

网络出版时间:2013-05-02 10:56

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130502.1056.032.html>

基于机器视觉的穴盘幼苗识别与定位研究

胡 飞,尹文庆,陈彩蓉,徐 彪

(南京农业大学 工学院 江苏省智能化农业装备重点实验室,江苏 南京 210031)

[摘 要] **【目的】**设计一套机器视觉系统,用于实时测量各穴孔中幼苗叶片面积、判断是否适合移栽作业、确定适合移栽幼苗的抓取位置,为实现穴盘幼苗自动移栽作业奠定基础。**【方法】**用 CCD 数字摄像机采集番茄幼苗图像,转换成灰度图像,将幼苗与背景分割得到二值图像,去噪处理后,通过计算每个穴孔中幼苗叶片的面积来确定适合移栽的单元,并用形心法确定机械手抓取位置。**【结果】**采用 $1.8G-1.5R-1.8B$ 灰度化因子、Otsu 法分割幼苗与背景图像效果较好;采用单连通区域法统计幼苗叶片面积,经修正后相对误差小于 1.0% ,相对误差值平均下降了 87.6% 。**【结论】**设计的机器视觉系统具有较高的测量精度,能够满足穴盘幼苗自动移栽作业要求。

[关键词] 机器视觉;自动移栽;图像分割;Otsu

[中图分类号] TP391.41;S223.9

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)05-0183-06

Recognition and localization of plug seedling based on machine vision

HU Fei, YIN Wen-qing, CHEN Cai-rong, XU Biao

(Jiangsu Key Laboratory for Intelligent Agricultural Equipment, College of Engineering,
Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210031, China)

Abstract: **【Objective】** This paper presents a machine vision system for transplanting plug seedling automatically. The system can be used for real time measuring the blade area of plug seedlings, sizing up whether it is suitable to transplant and determining the position of grabbing seedlings. **【Method】** The images of tomato seedlings captured by CCD digital cameras were changed into gray level images. Binary images were obtained by segmenting seedlings and backgrounds images. The denoising algorithm was used for the pre-process of seedling image. The cells suitable to transplant were determined after calculating the area of each seedling in cells. At last, centroid method was used to calculate the position of grabbing seedlings. **【Result】** It was effective to use the method of color characteristics value ($1.8G-1.5R-1.8B$) and Otsu algorithm to segment seedlings and image backgrounds. The relative error was less than 1.0% and it was reduced by 87.6% on average after correcting the leaves' area and using the simply connected region method. **【Conclusion】** The result shows that this machine vision system has high measurement precision, and can satisfy the requirement of automatic plug seedlings transplanting.

Key words: machine vision; automatic transplanting; image segmentation; Otsu

穴盘育苗是一种现代化育苗技术,具有出苗率高、整齐度好、移栽后缓苗期短、病虫害少、省工省时

等优点,代表了育苗技术的发展方向,受到种植业者的欢迎。移栽是穴盘育苗的后续作业,目前国内穴

[收稿日期] 2012-10-08

[基金项目] 江苏省农机三项工程项目(NJ2008-32);江苏省科技攻关计划重大项目(BE2006302)

