

基于机器视觉的嫁接用苗外观特征自动检测^{*}

崔永杰 王霞霞 徐立青 陈同 李少华 傅隆生

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 提出了基于数学模型的幼苗外观特征自动检测方法,检测项目包括生长状态、子叶参数和胚轴参数。首先经过图像预处理提取幼苗二值图,利用行像素统计图确定特征参数基准点位置。然后以标定胚轴最小矩形倾斜度和宽度判定弯曲状态;子叶跨度通过两子叶端点距离确定,子叶展开角通过两子叶底端平展位置拟合线夹角判定;胚轴弯曲度通过胚轴中心线上曲率最大的位置为分界点分别判断两段斜度而求得,胚轴长、轴径结合斜度补偿求得。与手工测量数据对比,轴长、轴径和子叶跨度的相关系数分别为 0.935 1、0.899 9 和 0.903 4,相对误差分别小于 7%、5% 和 7%,绝对误差分别小于 4 mm、0.2 mm 和 6 mm。

关键词: 嫁接用苗 机器视觉 外观特征参数 数学模型 自动检测

中图分类号: S339.4⁺5; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0089-07

引言

实现嫁接苗生产的自动化过程中,幼苗外观特征是关键因素之一。无损检测幼苗生长状况并进行环境调节是培育标准化幼苗的关键。机器视觉在农作物上应用比较广泛^[1-4],近期猕猴桃识别及特征提取^[5]、蔬果形状特征提取^[6]、樱桃外径检测^[7]等方面取得了较好成果。国内外针对无损监测农作物特征及长势的研究都比较多^[8-19],但是对于嫁接用苗的具体多项参数提取研究较少。

实际应用中为培育标准嫁接用苗,自主研发了包括自动检测嫁接用苗外观特征装置的人工环境控制箱(容积 2 000 L,内部尺寸 2 305 mm × 705 mm × 1 145 mm)。本文结合嫁接用苗条件,研究基于上述装置的幼苗多项外观特征自动检测方法。

1 实验材料与设备

1.1 实验材料

研究对象为京欣 6 号(黄瓜专用砧木),2013 年 10 月 25 日催芽,10 月 27 日种于陕西省杨陵区西北农林科技大学新天地设施农业示范区连栋日光温室中。图像采集于 11 月 3 日,幼苗生长到 4 ~ 6 cm 时。由于环境因素及温室幼苗管理因素的影响,会产生幼苗个体之间的差异,为了便于图像处理将其分为 3 类:直立生长、斜直生长和弯曲生长。本文采集 100 个样本进行实验,其中 34 株为直立幼苗,

21 株为斜直幼苗,45 株为弯曲幼苗。

1.2 图像采集方法及处理软件

采集环境为白天自然光照条件,图像采集设备为索尼 DSC-T900 型相机,图像格式 jpg,图像分辨率为 640 像素 × 480 像素。镜头距离目标 15 cm,采集过程中正对子叶开展的方向,如图 1a 所示。为了简化背景,本文对单株幼苗外观特征提取时,幼苗背景放置一个白板,穴盘上幼苗根部放置一个厚 2 mm 的黑色小挡条。选用 Matlab 7.0 软件对采集的图片进行处理,处理界面如图 1b 所示。

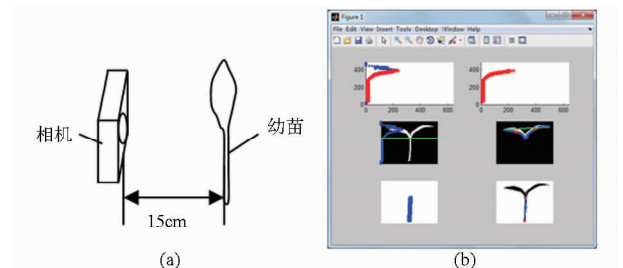


图 1 图像采集方法及处理界面

Fig. 1 Image acquisition schematic and processing interface

(a) 图像采集方法 (b) 图像处理界面

2 图像处理方法

令 β 为最小矩形的倾斜度($0^\circ < \beta < 90^\circ$), a 为矩形宽度, N_{\max} 为目标由下往上 50 行像素数最大值^[20], L_1 为弯曲胚轴曲率最大位置以上中心线长度, L_2 为弯曲胚轴曲率最大位置以下中心线长度,

θ_1 为弯曲胚轴曲率最大位置以上中心线倾斜度, θ_2 为弯曲胚轴曲率最大位置以下中心线倾斜度, y_1 为所取线段的 y 轴坐标, y_m 为曲率最大位置的 y 轴坐标。图像处理流程如图2所示。

