失真的情况。本文提出的图像几何校正方法详见 2.4 节。

(5)连通区域标记。创建 `markBmp()` 方法,利用邻域像素连通标记法标记参照物区域和植物叶片的区域。创建 `getMarkBMP()` 方法,随机采用不同颜色标记参照物和植物叶片的连通区域。

#### 2.3 颜色比对

点击软件主界面上的“颜色比对”(图2),分别选择参照物和植物叶片的颜色,输入参照物的面积  $4\text{ cm}^2$ (图3)。点击“确定并返回”后,软件分别统计参照物和被测植物叶片的像素数,并计算植物叶片面积<sup>[16]</sup>

$$A_{\text{leaf}} = A_{\text{ref}} \frac{P_{\text{leaf}}}{P_{\text{ref}}} \quad (1)$$

式中  $A_{\text{leaf}}$  ——植物叶片面积  
 $A_{\text{ref}}$  ——参照物面积  
 $P_{\text{leaf}}$  ——植物叶片像素数  
 $P_{\text{ref}}$  ——参照物的像素数



图 3 颜色比对操作界面  
 Fig.3 Interface of color matching

## 2.4 图像几何校正

图像几何校正包括获取控制点、空间变换和灰度插值。本文采用双线性空间变换表示原图像和校正后图像的关系,从而将畸变图像上的像素重新排列,恢复原空间关系,并通过双线性插值法进行灰度插值,得到校正图像。

### 2.4.1 获取控制点

几何校正的首要任务是找到校正图像中方形参照物的 4 个顶点和畸变图像中方形参照物的 4 个顶点,以此 8 个顶点作为控制点,并求得此 8 个控制点的坐标。在校正图像(图 4a)中,通过像素扫描法找到方形参照物的 4 个顶点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ,得到顶点坐标。在畸变图像(图 4b)中,应用 Hough 变换提取参照物的 4 条边,利用像素扫描法找到畸变图像的 4 个顶点  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ 、 $D_1$ ,得到顶点坐标。至此,8 个控制点的坐标均可得到。

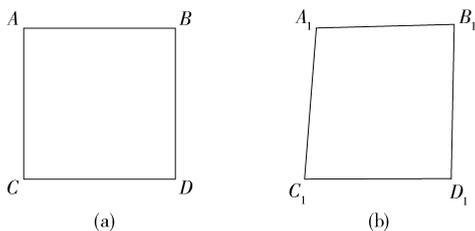


图 4 标正图像和畸变图像

Fig.4 Rectification image and distortion image

(a) 标正图像 (b) 畸变图像

### 2.4.2 空间变换

假设图 4b 中 4 个控制点的坐标为  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ , 图 4a 中 4 个控制点的坐标为  $(u_i, v_i)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ 。

$$\begin{cases} u_i = p(x_i, y_i) = a_1 + a_2x_i + a_3y_i + a_4x_iy_i \\ v_i = q(x_i, y_i) = b_1 + b_2x_i + b_3y_i + b_4x_iy_i \end{cases} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

将 2.4.1 节中得到的 8 个点坐标代入式(2),用高斯消元法解此线性方程组,求出系数  $a_i$ 、 $b_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ),确定映射关系。并根据此关系纠正畸变图像(图 4b)中的所有像素。

### 2.4.3 灰度插值

由于校正图像中的像素映射到畸变图像中不一定是整数位置,所以有的像素会找不到对应的像素位置而出现像素缺失的现象。因此,需要对这些空缺像素进行灰度插值。常用的插值算法有最邻近插值法、三次卷积内插法和双线性插值法等<sup>[17]</sup>。其中双线性插值法的插值效果比最邻近插值法好,其效果接近三次卷积内插法,但计算量比三次卷积内插小得多<sup>[18]</sup>。综合考虑,本文采用双线性插值法作为灰度插值方法。

双线性插值算法是以原始图像上相邻的 4 个像素灰度的加权平均作为新像素的灰度,生成的图像不存在灰度不连续的缺点<sup>[19]</sup>。图 5 为两组几何校正前后的图像。

