

# 基于 Android 系统手机的叶面积测量方法\*

龚爱平 吴武豪 裘正军 何勇

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

**摘要:** 为了快速无损测量植物叶片的面积,利用 Java 编写的软件,以 Android 智能手机为工作平台,使用图像处理技术对植物叶片面积进行测量。测量步骤分为:图像获取、图像分割、图像二值化、滤波去噪、叶片面积计算。采用该方法分别对面积为  $100\text{ mm}^2$  的三角形、 $100\text{ mm}^2$  的正方形、 $314.15\text{ mm}^2$  的圆、 $112.26\text{ mm}^2$  的正五角星在  $150\text{ mm}$  和  $200\sim 800\text{ mm}$  之间间隔为  $100\text{ mm}$  的 8 个距离段进行了面积测量,结果显示其测量误差范围在  $-0.62\%\sim 0.79\%$  之间。应用该方法测量了代表不同植物叶片形状的番茄、茄子和枫叶叶片,当手机和叶片的距离在  $300\sim 600\text{ mm}$  时,测量结果与 LI-3100 型叶面积仪测得的结果偏差在  $\pm 1\%$  以内,其他距离段偏差均大于  $1\%$ 。本研究设置图像为  $2560\text{ 像素}\times 1920\text{ 像素}$ ,测量精度能达到  $0.001\text{ cm}^2$ ,证明该方法具备精确测量叶片面积的能力。

**关键词:** 叶面积 智能手机 图像处理 Android 系统

**中图分类号:** TP391.41; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)09-0203-06

## Leaf Area Measurement Using Android OS Mobile Phone

Gong Aiping Wu Wuhao Qiu Zhengjun He Yong

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** The goal of this study was to develop a method based on Android OS mobile phone by using image processing to rapidly and non-destructively determine leaf area (LA). Software using Java language was used to estimate LA. The steps for processing each image were as follows: image collection, image segmentation, image binarization, filtering and LA calculation. The proposed method was carried out on triangle of  $100\text{ mm}^2$ , square of  $100\text{ mm}^2$ , circle of  $314.15\text{ mm}^2$  and five-pointed star of  $112.26\text{ mm}^2$  in eight distance ranges by AutoCAD precision drawings. The test result showed that the measured error was in the range of  $-0.62\%$  to  $0.79\%$ . The proposed method was applied to measure different leaves representing varied shapes and sizes, such as tomato, eggplant and maple representing. The measured error was within  $\pm 1\%$  compared with type LI-3100 leaf measuring device when the distance between mobile and leaf was  $300\sim 600\text{ mm}$ . The picture sizes were  $2560\text{ pixels}\times 1920\text{ pixels}$  and the measuring accuracy was  $0.001\text{ cm}^2$  in this work, which showed the proposed method could measure leaf areas accurately.

**Key words:** Leaf area Smart mobile phone Image processing Android OS

### 引言

叶面积是衡量植物光合作用、水循环、能量交换、果实生长等植物机理的一个重要因素,也是研究

作物栽培、遗传育种等必须要考虑的指标<sup>[1-2]</sup>。准确测量叶面积对研究植物生长和了解作物与生长环境之间的相互影响都有非常重要的意义。植物叶面积测量方法可分为破坏性测量和非破坏性测

收稿日期: 2012-09-08 修回日期: 2012-11-17

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA101903)、国家自然科学基金资助项目(30600371)和教育部重点资助项目(109090)

作者简介: 龚爱平, 博士生, 主要从事基于嵌入式系统的生物生长信息采集处理技术研究, E-mail: 10913012@zju.edu.cn

通讯作者: 裘正军, 教授, 博士生导师, 主要从事农业信息技术研究, E-mail: zjqiu@zju.edu.cn

量<sup>[3-5]</sup>。破坏性测量的优点是测量步骤简单,测量结果可靠,缺点是需要从植株上把叶片摘下来,这使得同一叶片不能得到连续追踪测量,同时,植物冠层也会受到损害,这些损害还可能进一步影响其他研究的结果<sup>[6-7]</sup>,而且,这种实验需要足够多的样本。非破坏性测量的优点是节约时间,测量结果准确,其最大的优势是允许重复追踪同一片叶子,缺点是测量仪器设备昂贵,有些仪器设备还不利于携带<sup>[8]</sup>。