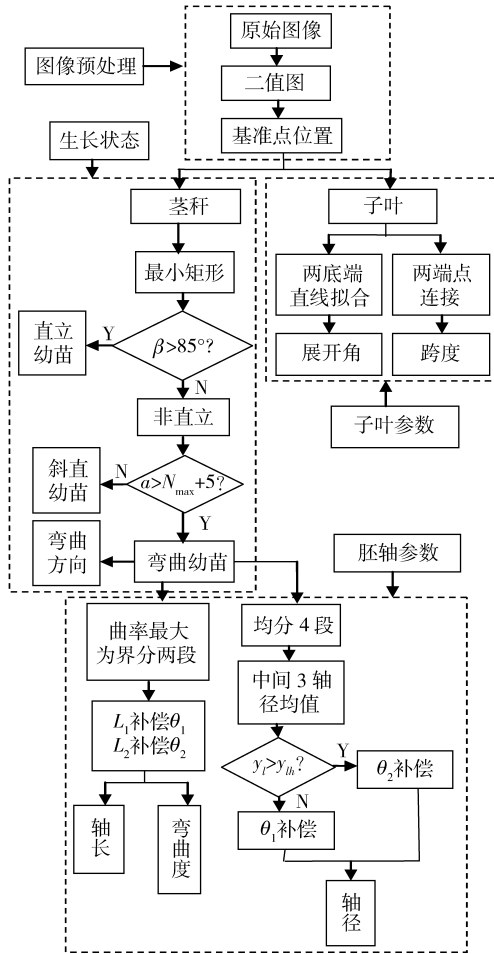


图2 图像处理流程图

Fig. 2 Flowchart of image processing

具体处理方法如下:

图像预处理,将原始图像二值化处理。通过扫描统计利用指定范围取点法提取外观特征参数的基准点位置^[20]。然后以基准位置为分界点,将幼苗分为子叶和胚轴。

生长状态,通过对胚轴最小矩形倾角和宽度判定,确定幼苗为直立、斜直还是弯曲及弯曲方向。

子叶参数,通过两子叶底端直线夹角提取展开角,连接两端点提取子叶跨度。

胚轴参数,将基准行与幼苗最底端之间的下胚轴平均分为4段,取中间3个等分线的补偿均值作为幼苗的轴径。求取胚轴曲率最大中心点位置,将胚轴分2段分别求弯曲度。基准行与最底端之间角度补偿后的距离为胚轴长度。

2.1 图像预处理及基准点位置判定

由王霞霞等^[20]前期基础研究可知,提取幼苗二

值图像,并利用指定范围取点($N_{\max} + 3$)提取接近胚轴与子叶连接节点处位置作为外观特征基准点的位置,与手工对比产生的误差低于2 mm。原始图和判定的基准点位置,如图3所示。

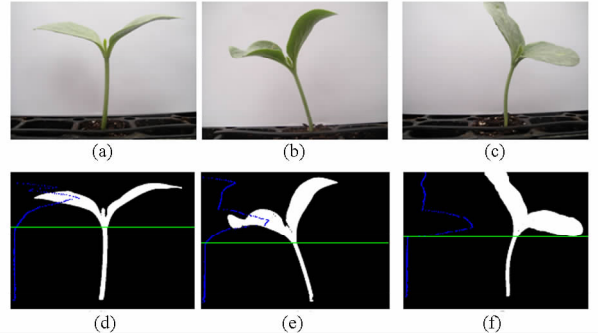


图3 幼苗原始图及基准点提取位置图

Fig. 3 Original image and extraction of reference point image of seedlings

(a) 直立原始图 (b) 斜直原始图 (c) 弯曲原始图

(d) 直立基准位置图 (e) 斜直基准位置图 (f) 弯曲基准位置图

2.2 幼苗生长状态及外观特征参数获取

辜松等^[21]设计的插接式嫁接机嫁接成功率的影响因素主要为砧木子叶开角和接穗形态,姜凯等^[22]研制的嫁接机和杨丽等^[23]设计的双臂蔬菜嫁接机对嫁接用苗胚轴径、胚轴长、子叶开角、胚轴倾角等参数提出了要求。结合嫁接装备及嫁接对标准苗外观特征参数的要求,本文提出的外观特征参数主要包括:子叶展开角、子叶跨度、胚轴长度、轴径、胚轴弯曲方向和弯曲度。

2.2.1 幼苗生长状态的自动判定

为了自动判定幼苗直立度、弯曲方向等生长状态,以胚轴为对象进行分析,以基准点位置为分界点,对幼苗胚轴部分进行最小矩形的标定,以胚轴部分的最小矩形长轴的倾斜角度 β 和矩形宽度 a (单位为像素)进行判断:

(1) 若倾斜角度为负值且绝对值小于 85° ,幼苗左偏,反之则右偏。

(2) 若最小矩形长轴的倾斜角度绝对值大于 85° 且短轴长度小于胚轴部分行像素数最大值加5的为直立幼苗;矩形长轴倾斜角度绝对值小于 85° 且短轴长度小于胚轴部分行像素数最大值加5的为斜直幼苗。

(3) 不符合以上两种情况的为弯曲幼苗。

角度判定不仅可以判定幼苗的生长状态,还可以判定胚轴弯曲方向。标定最小矩形的胚轴如图4所示。

2.2.2 幼苗子叶展开角及子叶跨度的提取

子叶跨度 L_s 为子叶底部两端点之间的距离,子叶展开角 θ_{L_s} 为两子叶平展部位的夹角。由于自然

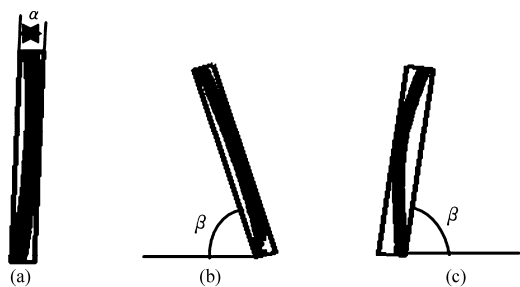


图 4 标定最小矩形胚轴

Fig. 4 Calibration of the minimum bounding of hypocotyls

(a) 直立胚轴 (b) 斜直胚轴 (c) 弯曲胚轴

条件下子叶生长的不均匀性,直线拟合时一般选择子叶平展度较好的部位。求取 3 种生长状态的幼苗子叶展开角时,可以先提取基准以上子叶部分下端像素坐标值,并绘制行像素坐标的散点图,为了消除胚轴部分的影响,研究中采用单个子叶底部端点与对应基准行端点之间距离 L_s 的 1/2 处向内靠近的 40 个行像素数据进行直线拟合求斜率 k 。前期基础研究选取 30、40、50 个行像素进行直线拟合对比表明:选择 30 像素,子叶拟合线段距离太短,影响直线拟合的精度;选择 50 像素,子叶基准位置靠近胚轴部分,拟合的直线偏离子叶平展位置;选择 40 像素数据进行直线拟合,效果相对较好。应用两直线夹角公式求取子叶展开角 θ_{LA} 和子叶拟合线的斜率,公式为

$$\tan\theta_{LA} = (k_L - k_R) / (1 + k_L k_R) \quad (1)$$

$$k = \frac{y_0 - y_1}{x_0 - x_1} \quad (2)$$

式中 k_L ——左侧子叶拟合线斜率

k_R ——右侧子叶拟合线斜率

k ——拟合线段斜率

(x_0, y_0) 、 (x_1, y_1) ——拟合线段两端点坐标

图像扫描方式由上到下, y 轴与正常二维图坐标方向相反,为便于观察绘制子叶底端像素坐标散点图,其形状与原图像子叶底端形状特征一致。以直立幼苗为例进行子叶展开角与跨度的求取,其他状态子叶参数求取方式相同。子叶与对应底端像素坐标散点图如图 5 所示。

2.2.3 幼苗胚轴长度和弯曲度提取

以弯曲幼苗为例进行胚轴长度和弯曲度的提取。由于胚轴有一定的轴径,因此以胚轴的中心线为分析对象。连接基准点位置中心坐标 (x_0, y_0) 与胚轴底端中心坐标 (x_1, y_1) 之间的线段为 L ,判定胚轴中心线上的点到 L 距离最大的位置坐标,即胚轴曲率最大的中心点位置坐标 (x, y) 。曲率最大中心点到直线的最大距离公式为

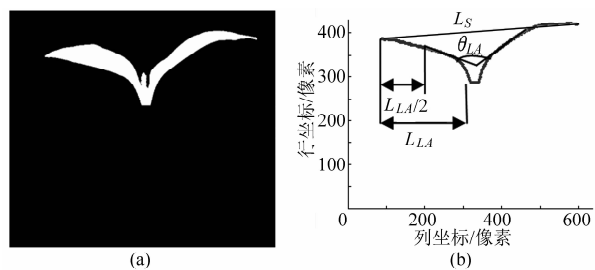


图 5 子叶参数提取过程图

Fig. 5 Images of extraction of cotyledons exterior features

(a) 子叶二值图 (b) 子叶参数示意图

$$d_{\max} = \frac{kx + y_1 - y - kx_1}{\sqrt{1 + k^2}} \quad (3)$$

胚轴长度补偿为

$$H_{AC} = L_1 / \sin\theta_1 + L_2 / \sin\theta_2 \quad (4)$$

式中 θ_1 、 θ_2 ——上、下段胚轴倾角

θ ——斜直胚轴倾角

幼苗胚轴长度及弯曲度提取方法及示意图如图 6 所示。 θ_1 、 θ_2 和 θ 的范围均在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

