

利用单目视觉获取钵苗移栽适合度信息的方法

杨振宇^{1,2}, 张文强¹, 李伟^{1*}, 陈英¹, 宋鹏¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 山东理工大学机械工程学院, 淄博 255049)

摘要: 钵苗在穴盘中的生长状态各异, 钵苗移栽是育苗过程的关键环节。为提高移栽后钵苗成活率, 解决出苗不齐和断苗等问题, 需对被移栽钵苗的直立度和高度等适合度信息进行综合评价, 筛选出符合移栽要求的钵苗。图像采集系统中的顶杆能够顶起穴盘中的钵苗旋转 90°, 相机采集钵苗转动 90°前后 2 幅图像, 图像 RGB 各通道灰度值概率直方图存在灰度集中区域。首先, 采用 24 位 RGB 源图像转 8 位灰度图、中值滤波和灰度拉伸算法对图像进行预处理; 然后, 使用细化、水平膨胀和垂直腐蚀等图像处理算法, 获取钵苗主茎秆的特征; 最后, 采用标准差为 0.65 的 3×3 高斯模板 Harris 角点检测算法提取每株钵苗主茎秆上的关键点信息, 对其加权最小方差直线拟合获取拟合直线, 直线的斜率换算后作为钵苗直立度的判定值, 以每一株钵苗的全部角点 y 坐标最大差值的 110% 作为钵苗高度的判定值。只有钵苗的直立度和高度都满足各自评价指标要求才被认为适合移栽。试验获取了 12 幅图像共计 30 株辣椒钵苗在 0 和 90°位置的直立度和高度, 每幅图像处理算法平均耗时 0.35 s。按直立度 ($45^\circ < \alpha < 135^\circ$) 和高度 ($H > 105 \text{ mm}$) 评价指标判定, 5 株钵苗不适合移栽; 2 株钵苗的视觉检测结果与人工测量结果相反, 视觉检测结果与人工测量结果之间的偏差率为 6.67%。出现检测偏差的原因主要是钵苗叶对茎秆的遮挡和移栽机的振动使得钵苗在转动 90°的前后与顶杆的相对位置发生了变化影响了人工和视觉测量的精度。该方法能够满足钵苗移栽机实时筛选工作的需求。

关键词: 图像处理; 机器视觉; 图像识别; 钵苗移栽; 直立度; 高度; 角点检测

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.03.015

中图分类号: S126

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-03-0112-08

杨振宇, 张文强, 李伟, 等. 利用单目视觉获取钵苗移栽适合度信息的方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 112—119.

Yang Zhenyu, Zhang Wenqiang, Li Wei, et al. Information acquisition method of potted-seedling transplanting fitness using monocular vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 112—119. (in Chinese with English abstract)

0 引言

钵苗移栽是育苗过程的关键环节。在钵苗移栽过程中, 由于钵苗在钵盘里的生长状态各异, 如果不进行筛选后移栽作业, 容易出现部分钵苗移栽后出苗不齐和断苗等现象, 影响作物产量。钵苗的直立度和高度是评价钵苗移栽适合度的主要指标。钵苗直立度是指钵苗主茎秆与钵盘水平方向的夹角 α 。钵苗高度是指钵苗伸出土球的距离 H 。钵苗直立度评价指标为 $45^\circ < \alpha < 135^\circ$, 高度评价指标为 $H > 105 \text{ mm}$ ^[1]。根据钵苗适合度的评价指标, 筛选出

适合移栽的钵苗, 有利于解决上述问题。目前, 通常采用人工目测或使用简单仪器来测定钵苗直立度和高度, 这些方法受人为因素的影响较大, 工作量大, 产生的误差大, 且效率低。现代机器视觉技术已广泛应用于农林作业的检测^[2-3]、测量^[4-8]与识别^[9-12]的各个环节, 为提高钵苗移栽作业的劳动效率, 降低劳动强度, 国内外学者研发了多种自动移栽机^[13-16], 研究了机器视觉技术检测钵苗生长状态和判别是否适合移栽作业的方法^[17-23]。吕朝辉、沙玲等研究了双目立体视觉获取秧苗直立度的方法^[24-26], 但其视觉系统需要处理三维空间信息, 图像处理数据量大, 耗时长, 不易于应用推广。综合考虑钵苗直立度和高度提出一种判定钵苗移栽适合度的方法, 在选取合适的光照系统和相机标定后, 搭建图像采集系统, 通过对相机采集的钵苗绕铅垂方向转动 90°前后的 2 位置图像进行分析后, 首先将原 24 位 RGB 源图像转为 8 位灰度图, 采用中值滤波、线性变换和阈值变换对图像进行预处理; 然后对图像进行细化变换后采用水平膨胀和垂直腐蚀算法提取钵苗的主茎秆特征; 最后采用

收稿日期: 2013-07-25 修订日期: 2014-01-08

基金项目: 国家科技支撑计划子课题 (2012BAF07B02-03)、国家自然科学基金 (31071320) 和中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2013XJ005)