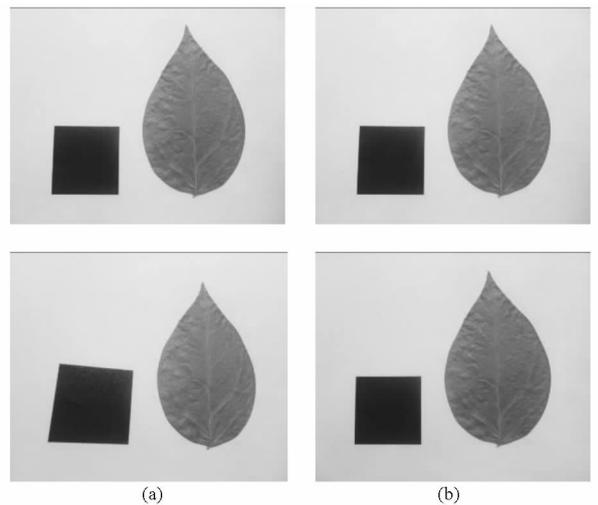


图 5 几何校正前和校正后的图像

Fig.5 Images before and after geometric correction

(a) 几何校正前 (b) 几何校正后

## 3 系统测试

### 3.1 检测精度的测试

#### 3.1.1 仿真测试

在实验室环境下,以 A4 纸作为拍摄背景。在 A4 纸上打印一个 2 cm × 2 cm 的黑色正方形作为参照物。与该参照物在同一张纸上,分别打印 0.5 ~ 27 cm<sup>2</sup>, 间隔 0.5 cm<sup>2</sup> 或 1 cm<sup>2</sup> 的黑色正方形或长方形,作为模拟植物叶片。运行软件,调用系统相机拍摄参照物和模拟植物叶片,而后进行图像处理,得出

各个模拟植物叶片的测量面积。将模拟植物叶片的实际面积和测量面积进行比较,如图6所示。二者的决定系数  $R^2$  为 0.999 8,说明本方法能很好地测量被测物的面积。

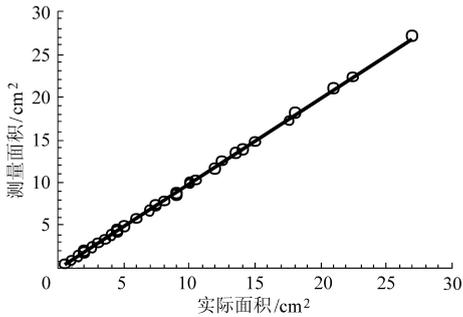


图6 模拟植物叶片的实际面积与本系统测得面积的关系  
Fig.6 Relationship between actual area and measured area with the system provided in this study for plant leaves

### 3.1.2 室外环境测试

在室外环境下,以三叶草、木槿、腊梅、枫树、银杏、樱花等多种植物叶片为试验对象。在不摘离植株的前提下,将活体植物叶片平铺,用双面胶粘在白色 A4 纸上,保证拍摄视野内只有参照物和植物叶片且摄像头主光轴尽可能与植物叶片所在平面垂直的情况下,拍摄植物叶片和参照物。

为了验证室外环境下此方法的精确性,将植物叶片从树上摘下带回实验室,用 BenQ Q66 扫描仪(明基电通集团)将参照物连同植物叶片一并扫描成图像。运行 Photoshop CS3 软件,打开扫描图片后统计图像中参照物和植物叶片两部分的像素数,得出被测植物叶片的面积,结果如图7所示。

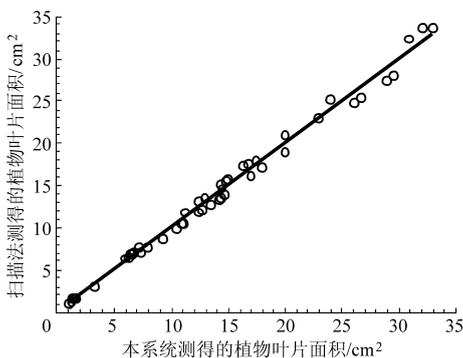


图7 扫描法与本系统测得的植物叶片面积的关系  
Fig.7 Relationship between plant leaf areas measured by scanning method and by the system provided in this study