根据 L_1 和 L_2 与水平方向的夹角判定幼苗的弯曲方向和弯曲度。对于直立幼苗和斜直幼苗 θ_1 和 θ_2 存在一定的特殊性:直立幼苗为 $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$;斜直幼苗为 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 。直立幼苗和斜直幼苗胚轴长度求取如图 6c、6d 所示。

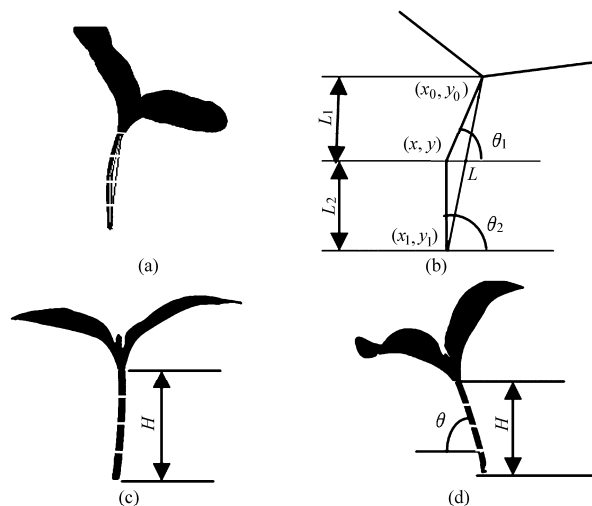


图 6 轴长和弯曲度提取过程及其示意图

Fig. 6 Schematic diagram of length and curvature extraction of hypocotyls

(a) 弯曲幼苗图 (b) 示意图 (c) 直立幼苗图 (d) 斜直幼苗图

2.2.4 幼苗轴径提取

3 种生长状态轴径求取方法如图 7 所示。为提高幼苗轴径测量的准确度,把胚轴在垂直方向等分为 4 段,将水平方向的 3 个等分线 l_1 、 l_2 和 l_3 分别在轴径方向上进行斜度补偿,幼苗轴径为补偿后的实际轴径 d_1 、 d_2 和 d_3 的均值。具体补偿方法根据 l_1 、 l_2 和 l_3 与最大曲率位置之间关系来确定。如线段 l_1 行像素坐标小于最

大曲率位置行像素坐标 y , 选取最大曲率位置行像素坐标 y 上方的水平轴径 l_u , 其大小为 l_1 , 补偿角度为 θ_1 , 否则选取最大曲率位置行像素坐标 y 下方的水平轴径 l_d , 其大小为 l_1 , 补偿角度为 θ_2 。 l_2 与 l_3 的补偿方法与上述 l_1 相同。对于特殊情况的直立幼苗和斜直幼苗, 轴径三线段的补偿角度分别为 90° 和 θ 。

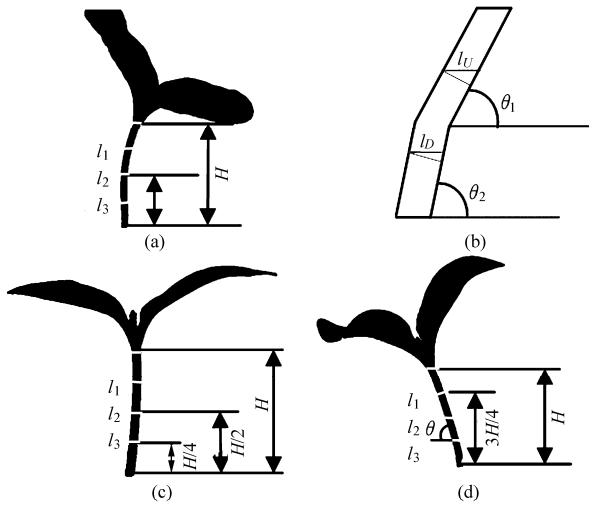


图7 轴径提取方法图

Fig. 7 Extraction image of hypocotyls diameter

(a) 弯曲幼苗图 (b) 示意图 (c) 直立幼苗图 (d) 斜直幼苗图

胚轴实际轴径 D 计算式为

$$d_n = l_u \sin \theta_1 \text{ 或 } d_n = l_d \sin \theta_2 \quad (n = 1, 2, 3) \quad (5)$$