作者简介: 杨振宇 (1973—), 男, 博士生, 主要从事农业机器人和机器视觉方面的研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: 05338@163.com。

*通信作者: 李伟 (1956—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机器人和机器视觉方面的研究, 北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: liww@cau.edu.cn。

Harris 角点检测算法识别每株钵苗主茎秆上的特征点, 对相应每株钵苗特征点进行加权最小方差直线拟合, 根据拟合直线的斜率获取钵苗直立度值, 根据经验以相应每株钵苗的特征点 y 向最大差值的 110% 作为钵苗高度值。根据钵苗适合度的评价指标, 控制末端执行器抓取适合移栽的钵苗, 从而完成移栽钵苗的筛选。

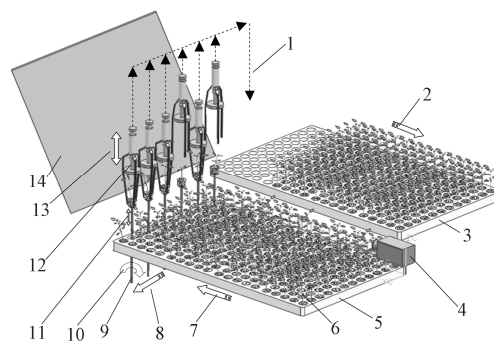
1 图像采集系统

钵苗移栽适合度信息获取系统由单目视觉系统和钵苗移栽试验台组成。单目视觉系统由 OK-AC1300 型外触发面阵彩色相机 (北京嘉恒中自)、焦距为 12.5 mm 的镜头 (Pentax 公司)、OK-RGB10B 采集卡 (北京嘉恒中自) 和双核 3.0 G 计算机组成。相机标定后^[27]固定在钵苗传送带前方 605 mm 处, 高度与钵苗平齐, 设定图像采集区域大小为 732×259 像素。钵苗移栽试验台由光照室、穴盘移动传送带、顶杆、末端执行器、横移机构、升降机构和背景板等部分组成。为使图像采集过程免受外界光照影响, 使用镀锌薄铁皮制作 1 个方形的光照室。光源采用发热少、扩散性好、功率为 36 W、光通量为 3 500 流明和色温为 4 000 K 的 4 支 F40BX/480 荧光灯 (GE) 在光照箱两侧间隔均匀平行安装, 以保证大面积光照均匀。在传送带的后方有 1 块约高于钵苗的灰白色背景板, 当钵苗的穴盘传送到行程传感器位置停止后, 为了能将苗盘内相邻 2 棵幼苗很好的有效分隔开, 钵盘孔下面对应的顶杆每间隔 1 株苗顶起需要采集图像的钵苗, 使得钵苗在相机的视场中, 然后在每棵钵苗转动 90° 的前后 2 个位置分别采集图像, 根据图像处理后获取的适合度信息筛选出符合适合度要求的钵苗, 末端执行器将其从源穴盘抓取到目标穴盘依次放置。源穴盘一行钵苗的一半处理完后, 顶杆整体移动穴盘的 1 个穴孔间隔距离后顶起另一半钵苗进行相同的处理, 最后在目标穴盘中都是适合度符合要求的钵苗。移栽适合度信息获取系统示意图如图 1 所示。

2 钵苗移栽适合度信息获取

2.1 样本图像获取与分析

试验样本图像在中国农业大学通州国际种业科技园试验基地采集获得, 品种为“黄贵人”的辣椒苗。试验中每间隔 1 棵钵苗顶起 1 棵钵苗, 1 次同时顶起 5 棵钵苗, 这时的位置称为 0 位置, 然后 5 棵钵苗同时转动 90° 的位置称为 90° 位置, 在 0 位置和 90° 位置分别采集 1 幅图像, 每幅图像从左往右按 1~5 顺序对钵苗进行编号, 采集的图像如图 2 所示。



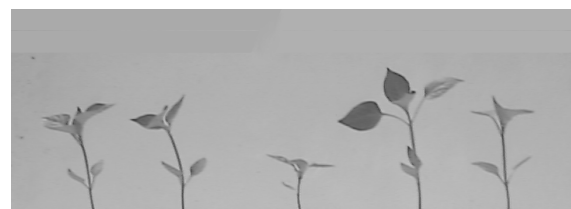
1. 末端执行器移钵移动方向 2. 目标穴盘移动方向 3. 目标穴盘 4. 相机 5. 源穴盘 6. 钵苗 7. 源穴盘移动方向 8. 顶杆水平移动方向 9. 顶杆 10. 顶杆旋转方向 11. 顶杆垂直移动方向 12. 末端执行器 13. 末端执行器的开合套筒移动方向 14. 背景板
1. Direction of potted-seedling is moved by end-effector 2. Target tray movement direction 3. Target tray 4. Camera 5. Source tray 6. Potted-seedling 7. Source tray movement direction 8. Push rod horizontal movement 9. Push rod 10. Push rod rotation direction 11. Push rod vertical movement direction 12. End-effector 13. Retractable sleeve movement direction of end-effector 14. Background board