近几年来,很多学者投入到基于图像处理的叶面积测量应用方面的研究<sup>[9~16]</sup>,基于计算机系统的叶面积测量仪能快速准确测量出叶面积,但该技术的仪器一般都比较笨重,不利于携带,大多数情况下需要把叶片摘下来测量,是一种破坏性测量<sup>[17]</sup>。便携式扫描叶面积测量仪虽然具备携带方便的优势,但适合测量秧苗叶片的仪器则测量不了宽大叶片的面积,反之,适合测量宽大叶片面积的仪器则很难测量植物秧苗的叶片<sup>[18]</sup>。而且,该仪器扫描头的精度决定该仪器的价格,精度高的价格昂贵,精度低的不太适合大部分科学研究。

基于 Android 系统的智能手机具备 CPU 主频高、运行速度快、屏幕宽和分辨率高、摄像头像素高、内存大等优势,适用于叶面积测量的软件应用开发,而且,手机还是大部分人随时携带的通信工具,应用者无需购置处理平台硬件设备。本文设计一种基于 Android 系统手机及其图像处理功能来测量叶面积的方法。使用手机的触摸屏幕作为工作平台,而不需要给手机增加额外的硬件。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料

实验设备包括工字架,刻度参照板,厚度小于 2 mm 且透光度大于 92% 的亚克力板,米尺,LI-3100 型叶面积仪,三星 I9300 型智能手机,手机内置 Android 4.0 操作系统,其 CPU 为 4 核主频 1.4 GHz,800 万像素摄像头,1 GB 内存,Android-SDK,集成开发环境 Eclipse,ADT 插件,计算机,白纸和打印机。工字架上、下两端及连接杆均可伸缩和拔插,一端有可以 180° 旋转的固定夹,用来固定手机位置;另一端用来固定刻度板,能确保手机平面和刻度板平面平行,如图 1 所示。刻度参照板是在平整的白纸上打印 10 mm × 10 mm 的棋盘格,根据树叶的大小,白纸的中间部分不打印正方形,将该打印有棋盘格的白纸固定在不易变形的硬塑料板上便形成了刻度参照板,叶面积计算时,把棋盘格中的黑色正方形当作标准刻度。实验对象为茄子、西红柿和枫树叶片。

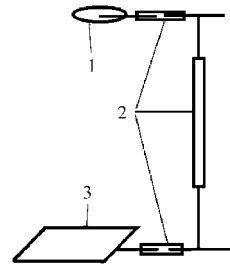


图 1 工字架示意图

Fig. 1 Sketch map of shelf

1. 旋转固定夹 2. 连接管 3. 刻度板平面

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 图像采集

对于正常生长的植株上的叶片,根据植物叶片表面情况,叶片的图像采集有两种方式:①针对没有完全展开但表面光滑可以直接接触的叶片,如柑橘叶、油菜叶等,图像采集时,在刻度参照板的 X 轴上对称挖宽约 3 mm 的凹槽,供叶茎通穿,该凹槽的长度根据叶茎和刻度板长短而定,叶茎通过凹槽能达到合适测量位置即可,必须保证叶茎通过凹槽时无刮伤。拍照时,将叶片贴放在白纸中间的空白部分,刻度参照板放在叶片下面作为背景底板,叶柄通过刻度板中间的槽,把叶片移放到刻度参照板合适的位置,并使待测叶片平展于底板上,再用亚克力板压平,确保叶片完全舒展,如图 2a 所示。②对于在自然状态下能完全舒展开的叶片,由于有些其表面绒毛比较多,直接接触可能会破坏其正常生长机理,如黄瓜、西红柿叶片等,则在刻度板的中间挖出合适大小的凹槽,使叶片能摆放在其中间,拍照时,将刻度板与叶片尽量保持在同一水平面,如图 2b 所示。