[作者简介] 胡 飞(1975—),男,江苏扬州人,副教授,在读博士,主要从事农业机器人研究。E-mail: hufei@njau.edu.cn

[通信作者] 尹文庆(1959—),男,湖北洪湖人,教授,博士,博士生导师,主要从事现代检测与控制技术研究。
E-mail: yinwq@njau.edu.cn

盘苗移栽主要靠手工完成,仅有少量的半自动移栽机机型可用于穴盘苗移栽^[1]。手工与半自动移栽机作业劳动强度大、效率低,自动移栽机器人的开发应用可以减轻劳动强度,提高作业效率。在穴盘苗移栽作业中,除了漏播和没有发芽的空穴外,还有一些生长状况不良的弱苗,为了能够自动检测穴盘苗的生长情况,需实时测量穴盘苗的特征参数。叶面积是一些作物栽培研究中常用的指标,也是评价农作物产量和品质的重要指标之一^[2]。目前用于测量幼苗叶面积的方法很多^[3-4],如用扫描仪扫描图像后计算叶面积、测量叶片质量估算叶面积、方格法测量叶面积等,但以上几种方法均会损伤幼苗,且操作不便、效率低,利用进口叶面积仪测定叶面积虽然准确、简单快速,但价格昂贵。Ryu 等^[5]设计了一个由机械臂、末端执行器、输送装置和机器视觉系统组成的自动移栽机。Ting 等^[6-7]研制了基于 ADEPT-SCARA 四自由度工业机器人的移栽机,可以把幼苗从 600 穴的育苗盘移植到 48 穴的苗盘中。王永皎等^[8]进行了基于图像处理的叶面积测量系统研究。上述研究主要是在实验室或温室环境下完成,难以实现在移栽机具上对幼苗的实时检测。

本研究以番茄穴盘幼苗为试验对象,研制了一套在穴盘苗自动移栽作业中用于穴盘幼苗面积计算、空穴弱苗检测及机械手取苗位置计算的机器视

觉系统,可以很方便地和移栽机械手、穴盘苗输送装置等进行系统集成,自动去除空穴弱苗,旨在为研制穴盘苗移栽机器人奠定基础。

1 设备与材料

育苗种子选用罗莎番茄,采用南京市蔬菜科学研究所研制的栽培基质,使用常用的 72(6×12)穴格的穴盘,规格为 540 mm×280 mm×40 mm,按操作规程进行穴盘苗培育。本研究所设计的机器视觉系统主要由数字摄像机、镜头、计算机、LED 光源、机器视觉软件等组成。采用 Computar M1214 工业镜头和 MVC2010DAC-GE12 CCD 数字摄像机(分辨率设定为 1 320×680,图像格式为 bmp)进行穴盘幼苗图像的采集。计算机 CPU 为 Intel Pentium Dual Core E2140,2 GB 内存,250 GB 硬盘。本研究中的机器视觉软件是在 MATLAB 环境下开发的,用于识别穴盘中适合移栽的幼苗,并对其准确定位。

2 原理与方法

在实际移栽作业中,幼苗移栽的时间是相对固定的。为了验证识别算法的适用性及有效性,本研究对不同苗期(14~18 d)的番茄幼苗采集图像,每天采集 40 幅图像,共采集 200 幅图像。图像处理流程如图 1 所示。

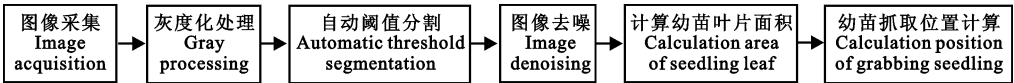


图 1 图像处理流程
Fig. 1 Flow chart of image processing

2.1 提取穴盘幼苗的颜色特征转成灰度图

为了将幼苗与背景进行有效地区分,需要充分利用彩色图像所包含的丰富的色彩信息,选择适当的特征,使目标和背景能依据特征上的差别进行区分。通常情况下,植物图像的背景(即基质或土壤)有较大的 R、B 值,而其 G 值却总小于植物本身的 G 值,这里 R、G、B 是图像中每一个像素点的红、绿、蓝 3 个颜色分量。区别绿色植物与非植物背景,采用较多的是彩色图像灰度化因子(2G-B-R,也称“超绿”)^[3],该因子计算量小,在较宽范围光照条件下,能够满足捕捉作物“绿色”特征的要求^[9-10]。

图 2 是所拍摄番茄穴盘幼苗的 1 幅原始图像,通过对 RGB 分量图的分析,发现番茄穴盘幼苗图像中绿色最为明显,G 的分量大于 R 和 B,故采用超绿处理来将图像灰度化。