图 1 移栽适合度信息获取系统示意图

Fig.1 System diagram of accessing to transplanting fitness information



a. 0 位置
a. 0 position



b. 90° 位置
b. 90° position

图 2 钵苗源图像

Fig.2 Potted-seedling source image

在农业非结构环境中去除图像背景提取作物特征所需设备昂贵且算法复杂^[28], 针对这种情况, 在作业环境允许的情况下, 采用灰白色背景板和光照均匀的 LED 光照箱相配合的方法采集图像, 通过对源图像 RGB 各通道灰度值进行分析, 灰度值集中在 165~185 之间, 从图 3 中可以看出, 钵苗 0 位置和 90° 位置的源图像 RGB 各通道灰度值概率分布的波谷交点区在 175 附近, 因此采用该灰度值作为图像预处理的分割阈值, 可有效的去除源图像的背景, 降低图像处理复杂度, 提高处理速度。

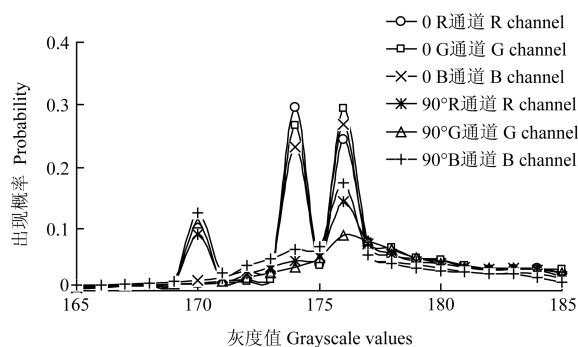


图3 钵苗源图像 RGB 通道灰度值概率分布图

Fig.3 Grayscale values probability distribution of RGB channel of potted-seedling source images

2.2 图像预处理

通过对钵苗源图像 RGB 通道灰度值概率分布图分析后, 样本图像预处理采用如下算法:

1) 为加快图像处理速度, 减少数据处理量。将 24 位 RGB 源图像转为 8 位灰度图。

2) 由于在采集图像的过程中可能存在的噪声点、源图像可能会存在曝光不足、图像灰度局限在 1 个小范围内和图像灰度层次不够等情况, 从而影响图像的清晰度, 出现其临近像素的灰度差异较大的情况。在不影响图像后续处理的基础上, 为了提高特征提取算法的冗余性, 使用 3×3 中值滤波器滤除图像中的噪声, 增强图像。

3) 使用 1 个斜率为 2 和截距为 -128 的线性单值函数 (1) 对源图像的灰度进行线性变换, 使得输出的图像在不同像素之间的灰度差变大, 增大了对比度, 提高了图像的整体质量。

$$g(x, y) = 2 \times f(x, y) - 128 \quad (1)$$

式中: $f(x, y)$ 为源图像灰度; $g(x, y)$ 为输出图像灰度。

4) 根据图像 RGB 各通道概率分布图的分析结果采用灰度值 175 作为图像分割的阈值, 去除源图像的背景。图像预处理结果如图 4 所示。

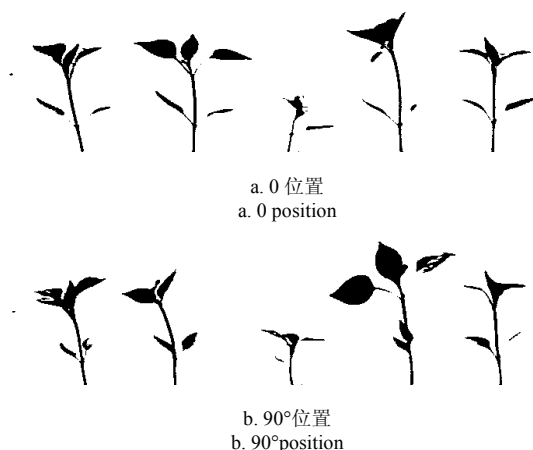


图4 图像预处理结果

Fig.4 Result of image pre-processed

2.3 钵苗主茎秆特征提取

为了能获取钵苗的直立度和高度信息, 特征提取希望去掉枝叶信息, 获取移栽钵苗的主茎秆信息, 从预处理的结果图像来看, 钵苗叶片的像素宽度比主茎秆宽, 且方向各异, 因此可采用细化、水平膨胀和垂直腐蚀的算法获取钵苗的主茎秆特征。