$$D = (d_1 + d_2 + d_3) / 3 \quad (6)$$

3 结果与讨论

3.1 成功率

利用直尺手工测量幼苗轴长和子叶跨度。轴长为子叶与胚轴连接位置与挡条间的距离, 此位置可视。子叶跨度为正对子叶展开角方向进行两子叶端点间距离测量。利用电子游标卡尺测量轴径, 将胚轴均分4段, 测量中间3个均分位置轴径。针对子叶跨度、轴长、轴径3个数据进行人工与图像测量的数值对比, 对于幼苗弯曲方向及弯曲度、子叶展开角提出图像测量方法并在图像上标定位置。

100幅幼苗图像中81幅图像针对子叶跨度、轴长、轴径3个参数的提取结果与手工测量较吻合, 其他19幅图像特征参数提取失败。原因是由于环境因素造成的弯曲率过大等生长状态不符合嫁接条件, 嫁接过程中应予以剔除。因此本方法适用于自动化嫁接装备。

随机抽取3幅特征参数提取成功的不同类型幼苗图像, 样本轴长、轴径、子叶跨度、子叶展开角、弯曲方向和弯曲度等参数提取结果如表1所示。

图8、9列举了直立、斜直、弯曲3种生长状态幼苗的原始图、基准点位置图和参数求取示意图。基

表1 参数提取结果

Tab. 1 Results of parameter extraction

参数	直立幼苗	斜直幼苗	弯曲幼苗
轴长/mm	48.00	56.36	61.90
轴径/mm	2.45	2.27	2.21
子叶跨度/mm	46.00	69.40	74.13
子叶展开角/(°)	70.0	155.6	124.3
弯曲方向	直立	偏左斜直	偏左弯曲
弯曲度/(°)	86.10	74.97	60.73/51.06(上/下)

准点位置和特征参数都可以标定到理想的位置, 同时针对3种生长状态可以测量出对应的特征参数值。利用本文提出的基于数学模型的自动检测方法, 用 toc 语句对81个样本图像进行从图像输入到数据输出的程序用时统计, 其中省略图像显示语句。用时最多为0.948 s, 最少为0.811 s, 平均用时0.895 s, 方法实时性满足预期结果。

3.2 精度

图10为81幅图像的轴长、轴径和子叶跨度3个参数图像测量值与手工测量值的结果关系。

胚轴长直接影响嫁接装备中, 不同工艺装置之间的衔接及嫁接成功率。从图10a可见, 轴长图像测量值与手工测量值之间的绝对误差小于4 mm, 相对误差小于7%。两组数据的相关系数为0.935 1。拟合后的模型解析式为 $y = 0.996 4x + 0.458 6$ 。