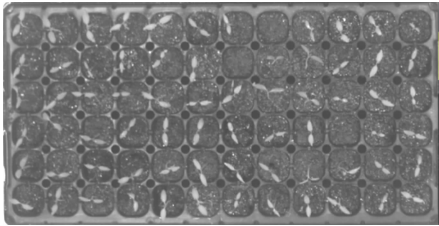


图 2 番茄穴盘幼苗原始图像
Fig. 2 Original image of tomato plug seedling
图像中每一个像素的色差表示为:

$$f(x,y)=\begin{cases} 0, & 2G-R-B<0 \\ 2G-R-B, & 2G-R-B\geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f(x,y)$ 为像素点 (x,y) 的超绿色灰度值。

在灰度化过程中,改变 R、G、B 的系数,其灰度化效果不同。选取几组不同灰度化因子(2G-R-B 因子、1.8G-R-1.5B 因子、G-R-B 因子)对

原始图像进行处理,从图 3 中可看出,用 $2G-R-B$ 和 $1.8G-R-1.5B$ 因子处理后,灰度图中穴盘轮廓清晰可见;用 $G-R-B$ 因子处理后,灰度图中叶片区域有缺损,这均不利于后续图像分割处理。经过多次试验,得出一个最佳灰度化因子: $1.8G-1.$

$$f(x,y)=\begin{cases} 0, & 1.8G-1.5R-1.8B<0, \\ 1.8G-1.5R-1.8B, & 1.8G-1.5R-1.8B\geq 0. \end{cases}$$

(2)

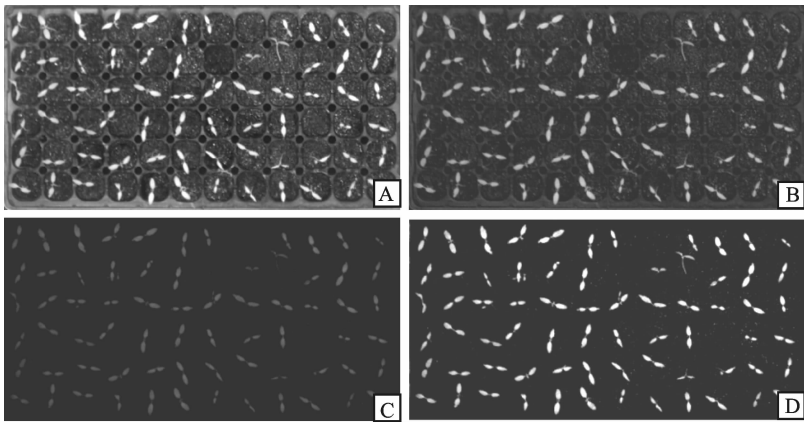


图 3 不同灰度化因子处理后番茄穴盘幼苗灰度图像
A. $2G-R-B$ 因子; B. $1.8G-R-1.5B$ 因子; C. $G-R-B$ 因子; D. $1.8G-1.5R-1.8B$ 因子
Fig. 3 Gray image of tomato plug seedling using different gray factors
A. $2G-R-B$ factor; B. $1.8G-R-1.5B$ factor; C. $G-R-B$ factor; D. $1.8G-1.5R-1.8B$ factor

2.2 图像的分割

在穴盘幼苗图像中,目标区域与背景区域的灰度或平均灰度是不同的。在穴盘幼苗图像的识别过程中,必须先将幼苗从背景中分割出来,分割效果的好坏直接影响识别的效果和幼苗叶片面积计算的精度,阈值分割由于直观且易于实现,成为幼苗图像处理中最主要的分割算法^[12]。