1) 为了让两者的像素宽度数量级接近, 对预处理后的图像进行细化变换, 变换后的结果图像如图 5 所示。

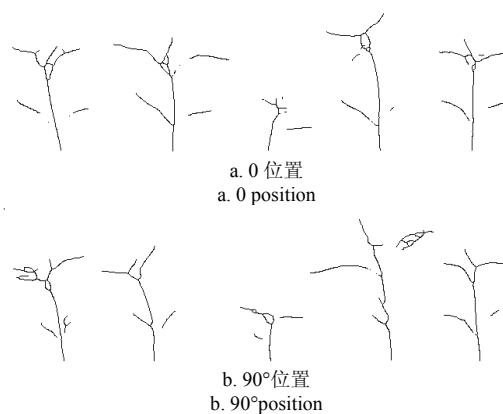


图5 图像细化结果

Fig.5 Result of image thinning

2) 在细化变换后的结果图像中, 枝叶连续单像素与水平方向的夹角小于主茎秆部分与水平方向的夹角, 采用结构元素 $S[5] = [0 \ 0 \ C \ 0 \ 0]$ 进行水平膨胀, 其中 C 为中心结构元素。这样可以将与水平方向夹角较大的主茎秆像素信息在水平方向得到扩充, 而枝叶像素信息扩充较弱, 有利于在后续的腐蚀算法中可以保护主茎秆的重要信息。

3) 在水平膨胀处理后, 为了获取主茎秆特征采用结构元素 $B[9] = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ X \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ 对膨胀后的图像进行垂直腐蚀变换, 其中 X 为中心结构元素。可以将枝叶部分的信息侵蚀掉, 而对主茎秆的信息影响小。主茎秆特征提取结果如图 6 所示。

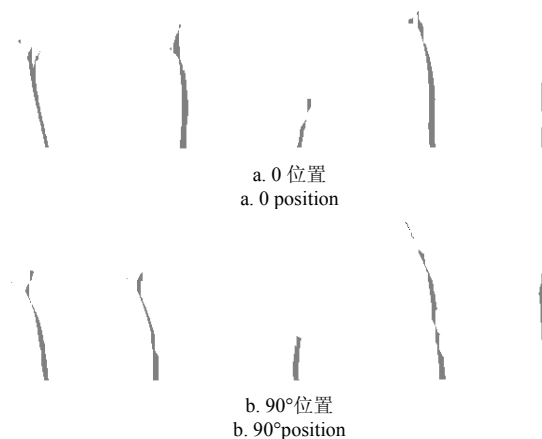


图6 主茎秆特征提取结果

Fig.6 Result of main stem feature extraction

2.4 钵苗移栽适合度信息获取

钵苗移栽适合度信息包括钵苗直立度和钵苗高度。在获取钵苗主茎秆特征后,可通过对主茎秆 Harris 角点的拟合直线获取斜率确定钵苗直立度,同时根据主茎秆 Harris 角点 y 坐标的最大差值的经验值确定钵苗高度。Harris 角点检测算法作为 1 种图像匹配的算法,存在算法时间长和检测结果不稳定等缺点。而在钵苗移栽直立度和高度信息获取的过程中,获取角点的要求不如图像匹配严格,只要主茎秆的顶部和底部有角点存在,其他区域存在 1 个以上角点就可以,且越少越好。因此对图像进行高斯滤波提高角点检测速度;采用单色背景板使源图像的背景干扰因素锐减,提高了 Harris 角点检测算法的稳定性;选择最佳响应函数的可调参数完成非最大化抑制。

钵苗移栽适合度信息获取算法过程如下:

1) 选用标准差为 0.65 的 3×3 高斯模板对图像进行高斯滤波后对每个像素估计其相互垂直 2 方向的梯度值:

$$\begin{cases} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = f(x+1,y) - f(x,y) \\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = f(x,y+1) - f(x,y) \end{cases} \quad (2)$$

2) 使用近似于导数的核函数 $f(x)$ 对图像像素的行列各做 1 次一维卷积。

$$f(x) = \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{x^2}{2\delta^2}} \quad (3)$$

式中: δ 为高斯正态分布方差或尺度空间因子。

3) 把卷积后同一行或同一列上的数据按一一加权求和后赋给中心元素,对每一个像素和给定的邻域窗口计算局部结构矩阵:

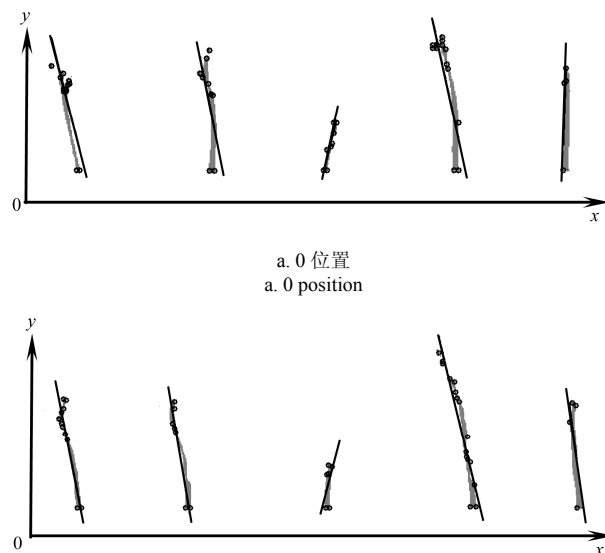
$$A(x,y) = \begin{bmatrix} \sum_{x_i \in W} \sum_{y_i \in W} \frac{\partial^2 f(x_i, y_i)}{\partial x^2} & \sum_{x_i \in W} \sum_{y_i \in W} \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} \\ \sum_{x_i \in W} \sum_{y_i \in W} \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} & \sum_{x_i \in W} \sum_{y_i \in W} \frac{\partial^2 f(x_i, y_i)}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: W 为二维灰度图像的 1 个图像块。