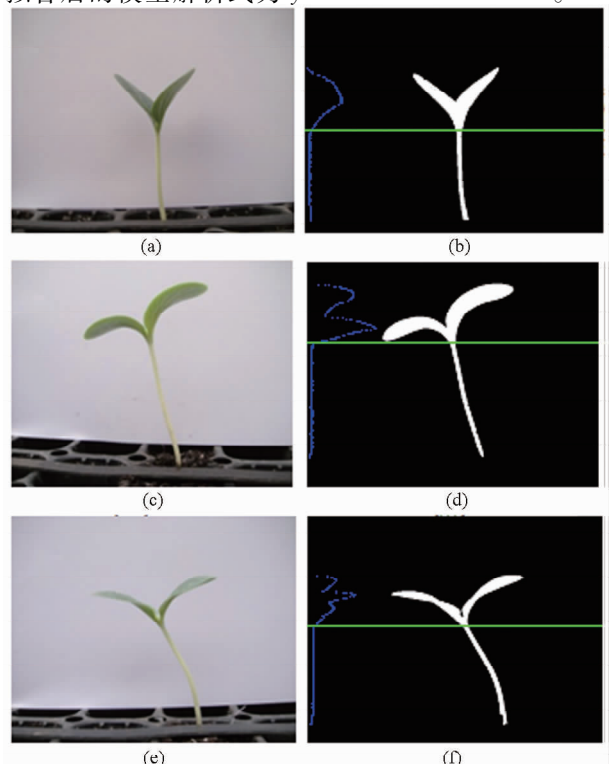


图8 图像处理结果

Fig. 8 Results of image processing

(a) 直立原始图 (b) 直立基准位置图 (c) 斜直原始图 (d) 斜直基准位置图 (e) 弯曲原始图 (f) 弯曲基准位置图

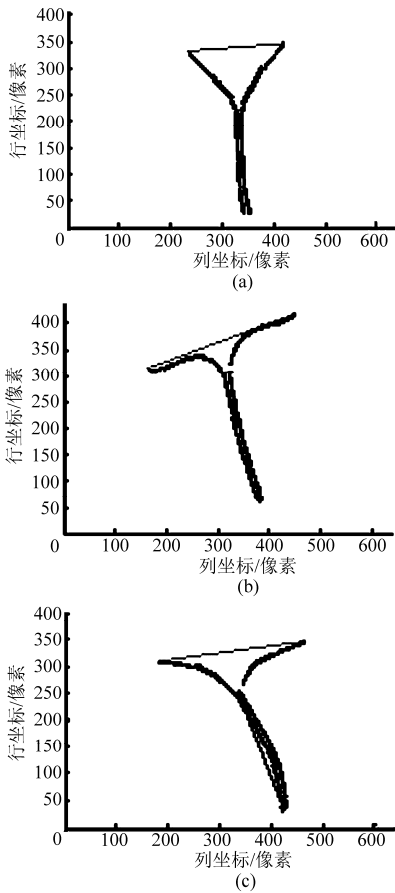


图 9 图像参数求取示意图

Fig.9 Obtain of image parameter

(a) 直立参数图 (b) 斜直参数图 (c) 弯曲参数图

轴径影响嫁接贴合效果、栽植效果及成活率。从图 10b 可见,轴径图像测量值与手工测量值之间的绝对误差小于 0.2 mm,相对误差小于 5%。两组数据的相关系数 0.899 9。拟合后的模型解析式为 $y = 1.19x - 0.445$ 。

子叶跨度影响子叶自动调向及嫁接成功率。从图 10c 可见,子叶跨度图像测量值与手工测量值之间的绝对误差小于 6 mm,相对误差小于 7%。两组数据的相关系数为 0.903 4。拟合后的模型解析式为 $y = 1.034x - 2.932$ 。

3.3 失败率

3 组实验结果对比图显示图像处理值与手工测

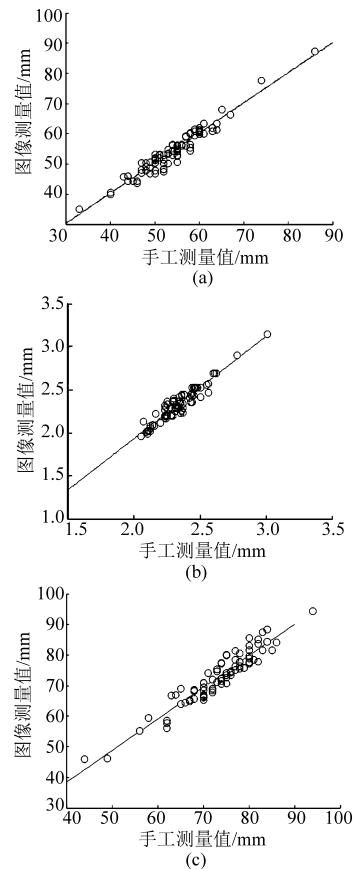


图 10 手工测量值与图像测量值关系

Fig.10 Relationship between parameter values measured manually and detected by image processing method

(a) 轴长 (b) 轴径 (c) 子叶跨度

量值较为吻合,但也存在一定的误差。因手工测量本身存在一定的误差,且图像处理过程中不同图像生长状态不同,腐蚀膨胀等处理会影响像素的计算结果,导致图像处理与手工测量存在一定误差。弯曲度过大的幼苗提取过程中子叶偏低使基准点位置确定存在误差,对轴长提取有一定影响。图 11 为当幼苗弯曲度过大、子叶偏斜严重时未能准确提取外观特征参数示意图。