普通的阈值分割方法要求观察图像的灰度直方图,选定灰度双峰之间的谷底值作为输入阈值将灰度图像二值化,阈值的选定因人而异,从而导致处理结果的不同。为了实现穴盘幼苗图像自动识别,所用的分割方法必须是自动的、非监督的^[13]。本研究采用 Otsu 自动阈值分割法,很好地实现了幼苗与背景的分割。Otsu 法是基于分割出的目标与背景之间的差距应最大的思想来确定阈值的,其基本思路为:令 σ_w^2 、 σ_B^2 、 σ_T^2 分别为类内方差、类间方差、总体方差,阈值 T 把图像分割为目标类 A_0 与背景类 A_1 ,最佳的阈值 T 由最大的 σ_B^2 确定。从灰度最小值到最大值遍历 T ,当阈值 T 使类间方差为最大值时,该 T 值为最佳分割阈值,使类间方差最大的分割意味着错分概率最小^[14]。对番茄穴盘幼苗灰度图像采用 Otsu 法阈值分割,得到的二值图像见

$5R-1.8B$,其处理效果见图 3D。同时,为了使绿色特征更集中,将式(1)修正为式(2)。该式计算简单、处理速度快,可以很好地将彩色图像转成灰度图像,并且为下一步图像分割做好了准备^[11]。

图 4。

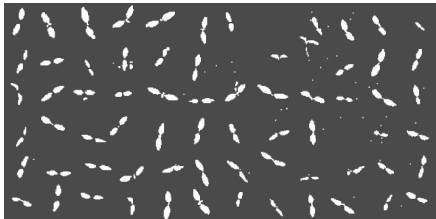


图 4 番茄穴盘幼苗图像经 Otsu 法分割后的二值图像
Fig. 4 Binary image of tomato plug seedling by Otsu segmentation

2.3 图像的去噪处理

图像二值化后通常包含有噪声,噪声对穴盘幼苗叶片面积和定位计算的精度均有很大影响,在图像处理的过程中去除噪声是非常必要的。经过试验,选用 3×3 的单元矩阵结构元素对图像进行 2 次腐蚀和 2 次膨胀处理,处理效果见图 5。从图 5 可以看出,应用腐蚀膨胀运算可以去掉较小的噪声,但在去噪的同时也对幼苗的形态产生了影响,实际效果并不理想。

通过对分割后的图像进行分析,发现图像中的噪声大多为散落在幼苗叶片之外的孤立噪声,噪声面积与幼苗叶片面积相比非常小,且分别形成多个

单连通区域。根据这一特点,以像素为单位计算所有单连通区域的面积,然后设定一阈值 T (本研究取 15 像素),可以去除面积小于阈值的孤立噪声^[15]。设目标中共有 n 个单连通区域,第 i 个表示为 M_i ,每个单连通区域的面积表示为 A_i , B 表示背景集合, O 表示目标集合, T 为面积阈值,则:

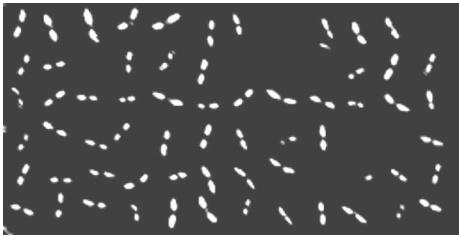


图 5 番茄穴盘幼苗二值图像经腐蚀膨胀后的图像
Fig. 5 Denoised binary image of tomato plug seedling by corrosion expansion algorithm

2.4 穴盘幼苗叶片面积的计算

数字图像由许多像素点组成,每个像素点代表一定的实际面积值,而实际面积值可以由已知参照物面积求得,因此叶片面积可由下式计算出:

幼苗叶片面积=幼苗叶片像素数×穴盘实际面积/穴盘图像像素数。(4)

设 72(6×12)穴格的穴盘实际面积为 A ,穴盘

$$\begin{cases} M_i \subset B, A_i \leq T \\ M_i \subset O, A_i > T. \end{cases} \quad (3)$$

图 6 为运用单连通区域统计方法去噪处理后的图像。经试验,将该方法应用到其他待处理图像中,取得了相同的效果,表明该方法有较强的适应性,为后续幼苗叶片面积的计算奠定了基础。