4) 计算其响应函数

$$R(A) = |A| - \kappa \cdot \text{tr}^2(A) \quad (5)$$

式中: $|A|$ 为局部结构矩阵 A 的行列式; $\text{tr}(A)$ 是局部结构矩阵 A 的迹; κ 为响应函数的可调参数, $\kappa=0.09$ 以选择最佳候选角点,完成非最大化抑制。目标区域特征角点的提取结果如图 7 所示。



注: 图中的点是钵苗主茎秆的角点; 直线是每株钵苗角点的拟合直线。
Note: Points is the corners of potted-seedlings stems, and line is the best-fit line of per potted-seedling corners in the illustration.

图 7 主茎秆角点检测结果
Fig.7 Result of main stem corners detection

5) 从图 7 中可知,每 1 株钵苗主茎秆的角点 x 坐标由于主茎秆的倾斜存在差值,但相邻 2 株钵苗之间的 x 坐标差值更大。因此,将整幅图像中所有角点排序, x 坐标差值大于 80 的相邻 2 个角点判定为 2 株钵苗的分界角点,分别属于 2 株钵苗。

6) 将每 1 株钵苗的全部角点信息坐标采用加权最小方差直线拟合获取拟合直线,拟合直线结果如图 7a、b 所示。拟合直线斜率的反正切函数值得到拟合直线与水平方向的夹角角度即为钵苗移栽时主茎秆与水平方向的夹角角度,用该角度作为钵苗直立度的判定值。为了能够区分钵苗主茎秆在图像中是向左还是向右倾斜,把 $45^\circ < \alpha < 135^\circ$ 作为适合移栽的直立度范围, $\alpha > 90^\circ$ 的钵苗判定为向左倾斜, $\alpha < 90^\circ$ 的钵苗判定为向右倾斜。

7) 将每一株钵苗的全部角点 y 坐标信息进行排序,求出最大差值。由于钵苗的枝叶在图像处理过程中被去掉,钵苗的实际高度无法检测到,根据试验后与人工测量钵苗高度的结果进行比较,选择角点最大差值的 110% 作为钵苗高度的经验值,用该值作为钵苗高度的判定值。

3 试验与结果分析

为验证该方法的检测精度和实时性,在中国农业大学通州国际种业科技园试验基地的钵苗移栽机上采集 12 幅“黄贵人”辣椒苗图像,每幅图像内有 5 株钵苗。每两幅图像为 1 组,分别是 5 株钵苗在 0 位置和 90°位置的图像。在图像采集的过程

中,先使用量角器人工测量钵苗的直立度,使用直尺人工测量钵苗伸出钵体的高度,并编号记录,然后采集图像。采集后的图像使用上述算法检测每株钵苗直立度和高度,只有同一株钵苗 0 位置和 90°

位置的直立度和高度均达到要求才被认为达到移栽适合度,将被末端执行器抓取后移栽。试验过程中处理 1 幅图像的算法平均耗时 0.35 s 左右。检测结果列于表 1 中。

表 1 钵苗移栽适合度试验结果与分析
Table 1 Test result and analysis of potted-seedling transplanting fitness