4 结论

(1) 提出了一种基于数学模型提取幼苗弯曲方向、子叶夹角、子叶跨度、轴长、轴径及弯曲度等外观

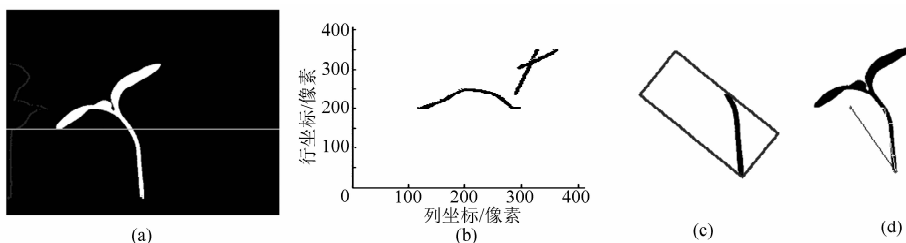


图 11 参数提取失败示意图

Fig.11 Image of a failed extraction of external features

(a) 基准位置图 (b) 子叶参数图 (c) 胚轴图 (d) 胚轴参数图

特征参数的自动检测方法。

(2) 通过与手工测量的数据对比,轴长、轴径、子叶跨度的相关系数分别为 0.935 1、0.899 9 和

0.903 4,相对误差分别小于 7%、5% 和 7%,绝对误差分别小于 4 mm、0.2 mm 和 6 mm。图像测量值与手工测量值较为吻合。

参 考 文 献

- 1 吴琼,朱大洲,王成,等. 农作物苗期长势无损监测技术研究进展[J]. 农业工程,2011,1(4):19-25.
Wu Qiong,Zhu Dazhou,Wang Cheng,et al. Research progress of crop seedling growth non-destructive monitoring technology[J]. Agricultural Engineering,2011,1(4):19-25. (in Chinese)
- 2 李长缨,滕光辉,赵春江,等. 利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J]. 农业工程学报,2003,19(3):140-143.
Li Changying,Teng Guanghui,Zhao Chunjiang,et al. Development of non-contact measurement on plant growth in greenhouse using computer vision[J]. Transactions of the CSAE,2003,19(3):140-143. (in Chinese)
- 3 何东健,张海亮,宁纪锋,等. 农业自动化领域中计算机视觉技术的应用[J]. 农业工程学报,2002,18(2):171-175.
He Dongjian,Zhang Hailiang,Ning Jifeng,et al. Application of computer vision technique to automatic production in agriculture[J]. Transactions of the CSAE,2002,18(2):171-175. (in Chinese)
- 4 李晓斌,郭玉明. 机器视觉高精度测量技术在农业工程中的应用[J]. 农机化研究,2012(5):7-11.
Li Xiaobin,Guo Yuming. Application of high accuracy measurement technology in agricultural engineering based on machine vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2012(5):7-11. (in Chinese)
- 5 崔永杰,苏帅,王霞霞,等. 基于机器视觉的自然环境中猕猴桃识别与特征提取[J]. 农业机械学报,2013,44(5):247-252.
Cui Yongjie,Su Shuai,Wang Xiaxia,et al. Recognition and feature extraction of kiwifruit in natural environment based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(5):247-252. (in Chinese)
- 6 李长勇,曹其新. 基于深度图像的蔬果形状特征提取[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):242-245.
Li Changyong,Cao Qixin. Extraction method of shape feature for vegetables based on depth image[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(Supp.):242-245. (in Chinese)
- 7 王辉,雷雨春,康峰,等. 基于机器视觉的樱桃外径检测[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):246-249.
Wang Hui,Lei Yuchun,Kang Feng,et al. Size detection for cherry fruit based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(Supp.):246-249. (in Chinese)
- 8 马稚显,清水浩,辜松. 基于机器视觉的菊花生长自动无损监测技术[J]. 农业工程学报,2010,26(9):203-209.
Ma Zhiyu,Hiroshi Shimizu,Gu Song. Non-destructive measurement system for plant growth information based on machine vision[J]. Transactions of the CSAE,2010,26(9):203-209. (in Chinese)
- 9 曾庆兵,刘成良,苗玉彬,等. 基于计算机视觉的葡萄茎直径高精度测量方法[J]. 农业机械学报,2009,40(12):182-185.
Zeng Qingbing,Liu Chengliang,Miao Yubin,et al. High accuracy measurement of grape stem diameter based on computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(12):182-185. (in Chinese)
- 10 王传宇,赵明,阎建河. 基于双目立体视觉的苗期玉米株形测量[J]. 农业机械学报,2009,40(5):145-148.
Wang Chuanyu,Zhao Ming,Yan Jianhe. Measurement of maize seedling morphological traits based on binocular stereovision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(5):145-148. (in Chinese)
- 11 Moreda G P, Munoz M A, Ruiz A, et al. Shape determination of horticultural produce using two-dimensional computer vision—a review[J]. Journal of Food Engineering,2012,108(2):245-261.
- 12 Chong V K, Kondo N, Ninomiya K, et al. Features extraction for eggplant fruit grading system using machine vision[J]. Applied Engineering in Agriculture,2008,24(5):675-684.
- 13 Chiu Y C, Chang M Y, Wu G J, et al. Development of an automatic outward-feature properties measurement system for grafted tomato seedlings[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008,24(1):101-113.
- 14 刘凯,辜松. 基于机器视觉的嫁接苗识别研究[J]. 农机化研究,2009(11):46-48.
Liu Kai,Gu Song. The research on identification of seedling based on machine vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2009(11):46-48. (in Chinese)
- 15 吕谷来,李建平,李镛,等. 基于机器视觉的砧木定位识别方法[J]. 浙江大学学报:工学版,2011,45(10):1766-1770.
Lü Gulai,Li Jianping,Li Qiang,et al. Method for rootstock position recognition based on machine vision[J]. Journal of Zhejiang University:Engineering Science,2011,45(10):1766-1770. (in Chinese)
- 16 陈晓光,于海业,周云山,等. 应用图像处理技术进行蔬菜苗特征量识别[J]. 农业工程学报,1995,11(4):23-26.
Chen Xiaoguang,Yu Haiye,Zhou Yunshan, et al. Identifying characteristics of vegetable seedlings by using image processing technology[J]. Transactions of the CSAE,1995,11(4):23-26. (in Chinese)
- 17 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 Chaohui,Chen Xiaoguang,Zheng Yuanjie,et al. Application of three-dimensional vision technique in measuring seedling perpendicularity[J]. Transactions of the CSAE,2001,17(4):127-130. (in Chinese)
- 18 毕昆,姜盼,李磊,等. 基于形态学图像处理的麦穗形态特征无损测量[J]. 农业工程学报,2010,26(12):212-216.
Bi Kun,Jiang Pan,Li Lei,et al. Non-destructive measurement of wheat spike characteristics based on morphological image