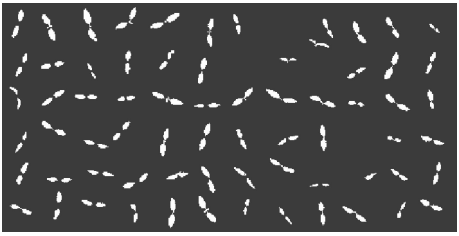


图 6 番茄穴盘幼苗二值图像经单连通区域统计法去噪后的图像
Fig. 6 Denoised binary image of tomato plug seedling by simply connected region statistics

图像所占像素为 B ,则每个像素所代表的面积(N)为 $N=A/B$ 。在计算幼苗叶片面积时,本研究采用了 2 种方法:(1)直接统计每个穴孔内像素为 1 的像素点面积,计算结果如表 1 所示;(2)先找出图像中所有的单连通区域,如果几个单连通区域的心坐标同属一个穴孔矩形,则归为一类,计算其面积总和,作为该穴孔内的幼苗叶片面积,结果如表 2 所示。

表 1 番茄穴盘幼苗叶面积直接统计像素法测量结果

Table 1 Measured leaf area of tomato plug seedling by pixel statistics mm²

穴盘行列号 Row & column number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	154	160	217	168	150	133	89	0	144	137	108	36
2	111	91	45	102	93	137	0	48	2	79	168	97
3	86	152	74	96	147	94	143	158	126	57	141	89
4	88	113	134	62	148	144	94	79	133	0	48	101
5	117	94	95	124	103	143	101	119	38	47	79	96
6	94	118	99	72	165	186	56	57	111	119	55	113

表 2 番茄穴盘幼苗叶面积单连通区域法测量结果

Table 2 Measured leaf areas of tomato plug seedling by simply connected region statistics mm²

穴盘行列号 Row & column number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	134	171	205	155	180	133	89	0	144	137	108	36
2	95	102	45	102	93	137	0	47	0	79	167	97
3	76	174	48	74	163	92	132	162	126	57	140	89
4	71	120	137	53	148	144	94	79	133	0	47	101
5	117	92	95	124	102	143	100	119	38	47	79	96
6	93	118	99	72	165	184	56	56	109	119	55	113

2.5 测量精度和误差的处理

为提高测量精度,选择与真实叶片颜色相近的绿色硬纸,剪成 5 个大小不一的标准矩形。用游标卡尺在每条边的中部和两端各测量 1 次长度,取 3 次测量的平均值作为边长,计算出矩形面积作为实际面积^[16]。将每个纸片放在穴盘中心和边缘等 10 个不同位置,每个位置拍摄 10 幅图像,用以上 2 种方法分别计算出每幅图像中纸片的面积。以每种矩形纸片所拍摄的 100 幅图像面积的平均值作为其测

量面积。将测量面积和实际面积作最小二乘法线性拟合,得到直接统计像素点法的修正函数为 $Y=0.936\ 0X+0.875\ 0$,单连通区域法的修正函数为 $Y=1.006\ 3X+0.315\ 9$,其中 X 为测量面积, Y 为修正后面积。从表 3 中可看出,修正前 2 种测量方法的相对误差都比较大,修正后,直接统计像素法面积相对误差小于 1.4%,相对误差值平均下降了 78.7%;单连通区域法面积相对误差小于 1.0%,相对误差值平均下降了 87.6%。

表 3 直接统计像素点法和单连通区域法测量误差的校正

Table 3 Error correction for leaf area measurement by pixel statistics and simply connected region statistics