			人工测量 Manual measurement					本文方法 This method					平均 偏差 Average errors
			第 1 株 NO.1	第 2 株 NO.2	第 3 株 NO.3	第 4 株 NO.4	第 5 株 NO.5	第 1 株 NO.1	第 2 株 NO.2	第 3 株 NO.3	第 4 株 NO.4	第 5 株 NO.5	
第 1 组 钵苗 The first group of potted- Seedlings	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	99.7	98.4	76.5	102.9	89.1	104.4	101.7	75.8	102.6	87.9	1.2
		高度 Height/mm	151	143	79	179	141	146	148	76	188	136	0.2
	90°位置 图像 Image of 90° position	直立度 Perpendicularity/(°)	99.3	86.8	80.2	97.3	85.5	101.5	99.4	73.6	103.7	97.6	5.3
		高度 Height/mm	150	151	77	190	136	148	156	80	192	140	2.4
	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	72.3	67.3	99.6	80.7	110.3	75.5	80.5	110.1	78.7	103.5	3.6
		高度 Height/mm	132	123	145	139	151	135	132	140	145	147	1.8
第 2 组 钵苗 The second group of potted- seedlings	90°位置 图像 Image of 90° position	直立度 Perpendicularity/(°)	100.3	77.3	75.3	100.5	80.7	105.3	80.5	75.5	101.7	80.7	1.9
		高度 Height/mm	144	122	139	143	163	135	129	132	147	157	2.2
	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	110.3	75.6	105.4	106.5	40.5	108.9	82.5	105.5	100.4	36.5	0.9
		高度 Height/mm	106	126	137	109	91	111	123	139	92	78	5.2
第 3 组 钵苗 The third group of potted- seedlings	90°位置 图像 Image of 90° position	直立度 Perpendicularity/(°)	111.4	77.4	101.1	112.5	74.9	109.7	80.5	100.5	105.5	77.9	0.64
		高度 Height/mm	103	129	139	119	75	110	120	135	95	80	5
	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	79.9	69.5	115.6	67.7	98.9	78.5	69.5	117.9	69.9	98.5	0.5
		高度 Height/mm	143	113	85	115	153	147	116	60	112	156	3.6
第 4 组 钵苗 The forth group of potted- seedlings	90°位置 图像 Image of 90° position	直立度 Perpendicularity/(°)	82.8	71.9	117.3	66.4	100.9	83.9	71.1	115.5	70.4	99.9	0.3
		高度 Height/mm	139	115	80	110	150	146	117	78	114	154	3
	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	107.7	87.5	81.9	62.7	97.5	109.9	83.5	83.9	60.5	100.5	0.2
		高度 Height/mm	127	155	155	81	162	125	150	158	65	165	3.4
第 5 组 钵苗 The fifth group of potted- seedlings	90°位置 图像 Image of 90° position	直立度 Perpendicularity/(°)	105.7	86.5	82.9	61.2	99.5	108.7	82.5	83.5	59.3	101.7	0.02
		高度 Height/mm	129	158	159	80	160	122	152	155	73	166	3.6
	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	77.4	77.7	95.6	82.7	109.3	84.5	85.4	96.2	82.9	106.5	2.6
		高度 Height/mm	132	123	155	149	86	130	125	155	152	106	4.6
第 6 组 钵苗 The sixth group of potted- seedlings	90°位置 图像 Image of 90° position	直立度 Perpendicularity/(°)	75.5	76.6	96.6	80.8	113.3	75.0	75.5	96.5	81.2	111.2	0.68
		高度 Height/mm	130	120	160	153	91	132	123	156	150	105	2.4
	0 位置图像 Image of 0 position	直立度 Perpendicularity/(°)	77.4	77.7	95.6	82.7	109.3	84.5	85.4	96.2	82.9	106.5	2.6
		高度 Height/mm	132	123	155	149	86	130	125	155	152	106	4.6

注:钵苗直立度评价指标为 $45^\circ < \alpha < 135^\circ$,钵苗高度评价指标为 $H > 105\text{ mm}$, 0 位置和 90°位置的钵苗直立度和高度均满足评价指标要求的钵苗判定为符合移栽适合度^[1]。

Note: Evaluation index of potted-seedling perpendicularity is $45^\circ < \alpha < 135^\circ$, Evaluation index of potted-seedling height is $H > 105\text{ mm}$. Potted-seedling is determined to meet transplanting fit when its perpendicularity and its height meet the requirements of evaluation indexes in 0 position and 90°position^[1].

根据钵苗直立度评价指标,从表 1 中可以看出本文算法均判定第 1 组的第 3 株苗、第 3 组的第 4、

5 株苗、第 4 组的第 3 株苗和第 5 组的第 4 株苗未达到移栽适合度;其他的钵苗均达到移栽适合度。

然而,第3组第4株苗人工测量达到移栽适合度,第6组第5株苗人工测量未达到移栽适合度。如表1所示,第3组第4株苗和第6组第5株苗在0位置和90°位置的平均偏差和是所有图像中最大,且高度平均偏差大。30株目标钵苗中2株钵苗的人工测量结果与本文方法测量存在偏差,偏差率为6.67%。出现这种情况的原因有:在人工使用量角器和直尺测量钵苗的直立度和高度时,有些钵苗叶遮挡了测量所需的钵苗主茎秆关键位置,在手动移开遮挡叶时影响了测量精度;钵苗直立度和高度值介于移栽适合度判定临界值附近,在钵苗被顶起和旋转90°的过程中,由于振动或其他因素的作用下,钵苗的主茎秆位置发生了改变;直立度和高度的人工测量方法本身存在的误差。针对以上原因,在采用剪掉钵苗叶后进行检测测量和改善钵苗移栽试验台的防震措施后,人工测量和视觉判断偏差减小了9.1%左右。因此本文方法具有可行性和实时性,满足钵苗筛选移栽的要求。

4 结 论

1) 通过采用灰白色背景板、顶杆升起钵苗且做90°旋转和单相机采集钵苗图像信息的工作方式,减少了硬件成本,降低了图像处理的复杂度,提高了图像处理速度。

2) 根据移栽钵苗的特性,在图像细化后,采用水平1×5膨胀和垂直9×1腐蚀形态学图像处理相结合的算法提取钵苗主茎秆特征。

3) 采用标准差为0.65的3×3高斯模板的Harris角点检测算法获取钵苗主茎秆角点信息;根据所有角点在图像坐标系中相邻2角点 x 坐标的差值大小进行归属分类,对每株钵苗的所有角点进行加权最小方差直线拟合,根据拟合直线斜率的反正切函数值获取钵苗直立度;根据每株钵苗所有角点的 y 坐标最大差值的110%作为钵苗高度值。整个算法的平均用时0.35s左右,满足钵苗移栽机的实时筛选判定要求。