从图7可以看出,当植物叶片面积在  $1 \sim 35 \text{ cm}^2$  的范围内,用扫描法测得的植物叶片面积与采用本

系统测得的植物叶片面积的决定系数是 0.987 4,本系统测得的植物叶片面积与扫描法测得的叶片面积的相对误差在  $-2.9\% \sim 2.7\%$ 。

### 3.2 系统的通用性与实时性测试

为了验证系统的通用性和实时性,分别利用 Motorola Milestone (摩托罗拉公司,美国)、HTC Incredible S、Samsung i9023 (三星集团,韩国)和 Bambook S1 (果壳电子有限公司,中国)对本文所设计的植物叶片面积检测系统进行了测试。Milestone 的 CPU 为美国德州仪器公司的 OMAP3430,主频 550 MHz, RAM 为 256 MB,操作系统为 Android OS 2.2。i9023 的 CPU 为韩国三星公司的 S5PC110,主频为 1 GHz, RAM 为 512 MB,操作系统为 Android OS 2.3。Bambook 的 CPU 是意法·爱立信 U8500,主频为 1 GHz, RAM 为 1 GB,操作系统为 Android 2.3.5。Milestone 为摩托罗拉 2009 年出厂的手机,其硬件相对比较落后,所以在 Milestone 上运行设计的软件处理一张图像时约需 1 min。而 Incredible S、i9023 和 Bambook S1 均是 2011 年 1 月以后推出的手机,其硬件相对 Milestone 较好,所以在这 3 台手机上运行软件处理同一张图像所需的时间在 20 ~ 30 s。综上,在主频 550 MHz 以上的手机上运行本文设计的植物叶片面积软件时,从采集图像或调用内部存储的图像到给出植物叶片面积结果,都可以在 1 min 内完成。

## 4 结束语

提出了一种基于 Android 手机的便携式植物叶片面积快速无损测量系统,并对测量系统进行了设计。通过对已知面积的参照物和被测植物叶片图像进行图像灰度化、图像平滑、图像二值化、图像几何校正和连通区域标记等处理,可以获得植物叶片的面积。对测量系统的功能和界面进行了设计。对图像倾斜失真问题提出了几何校正方法。以模拟植物叶片和活体植物叶片为对象,对本方法的可行性和测量精度进行了检验。结果说明,当植物叶片面积在  $1 \sim 35 \text{ cm}^2$ ,测量活体植物叶片面积与扫描法测得的叶片面积的相对误差在  $-2.9\% \sim 2.7\%$ 。为了克服 A4 纸张弯曲对测量精度的影响,可将 A4 纸平铺在一块塑料板或以不透明的白板作为拍摄背景以获得更高的测量精度。克服植物叶片卷曲、保证测量平面与主光轴的垂直也是提高测量精度的关键。

## 参 考 文 献

- 1 赵元棣,温维亮,郭新宇,等. 基于参数化的玉米叶片三维模型主脉提取[J]. 农业机械学报,2012,43(4):183~187. Zhao Yuandi, Wen Weiliang, Guo Xinyu, et al. Midvein extraction for 3-D corn leaf model based on parameterization [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(4):183~187. (in Chinese)
- 2 张卫正,徐武峰,裴正军,等. 基于多视角图像的植物叶片建模与曲面面积测量[J]. 农业机械学报,2013,44(7):229~234.