图像编号 Image No.	实际面积/cm ² Actual area	直接统计像素点法 Pixel statistics method			单连通区域法 Simply connected region method		
		测量面积/cm ² Measure area	相对误差/% Relative error	修正后误差/% Corrected value	测量面积/cm ² Measure area	相对误差/% Relative error	修正后误差/% Corrected value
1	6.26	5.84	−6.63	1.37	5.84	−6.63	−1.00
2	9.13	8.83	−3.31	0.08	8.83	−3.33	0.74
3	12.49	12.23	−2.08	−1.33	12.08	−3.21	−0.07
4	15.92	16.09	1.04	0.07	15.56	−2.30	0.30
5	20.15	20.66	2.53	0.31	19.67	−2.40	−0.22

2.6 幼苗抓取位置的计算

穴盘苗自动移栽作业时,在移栽机械手拟抓取的位置列表中,除了要去除未发芽、漏播的空穴孔,还可以根据穴盘中幼苗叶片面积,对不同作物、不同生长期的幼苗设定合适的阈值,去除叶面积过小不适合移栽的弱苗。

对于适合移栽作业的幼苗,通过各穴孔区域的二值图像,提取其叶面的形心位置,作为移栽机械手的抓取位置。对于穴盘中的任一穴孔区域 U ,设叶片覆盖区域为 C ,无叶片覆盖区域为 D ,则该穴孔中幼苗叶片形心坐标 (x_c, y_c) 可以根据式(5)~(7)计算得到。

$$f(x,y)=\begin{cases}1,(x,y)\in C,\\0,(x,y)\in D.\end{cases}\tag{5}$$

$$x_c=\sum_U xf(x,y)/\sum_U f(x,y).\tag{6}$$

$$y_c=\sum_U xf(x,y)/\sum_U f(x,y).\tag{7}$$

由上述方法确定的各穴孔中幼苗叶片形心位置在图 7 中用彩色圆点表示。该方法对于叶片未超出穴孔边界的幼苗可获得较高的抓取位置精度。育苗期较长的穴盘苗根系生长比较发达,可以将穴孔矩形的中心点作为移栽抓取位置。

3 讨论与结论

在对番茄穴盘幼苗图像进行灰度化处理过程

中,发现采用 $1.8G-1.5R-1.8B$ 超绿因子转换效果最好。分割后的番茄穴盘幼苗图像中存在散落在幼苗叶片之外的孤立噪声,比较了数学形态法与单连通区域统计法的去噪效果,结果显示,后者具有更好的去噪效果。去噪后的图像采用单连通区域法统计幼苗叶片面积,并用函数 $Y=1.006\ 3X+0.315\ 9$ 进行修正,相对误差小于 1.0%,相对误差值平均下降了 87.6%。应用形心法计算适合移栽幼苗叶片的形心坐标,可以确定移栽机械手的抓取位置。经试验验证,该机器视觉系统能够满足穴盘幼苗自动移栽作业的要求。

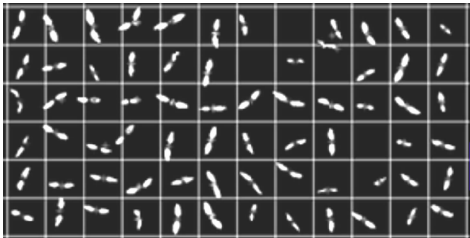


图 7 番茄穴盘幼苗的形心位置

Fig. 7 Centroid position of tomato plug seedling

试验中发现,对育苗期较长的番茄穴盘苗进行叶面积和抓取位置计算时会产生较大的误差,这是叶片重叠、越界、变形等因素所导致的,下一步应通过优化图像处理算法和机械手抓取方案以减小误差。

[参考文献]