不管采用哪种图像采集方式,图像中被研究的叶片与其他叶片不能存在交叉覆盖现象,因为这不仅增加图像分割的难度和影响图像处理的速度,而且影响叶面积测量结果的精度。

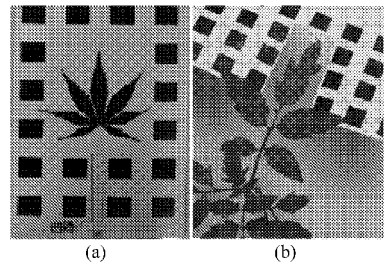


图 2 图像采集方式

Fig. 2 Collection method of images

(a) 可直接接触叶片 (b) 不可直接接触叶片

### 1.2.2 图像分割

图像分割的目的是要从研究对象的图像中精确地把研究对象分离出来,然后对分离的结果进行滤波去噪,以提高测量的精度<sup>[19]</sup>。最简单的方式是寻

找一个合适的灰度阈值能够把研究对象直接分离出来。

严格地说,本研究的图片中只有3种颜色,它们分别是白色背景、刻度参照正方形的黑色和研究对象叶片的颜色。考虑到这些因素,为了把要测量的叶片和参照刻度从有背景的图片中分离出来,本方法要求测量者在触摸屏显示的拍摄图片平面上,用触摸笔在要测量的叶片周围任意画一个封闭圈,该封闭圈不能和被测叶片或与该叶片相邻的叶片交叉。

在触摸笔所划的圈内,软件获取并统计被选中区域像素点的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的值,黑色和白色部分像素点  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的值接近 1:1:1。把  $R$ : $G$ : $B$  比值接近 1:1:1 的像素点的灰度值设为 255(白色),其它比值的像素点的灰度值设为 0(黑色)。叶片中如果存在虫孔或黑色病斑,也当成是背景而被填充成白色。然后软件根据叶片像素所在横纵坐标,搜寻叶片周边的正方形,并依据正方形像素点  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的值,把正方形所包含的像素点的值设为 0。图像重构后,便把参照正方形和被测叶片从有背景的图片中分割出来了。

### 1.2.3 面积测量原理

记图像分割后的二值图像中,参照正方形的总像素为  $N_{ST}$ ,被测叶片的总像素为  $N_{TT}$ ,由于单个正方形的面积已知(为  $100 \text{ mm}^2$ ),累加二值图像中所有正方形个数得到参照正方形的总面积  $S_{AT}$ ,图像中单个像素所代表的实际面积  $S_{PA}$  可以利用  $S_{AT}$  除以  $N_{ST}$  求得, $N_{TT}S_{PA}$  便是被测量叶片的面积。本研究设置图像为 2 560 像素  $\times$  1 920 像素,表 1 给出了不同距离下图像中每个像素代表的实际面积,从表 1 可以看出,本方法测量精度能达到  $0.001 \text{ cm}^2$ 。

表 1 各距离段下图像像素代表实际面积测量结果

Tab.1 Results of image pixels represented real area in different distances

测量距离/mm	每个像素代表的实际面积/cm <sup>2</sup>
200	0.000 14
300	0.000 25
400	0.000 40
500	0.000 48
600	0.000 63
700	0.000 85
800	0.001 10

## 2 软件开发

Android 是基于 Linux 平台的开源移动操作系统的名称,该平台由操作系统、中间件、用户界面和应用软件组成。它采用软件堆层(Software stack,又