- Zhang Weizheng, Xu Wufeng, Qiu Zhengjun, et al. Plant leaf modeling and surface area measuring based on multi-view images [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 229 ~ 234. (in Chinese)
- 3 邹小波, 陈正伟, 石吉勇, 等. 基于近红外高光谱图像的黄瓜叶片色素含量快速检测[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5): 152 ~ 156. Zou Xiaobo, Chen Zhengwei, Shi Jiyong, et al. Rapid detection of cucumber leaves pigments based on near infrared hyper-spectral image technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(5): 152 ~ 156. (in Chinese)
- 4 李树强, 李民赞, 李修华, 等. 冬小麦生育早期冠层叶片光谱的特征与应用[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 165 ~ 169. Li Shuqiang, Li Minzan, Li Xiuhua, et al. Analysis and application of spectral characteristic of winter wheat in early growth periods [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 165 ~ 169. (in Chinese)
- 5 郭文川, 伍凌, 魏永胜. 失水对植物生理特性和电特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 185 ~ 188, 191. Guo Wenchuan, Wu Ling, Wei Yongsheng. Influence of water loss on physiological and electrical properties of plants [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2007, 35(4): 185 ~ 188, 191. (in Chinese)
- 6 蔡庆生. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- 7 Cristofori V, Roupheal Y, Gyves EMD, et al. A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 113(2): 221 ~ 225.
- 8 张云鹤, 乔晓军, 王成, 等. 基于虚拟仪器技术的作物叶片面积测量仪的开发[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊 2): 200 ~ 203. Zhang Yunhe, Qiao Xiaojun, Wang Cheng, et al. Development of plant leaf area measurement instrument based on virtual instrument technology [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(Supp. 2): 200 ~ 203. (in Chinese)
- 9 徐贵力, 毛罕平, 胡永光. 基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 154 ~ 157. Xu Guili, Mao Hanping, Hu Yongguang. Measuring area of leaves based on computer vision technology by reference object [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(1): 154 ~ 157. (in Chinese)
- 10 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 CSAE, 2010, 26(9): 198 ~ 202. (in Chinese)
- 11 Peksen E. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba L.*) [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 113(4): 322 ~ 328.
- 12 杨劲峰, 陈清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155 ~ 158. Yang Jinfeng, Chen Qing, Han Xiaori, et al. Measurement of vegetable leaf area using digital image processing techniques [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 155 ~ 158. (in Chinese)
- 13 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 CSAE, 2008, 24(5): 170 ~ 173. (in Chinese)
- 14 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. Chen Taotao, Chi Daocai, Liang Qian. Multi-leaf area measurement method based on geometric correction with rectangular box [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(8): 206 ~ 213. (in Chinese)
- 15 郭文川, 梁玮, 宋怀波. 基于邻差和的农产品 X 射线图像分割算法[J]. 农业机械学报, 2012, 43(11): 214 ~ 219. Guo Wenchuan, Liang Wei, Song Huaibo. Segmentation method of agricultural products' X-ray image based on sum of neighborhood differences [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(11): 214 ~ 219. (in Chinese)
- 16 夏营威, 徐大勇, 堵劲松, 等. 基于机器视觉的烟叶面积在线测量[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 167 ~ 173. Xia Yingwei, Xu Dayong, Du Jinsong, et al. On-line measurement of tobacco leaf area based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 167 ~ 173. (in Chinese)
- 17 崔艳华. 基于上下文的图像插值方法[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- 18 龚纯, 王正林. MATLAB 语言常用算法程序集[M]. 北京: 北京电子工业出版社, 2008.
- 19 廖士中, 高培焕, 苏艺, 等. 一种光学镜头摄像机图象几何畸变的修正方法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(7): 593 ~ 596. Liao Shizhong, Gao Peihuan, Su Yi, et al. A geometric rectification method for lens camera [J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(7): 593 ~ 596. (in Chinese)

## Rapid and Non-destructive Measurement System for Plant Leaf Area Based on Android Mobile Phone

Guo Wenchuan<sup>1</sup> Zhou Chaochao<sup>1</sup> Han Wenting<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Based on Android mobile phone platform, a rapid and non-destructive method for measuring area of plant leaves was developed. After snapping the images which contained reference object with known area and plant leaf whose area would be measured, through image graying, smoothing, binarizing, geometric correcting and connected components labeling, the area of plant leaf could be obtained according to the values of pixels of reference object and plant leaf. Functionality and interface of the system were designed with programming techniques based on Android. Geometric correction method was provided for image tilt distortion problem. Many leaves of several plants, such as clover, hibiscus, wintersweet, maple, ginkgo and sakura were used as the object for experiment. Results showed that the system can effectively measure plant leaf area and is not restricted by leaf shape; the relative error of measured area is range from  $-2.9\%$  to  $2.7\%$ .

**Key words:** Plant leaves Area Non-destructive measurement Android Mobile phone

---

(上接第 292 页)

## Pearl Online Detecting and Grading Device Based on Monocular Multi-view Machine Vision

Tang Yiping Xia Shaojie Feng Yijun Chen Xinfeng Zhu Zhiliang Li Chenrong  
(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310028, China)

**Abstract:** An imaging apparatus of monocular multi-view was designed by putting a symmetric bucket cavity, which was made by 4 planar mirrors, in front of the camera. An image of the pear surface from different perspectives could be obtained by this device; then, a variety of views which present pearl quality could be obtained by image processing. Finally the quality of the pearl could be determined by feature fusion. Experimental results show that the image captured of pearl entire surface could be obtained in a unified color system by the proposed device. Besides, the device accomplishes pearl online detecting and grading according to the quality indicator such as size, shape, luster, blemish and color.

**Key words:** Pearl Machine vision Monocular multi-view Quality detection Online grading