[参 考 文 献]

- [1] 封俊,顾世康,曾爱军,等. 导苗管式栽植机的试验研究(II)——栽植机的性能评价指标与检测方法[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 73—77.
Feng Jun, Gu Shikang, Zeng Aijun, et al. Study on transplanter with chute and seedling aid springs (Part II): Judging-targets system for transplanters[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1998, 14(2): 73—77. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王慧慧,孙永海,张婷婷,等. 鲜食玉米果穗外观品质分级的计算机视觉方法[J]. 农业机械学报, 2010,

41(8): 156—165.

Wang Huihui, Sun Yonghai, Zhang Tingting, et al. Appearance quality grading for fresh corn ear using computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 156—165. (in Chinese with English abstract)

- [3] 孙明,王一鸣,凌云,等. 基于色调的黄粒米检测方法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 78—81.
Sun Ming, Wang Yiming, Ling Yun, et al. A hue based detecting approach to yellow rice kernel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 78—81. (in Chinese with English abstract)
- [4] 胡天翔,郑加强,周宏平. 基于双目视觉的树木图像测距方法[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 158—162.
Hu Tianxiang, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping. Measurement method of depth information of tree images based on binocular vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 158—162. (in Chinese with English abstract)
- [5] 孙红,孙明,王一鸣. 植物生长机器视觉无损测量研究综述[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 181—184.
Sun Hong, Sun Ming, Wang Yiming. Status and trend of research on non-destructive measurement of plant growth based on machine vision[J]. Transactions of the CSAM, 2006, 37(6): 181—184. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(1): 154—157. (in Chinese with English abstract)
- [7] 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)
- [8] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(4): 155—158. (in Chinese with English abstract)
- [9] 毛罕平,吴雪梅,李萍萍. 基于计算机视觉的番茄缺素神经网络识别[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 106—

109.
Mao Hanping, Wu Xuemei, Li Pingping. Recognition of tomato nutrient deficiency using artificial neural network based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(8): 106—109. (in Chinese with English abstract)
- [10] 孙国祥, 汪小岳, 何国敏. 基于边缘链码信息的番茄苗重叠叶面分割算法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 206—211.
Sun Guoxiang, Wang Xiaochan, He Guomin. Segmentation algorithm of overlapping tomato seedling leaves based on edge chaincode information[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(12): 206—211. (in Chinese with English abstract)
- [11] 杨文柱, 李道亮, 魏新华, 等. 棉花异性纤维图像分割方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 156—160.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Toward image segmentation of foreign fibers in lint[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 156—160. (in Chinese with English abstract)
- [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): 76—79.
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): 76—79. (in Chinese with English abstract)
- [13] 范云翔, 杨子万, Adekola K A, 等. 温室全自动移栽机的研究开发[J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 111—115.
Fan Yunxiang, Yang Ziwang, Adekola K A, et al. Development of automatic transplanter in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1996, 12(2): 111—115. (in Chinese with English abstract)
- [14] 韩长杰, 杨宛章, 张学军. 自动移栽技术现状与分析[J]. 新疆农机化, 2011,(5): 5—6.
Han Changjie, Yang Wanzhang, Zhang Xuejun. Automatic transplanting technology current situation and analysis[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2011,(5): 5—6. (in Chinese with English abstract)
- [15] 于红松, 张铁中, 杨丽. 穴盘苗自动移栽机研究现状与发展前景[J]. 农业机械, 2008(20): 44—45.
Yu Hongsong, Zhang Tiezhong, Yang Li. Automatic transplanting machine research and development prospects[J]. Agricultural Machinery, 2008(20): 44—45. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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, 34(3): 122—126.
Hu Minjuan, Yin Wenqing, Hu Fei, et al. Development of test system for automatic pick-up plug seedlings[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(3): 122—126. (in Chinese with English abstract)
- [17] 蒋焕煜, 施经挥, 任焯, 等. 机器视觉在幼苗自动移钵作业中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 127—131.
Jiang Huanyu, Shi Jinghui, Ren Ye, et al. Application of machine vision on automatic seedling transplanting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 127—131 (in Chinese with English abstract)
- [18] Tai Y W, Ling P P, Ting K C. Machine vision assisted robotic seedling transplanting[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(2): 661—667.
- [19] Ting K C, Giacomelli G A, Shen S J, et al. Robot work cell for transplanting of seedlings. Part I: Layout and materials flow[J]. Transactions of the ASAE, 1990, 33(3): 1005—1010.
- [20] Ting K C. Robot workcell for transplanting of seedlings. Part II: end-effector development[J]. Transactions of the ASAE, 1990, 33(3): 1013—1017.
- [21] Ting K C, Yang Y A, Fang W. Stochastic modeling of robotic work cell for seeding plug transplanting[C]// ASAE PaperNo. 90-11539. Chicago, ASAE, 1990.
- [22] Ting K C, Giacomelli G A, Ling P P. Workability and productivity of robotic plug transplanting work cell[J]. Vitro Cell, 1992, 28(6): 5—10.
- [23] Albertus J V V. Multiple Transplanting Apparatus[P]. US, No.20040020110A1, 2004.
- [24] 吕朝辉, 陈晓光, 吴文福, 等. 基于双目立体视觉的秧苗直立度自动测定系统[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1): 60—62.
Lü Zhaohui, Chen Xiaoguang, Wu Wenfu, et al. Automatic measuring system of seedling perpendicularity based on binocular stereo vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(1): 60—62. (in Chinese with English abstract)
- [25] 吕朝辉, 陈晓光, 郑元杰, 等. 立体视觉技术在秧苗直立度测定中的应用[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 127—130.
Lü Zhaohui, Chen Xiaoguang, Wu Wenfu, et al. Application of three-dimensional vision technique in measuring seedling perpendicularity[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2001, 17(4): 127—130. (in Chinese with English abstract)
- [26] 沙玲, 吕朝辉. 移栽机栽植直立度自动测定系统[J]. 中国制造业信息化, 2004, 33(1): 111—113.
Sha Ling, Lü Zhaohui. The automatic measurement system of transplanter planting perpendicularity[J]. Manufacture Information Engineering of China, 2004, 33(1): 111—113. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李为民, 俞巧云, 刘超. 采用分离式差分标定靶的单摄像机标定方法[J]. 光学学报, 2006, 25(5): 697—701.