- processing[J]. Transactions of the CSAE,2010,26(12):212-216. (in Chinese)
- 19 Ashraf M A, Kondo N, Shiigi T. Use of machine vision to sort tomato seedlings for grafting robot[J]. Engineering in Agriculture, Environment and Food,2011,4(4):119-125.
- 20 王霞霞,田玉凤,余伟芬,等.南瓜幼苗外观特征基准点位置提取方法的研究[C]//中国农业工程学会2013年学术年会,镇江,2013.
- 21 辜松,刘宝伟,王希英,等.2JC-500型自动嫁接机西瓜苗嫁接效果生产试验[J].农业工程学报,2008,24(12):84-88.
Gu Song, Liu Baowei, Wang Xiying, et al. Production test of 2JC-500 automatic grafting machine for watermelon[J]. Transactions of the CSAE,2008,24(12):84-88. (in Chinese)
- 22 姜凯,郑文刚,张骞,等.蔬菜嫁接机器人研制与试验[J].农业工程学报,2012,28(4):8-14.
Jiang Kai,Zheng Wen'gang,Zhang Qian,et al. Development and experiment of vegetable grafting robot[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(4):8-14. (in Chinese)
- 23 杨丽,刘长青,张铁中.双臂蔬菜与实验嫁接机设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(9):175-181.
Yang Li,Liu Changqing,Zhang Tiezhong. Design and experiment of vegetable grafting machine with double manipulators[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(9):175-181. (in Chinese)

Automatic Detection for External Features of Grafting Seedlings Based on Machine Vision

Cui Yongjie Wang Xi Xia Xu Liqing Chen Tong Li Shaohua Fu Longsheng

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

Abstract: An automatic detection method for external features of grafting seedlings based on mathematical modeling was studied. The detecting items included growth status (straight or curved, bending direction), cotyledons parameters (cotyledon flare angle, cotyledons flare spans), hypocotyls parameters (curvature, hypocotyl length, hypocotyl shaft), and other external parameters. First, image preprocessing was used to extract the binary image. Then, a reference point and its position were determined by statistic of horizontal pixels. Next, growth status was decided by a set inclination angle of the minimal bounding rectangle of the hypocotyl and its width. After that, the cotyledons span was calculated by the distance of the two cotyledons endpoint, and the cotyledons angle was computed by the angle between two lines that fitting with the bottom of flat cotyledons. Finally, the stem length and the coarse strains were obtained by doing slope compensations to two sections of stem separately which was divided at the point with maximum curvature. Results were compared with manually measured data, and shown that the coefficients of plant height, plant coarse, and cotyledon span were 0.935 1, 0.899 9 and 0.903 4, respectively. And the relative errors of them were less than 7%, 5% and 7%, while the absolute errors of them were less than 4 mm, 0.2 mm and 6 mm, respectively.

Key words: Grafting seedlings Machine vision External features parameters Mathematical modeling Automatic detection