称软件叠层)的架构,主要分为 3 部分。底层以 Linux 内核工作为基础,由 C 语言开发,只提供基本功能;中间层包括函数库 Library 和虚拟机 Virtual Machine,由 C++ 开发;最上层是各种应用软件,由各公司自行开发,以 Java 作为编写程序。本研究开发的软件属于上层应用软件。

利用 Android 布局管理器进行操作界面的控件布局方法简单,控件背后的事件触发也非常容易实现。I9300 智能手机内置的摄像头可获得最大为 3 264 像素  $\times$  2 448 像素的图片,通过 SurfaceHolder.setFixedSize(int x, int y) 可以设置所获图像的大小,该设置会影响到叶面积的测量精度,但可以提高软件处理图像的速度。本研究设置图像大小为 2 560 像素  $\times$  1 920 像素,图片格式为 JPEG。

触摸笔轨迹采用 View 类中的 Point((int) event.getX(), (int) event.getY()) 方法追踪,该方法能够把触摸笔所移动的坐标及时返回,图像分割事件处理过程中,所触摸到的屏幕点采用 List 进行记录,而后覆盖 View 类中的 onDraw() 方法,在 onDraw() 方法中将记录的坐标点使用 Canvas 类中的 drawLine() 方法把触摸笔的轨迹再现到触摸屏上。

研究叶片确定以后,软件自动寻找触摸笔所画线圈内像素的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  值(0~255),并对  $R$ 、 $G$ 、 $B$  值分别做平均。图像中,背景颜色像素点的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的比值接近 1:1:1。为了消除光照的影响,当像素点的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的值都大于 200,且颜色分量的比值在 1:0.8:0.8 到 1:1.2:1.2 范围内,都认为该像素点是白色,将该像素点的值设为 255。然后软件根据叶片像素点所在横纵坐标,搜寻叶片周边的正方形,黑色正方形像素  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的比值接近 1:1:1,当像素点的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  分量的值都小于 50,且颜色分量的比值在 1:0.8:0.8 到 1:1.2:1.2 范围内,都认为该像素点是黑色,将该像素点的值设为 0。叶片像素点所在横纵坐标包含的邻近正方形均纳入计算。

经过图像分割步骤后重构的二值图像还存在噪声,对二值图像采用  $3 \times 3$  的中值滤波后,利用 1.2.3 节提供的原理计算被测叶片面积。图 3 给出了算法的图像处理流程。

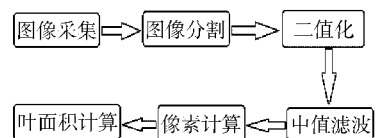


图 3 叶面积测量算法的图像处理流程

Fig.3 Image processing steps of LA estimation

### 3 实验结果与讨论

为了验证该方法的可重复性、准确性和不同场合下的可应用性,做如下实验。

#### 3.1 实验室测试标准几何形状

用 AutoCAD 精确绘制的三角形、圆、正方形和五角星代表不同形状的被测物体分别放在参考板的中间。为了研究距离对测试结果的影响,测试了手机平面和刻度参考板平面之间的距离分别为 150 mm 和 200 ~ 800 mm 间隔 100 mm 的 8 个距离段的数据,图 4a 给出了中间正方形是参照物体,周边 8 个正方形为被测量对象,坐标轴中的测量结果直线部分是中间正方形的实际值,从图中可以看出,除 500 mm 点外,其他点的测量误差在 -0.27% ~ 0.24% 之间。