- [1] 胡敏娟,尹文庆,胡 飞,等.穴盘苗自动取苗试验系统的研制[J].南京农业大学学报,2011(3):122-126.
Hu M J,Yin W Q,Hu F,et al. Development of test system for automatic pick-up plug seedlings [J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2011(3):122-126. (in Chinese)
- [2] 陈鼎才,王定成,查金水.基于机器视觉的现实叶片面积测量方法的研究[J].计算机应用,2006(5):1226-1228.
Chen D C,Wang D C,Zha J S. Research on measurement of realistic planting leaf area based on machine vision [J]. Journal of Computer Applications,2006(5):1226-1228. (in Chinese)
- [3] 张健钦,王 秀,龚建华,等.基于机器视觉技术的叶面积测量系统实现[J].自然科学进展,2004(11):97-102.
Zhang J Q,Wang X,Gong J H,et al. Implementation of leaf area measurement system based on machine vision [J]. Progress in Natural Science,2004(11):97-102. (in Chinese)
- [4] 柏军华,王克如,初振东,等.叶面积测定方法的比较研究[J].石河子大学学报:自然科学版,2005(2):216-218.
Bai J H,Wang K R,Chu Z D,et al. Comparative study on the measure methods of the leaf area [J]. Journal of Shihezi University:Natural Science,2005(2):216-218. (in Chinese)
- [5] Ryu K H,Kim G,Han J S. AE-Automation and emerging technologies: Development of a robotic transplanter for bedding plants [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001,78(2):141-146.
- [6] Ting K C,Giacomelli G A,Shen S J,et al. Robot workcell for transplanting of seedlings:Part I. Layout and materials flow [J]. Transactions of the ASAE,1990,33(3):1005-1010.
- [7] Ting K C,Giacomelli G A,Shen S J,et al. Robot workcell for transplanting of seedlings:Part II. End-effector development [J]. Transactions of the ASAE,1990,33(3):1013-1017.
- [8] 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(8):210-212.
Wang Y J,Zhang Y,Zhang S Y. Approach to measure plant leaf area based on image process [J]. Computer Engineering, 2006(8):210-212. (in Chinese)
- [9] Astrand B,Baerveldt A. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control [J]. Autonomous Robots,2002,13(1):21.
- [10] 张志斌,罗锡文,臧 英,等.基于颜色特征的绿色作物图像分割算法[J].农业工程学报,2011(7):183-189.
Zhang Z B,Luo X W,Zang Y,et al. Segmentation algorithm based on color feature for green crop plants [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011(7): 183-189. (in Chinese)
- [11] 孙国祥,汪小昆.穴盘苗叶面积测量系统的实现方法研究[J].计算机工程与应用,2009(36):232-234.
Sun G X,Wang X C. Measurement of nursery-leaf area based on imagery processing [J]. Computer Engineering and Applications,2009(36):232-234. (in Chinese)
- [12] 毛罕平,胡 波,张艳斌,等.杂草识别中颜色特征和阈值分割算法的优化[J].农业工程学报,2007(9):154-158.
Mao H P,Hu B,Zhang Y C,et al. Optimization of color index and threshold segmentation in weed recognition [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007 (9):154-158. (in Chinese)
- [13] 张香琴,方如明,汪 萍,等.家蚕微粒子病的图像识别技术研究[J].农业机械学报,2001(5):65-68.
Zhang X Q,Fang R M,Wang P,et al. Research on image recognition technique for pebrine in silkworm [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery,2001(5): 65-68. (in Chinese)
- [14] 吕小莲,吕小荣,张祖立.基于颜色特征的番茄图像分割算法的研究[J].农机化研究,2010(1):30-32.
Lü X L,Lü X R,Zhang Z L. Study on the segmentation algorithms of tomatoes image based on the color characteristics [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010 (1):30-32. (in Chinese)
- [15] 任 焱.基于机器视觉设施农业内移栽机器人的研究[D].杭州:浙江大学,2007.
Ren Y. Development of transplanting robot in facility agriculture based on machine vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University,2007. (in Chinese)
- [16] 张全法,常丽萍,王金翠,等.植物叶片面积的图像信息测量系统及方法[J].河南农业大学学报,2004(3):343-345.
Zhang Q F,Chang L P,Wang J C,et al. Image information determining system and method for plant leaf area [J]. Journal of Henan Agricultural University,2004(3):343-345. (in Chinese)