- Li Weimin, Yu Qiaoyun, Liu Chao. Calibration method with separation pattern of a single-camera based on difference coordinates[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 25(5): 697—701. (in Chinese with English abstract)
- [28] 袁挺, 张俊雄, 李伟, 等. 基于机器视觉的非结构环境下黄瓜目标特征识别[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(8): 170—174.
- Yuan Ting, Zhang Junxiong, Li Wei, et al. Feature acquisition of cucumber fruit in unstructured environment using machine vision[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(8): 170—174. (in Chinese with English abstract)

Information acquisition method of potted-seedling transplanting fitness using monocular vision

Yang Zhenyu^{1,2}, Zhang Wenqiang¹, Li Wei^{1*}, Chen Ying¹, Song Peng¹

(1. *College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;*

2. *School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China*)

Abstract: The potted-seedling growth state varies in the tray. Transplanting is the key in the nursery seedling process. In order to improve the survival rate of a transplanted potted-seedling, and solve the emergence problems such as seedlings growth, or irregular or broken seedlings, the fitness information of the perpendicularity and height of transplanted potted seedlings was comprehensively evaluated, and filtered out potted seedlings meeting the transplanting requirements. The potted-seedling jacked up by the push rod of the image acquisition system can be rotated 90°. A camera captured two images of the potted-seedling before and after it was rotated 90°. The gray-value probabilities histogram of the grayscale images RGB channels existing concentrated areas. At first, the image was pre-processed by 24-bit RGB source image converting to 8 bit grayscale algorithm, median filtering algorithm and gray stretching algorithm. Then, the trunk features of the potted-seedling were extracted by the image processing algorithms of thinning, horizontal expansion, and vertical erosion. Finally, the key points of every potted-seedling trunk were extracted by a Harris corner detection algorithm of 3×3 Gauss templates of the standard deviation was 0.65, and the fitting line was obtained by the weighted least-squares linear fitting with the key points, and the converted line slope was used as the identification parameter of the potted-seedling upright, and found out the maximum y-coordinate difference of all corners coordinates in each strain of potted-seedling, 110% of the difference was used as the identification parameters of the potted-seedling height. The perpendicularity and height of potted-seedlings had to meet evaluation requirements before being considered suitable for transplant. The perpendicularity and height of 30 strains of a pepper potted-seedling in twelve images were distinguished by machine vision technology at the 0 and 90° position, and the average time consuming of each image being processed was 0.35 s. According to evaluating indicators of the perpendicularity ($45^\circ < \alpha < 135^\circ$) and height ($H > 105$ mm), it was determined that five potted-seedlings were suitable for transplanting, and wherein the measurement results of two potted-seedlings were converse using the vision measurement method or the manual measuring method. The error rate was 6.67% between the machine vision recognition results and the manual measurement results. The main reason for the deviation was that the manual measuring accuracy was affected by the leaves of the potted-seedlings obscuring the stems and the vibrations of the transplanting machine causing location changes during the process of rotating 90°.

Key words: image processing; machine vision; image recognition; potted-seedling transplanting; perpendicularity; height; corner detection

(责任编辑: 刘丽英)