图 4b 给出了周边 8 个正方形为参照刻度,中间圆为测量对象,研究中对该圆进行了 5 次测量,坐标

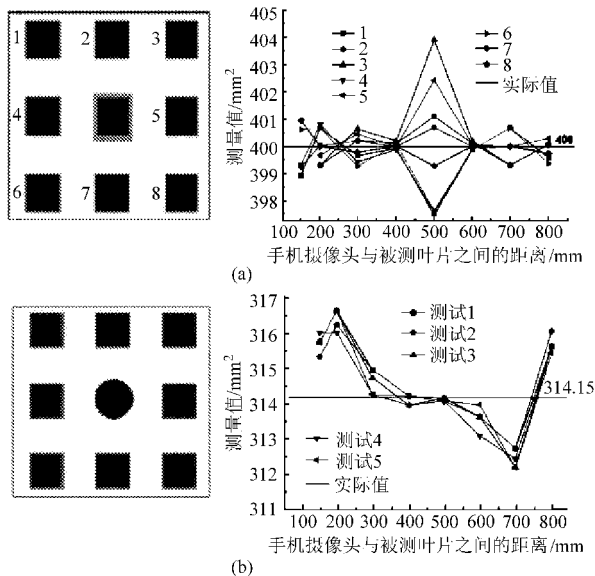


图 4 标准几何形状测量结果

Fig. 4 Results of standard geometrical objects

(a) 中间正方形为参照刻度,周边 8 个正方形为测量对象

(b) 中间圆为测量对象,周边正方形为参照刻度

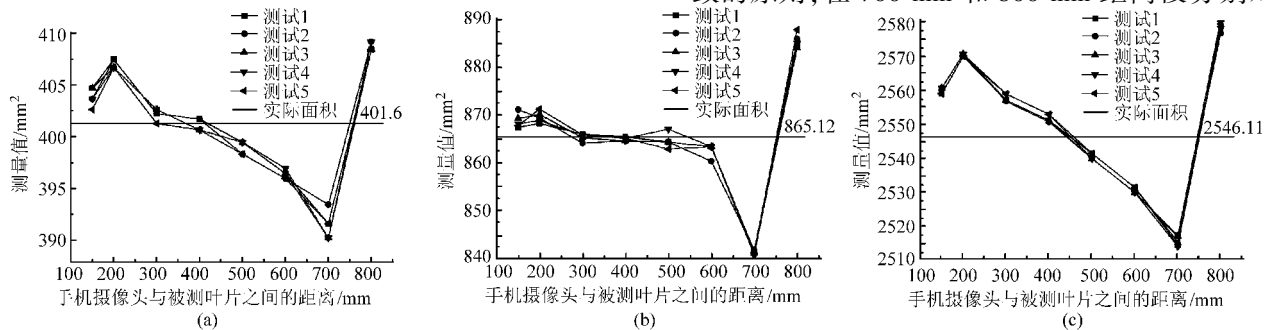


图 5 叶面积 5 次测量结果

Fig. 5 Test result of LA measurement

(a) 西红柿 (b) 茄子 (c) 枫叶

轴中测量结果的直线部分是圆的实际值。从图中可以看出,每次测量的结果和实际值相比,其误差范围在 -0.62% ~ 0.79% 之间,三角形和正五角星的测量结果和图 4b 类似,误差变化并没有明显的规律。

为了研究偏转角度变化对结果的影响,在图 4a 的 500 mm 点处,人为地使相机平面和被测物体平面发生 30° 水平夹角的变化,分析发现这 8 个正方形的面积测量值几乎与实际值线对称,其平均值很接近真实值。

#### 3.2 与商用面积仪比较

手机测量过的叶片,再利用 LI-3100 型叶面积仪进行测量。实验中发现,当手机和叶片的距离在 150 mm 与 300 mm 时,使用手机测得的叶片面积大于真实值,与 LI-3100 型叶面积仪测量的结果比较,误差大于 3%;在 300 ~ 600 mm 范围内时,使用手机测量的叶面积结果与 LI-3100 型叶面积仪测量的结果误差在 ±1% 以内;当超过 600 mm 时,测量结果误差逐渐非线性加大,到 700 mm 时,误差超过 15%,其测试结果如图 5 所示,图中直线表示叶面积仪的测量结果。

研究发现,造成上述现象的原因有:

(1) 与手机和叶片平面的夹角大小有关,在 3.1 节的实验中已得知当手机和叶片平面的夹角发生比较大的变化时,测量结果会发生额外的偏差,19300 内置倾角传感器,如果手机供应商能公开其硬件资料或在手机软件的底层驱动提供倾角接口函数的话,此原因引起的偏差可以得到解决。

(2) 和相机成像有关,距离越近时,叶片边缘越来越模糊,叶片边缘颜色越来越接近背景,图像处理过程中,会将实际叶片内部像素点去除,带来总像素计算误差;距离越远时,图像处理过程中,取参考正方形的像素时,会将实际正方形内部像素点去除,造成参照尺度引起的误差;鉴于小孔成像原理,同一平面的物体在同一相机所拍摄的图片中的放大倍数一致的原则,在 700 mm 和 800 mm 距离段分别对

同一叶片进行了 10 次重复实验, 实验结果表明实际值和测量值存在某一比例的关系, 即  $y = kx$ , 式中  $y$  为实际值,  $k$  为比例系数,  $x$  为测量值。在 700 mm 距离段时, 比例系数设为 1.262, 得出的测量结果与 LI-3100 型叶面积仪测量结果的误差在 8% 以内。

(3) 由于光照的影响, 在室外太阳光比较强烈的情况下进行叶面积测量时, 测量结果会存在偏差, 尤其当手机和叶片间的距离超过 600 mm 时, 影响效果比较明显。

(4) 由于本方法是针对现有手机 CPU 对数据处理的能力提出的, 图像分割采用的算法比较简单。此外, 目前 Android 系统支持的数学函数也不是很丰富, 一些复杂图像处理的功能需要自己编写, 这也是手机平面和被测叶片平面超过 700 mm 时误差比较大的一个原因。

实验中同时发现, 提高图片的分辨率, 测量结果的误差范围有所缩小, 但增加了处理图片的时间。

随着科技的发展, 由手机软件引起的问题在未来的几年将得到全面解决, 因而基于本文所述的叶面积测量方法也可以进一步得到完善。

## 4 结束语

利用基于 Android 系统的智能手机为工作平台, 采用图像处理技术, 提出了一种快速、便携、无损测量各种大小和形状的植物叶片面积的方法。手动选择图像分割的对象, 优化了 CPU 处理的数据, 提高了软件运行速度。用 Java 语言编写的应用软件, 分别对番茄、茄子和枫叶叶片进行了面积测量, 当手机摄像头和叶片的距离在 150 mm 与 300 mm 时, 使用手机测得的叶片面积与 LI-3100 型叶面积仪测量的结果比较, 误差大于 3%; 当测量距离超过 600 mm 时, 测量结果误差呈非线性拉大, 测量距离超过 700 mm 时, 误差超过 15%; 当手机平面和叶片平面之间的距离在 300 ~ 600 mm 时, 误差在  $\pm 1\%$  以内, 可满足大多数情况下的叶面积测量应用。

## 参 考 文 献

- Robbins N S, Pharr D M. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements[J]. Hortscience, 1987, 22(6): 1264 ~ 1266.
- De Swart E A M, Groenwold R, Kanne H J, et al. Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annum* L. [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2004, 79(6): 764 ~ 770.
- De Jesus W C J, Do Vale F X R, Coelho R R, et al. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean [J]. Agronomy Journal, 2001, 93(2): 989 ~ 991.
- Blanco F F, Folegatti M V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants[J]. Horticultura Brasileira, 2003, 21(4): 666 ~ 669.
- Gyves E M, Cristofori V, Fallovo C, et al. Accurate and rapid technique for leaf area measurement in medlar (*Mespilus germanica* L.) [J]. Advances in Horticultural Science, 2008, 22(3): 223 ~ 226.
- Bignami C, Rossini F. Image analysis estimation of leaf area index and plant size of young hazelnut plants[J]. The Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 1996, 71(1): 113 ~ 121.
- Trooiën T P, Heermann D F. Measurement and simulation of potato leaf area using image processing: III. measurement[J]. Transactions on the ASAE, 1992, 35(5): 1719 ~ 1721.
- O'Neal M E, Landis D A, Isaacs R. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis[J]. Journal of Economic Entomology, 2002, 95(6): 1190 ~ 1194.
- 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)
- 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)
- 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)
- 王忠芝, 张金瑞. 基于图像处理的叶面积测量方法[J]. 微计算机应用, 2010, 31(5): 68 ~ 72.  
Wang Zhongzhi, Zhang Jinrui. A measurement approach of leaf area based on digital image processing[J]. Microcomputer Applications, 2010, 31(5): 68 ~ 72. (in Chinese)
- 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)
- Igathinathane C, Prakash V S S, Padma U, et al. Interactive computer software development for leaf area measurement[J].

- Computer and Electronic in Agriculture, 2006, 51(2): 1 ~ 16.
- 15 Baker B, Olszyk D M, Tingey D. Digital image analysis to estimate leaf area[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 148(8): 530 ~ 535.
  - 16 郭孝玉, 孙玉军, 王轶夫, 等. 基于改进人工神经网络的植物叶面积测定[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 200 ~ 204, 199.  
Guo Xiaoyu, Sun Yujun, Wang Yifu, et al. Improved artificial neural network for determination of plant leaf area [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 200 ~ 204, 199. (in Chinese)
  - 17 Nyakwende E, Paull C J, Atherton J G. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 1997, 72(9): 225 ~ 262.
  - 18 Rouphael Y, Mouneimne A H, Ismail A, et al. Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrid* L.) based on leaf length and width measurement[J]. Photosynthetica, 2010, 48(11): 9 ~ 15.
  - 19 Pal N R, Pal S K. A review on image segmentation techniques[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1 277 ~ 1 294.
- 

(上接第 202 页)

- 7 胡天翔, 郑加强, 周宏平, 等. 基于 DSSA 的智能对靶喷雾机软件系统设计[J]. 林业科技开发, 2008, 22(2): 68 ~ 70.  
Hu Tianxiang, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, et al. Design method of software system for intelligent target oriented sprayer based on DSSA[J]. China Forestry Science and Technology, 2008, 22(2): 68 ~ 70. (in Chinese)
- 8 耿长兴, 张俊雄, 曹峥勇. 温室黄瓜病害对靶施药机器人设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 177 ~ 180.  
Geng Changxing, Zhang Junxiong, Cao Zhengyong. Cucumber disease toward-target agrochemical application robot in greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 177 ~ 180. (in Chinese)
- 9 尹东富, 陈树人, 毛罕平. 基于模糊控制的棉田变量对靶喷药除草系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 179 ~ 183.  
Yin Dongfu, Chen Shuren, Mao Hanping. Weed control system for variable target spraying based on fuzzy control[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 179 ~ 183. (in Chinese)
- 10 尹东富, 陈树人, 裴文超. 基于处方图的室内变量喷药除草系统设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 131 ~ 135.  
Yin Dongfu, Chen Shuren, Pei Wenchao. Design of map-based indoor variable weed spraying system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 131 ~ 135. (in Chinese)
- 11 成莹, 丁伟, 丁向美. 基于机器视觉的自走式喷药机械的田间路径识别研究[J]. 农业科技与装备, 2010, 15(8): 29 ~ 32.  
Cheng Ying, Ding Wei, Ding Xiangmei. Research on the field path recognition of self-propelled spraying machine based on machine vision [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2010, 15(8): 29 ~ 32. (in Chinese)
- 12 王勇, 沈明霞, 姬长英. 基于颜色信息和形状特征的棉桃识别方法[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 77 ~ 80.  
Wang Yong, Shen Mingxia, Ji Changying. Using color data and shape properties for cotton fruit recognition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 77 ~ 80. (in Chinese)
- 13 陈兵旗, 孙明. 实用数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社、中国农业大学出版社, 2008.