

引用格式:

胡正方, 向阳, 熊瑛, 林洁雯, 李亚军. 基于机器视觉的千粒质量测量仪的设计与试验[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(4): 476-481.

HU Z F, XIANG Y, XIONG Y, LIN J W, LI Y J. Design and test of 1000-grain weight rapid measuring instrument based on machine vision[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2021, 47(4): 476-481.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 基于机器视觉的千粒质量测量仪的设计与试验

胡正方, 向阳\*, 熊瑛, 林洁雯, 李亚军

(湖南农业大学机电工程学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 针对目前作物千粒质量测定中数粒耗时长、精度低、自动化程度低、不适应多品种计数等问题, 基于机器视觉技术, 设计了一种集称重和数粒为一体的千粒质量测量仪。测量仪主要由机架、摄像头、载物盘、称重传感器、控制器等部件组成。工作时, 通过称重传感器获取种子质量, 同时通过摄像头采集种子图像并上传到上位机进行图像分析处理, 获取种子数量, 最后通过自动计算获取种子千粒质量并将结果显示到软件界面, 以便及时获取测量结果。为了实现种子图像中粘连种子的分割, 获取精准的种子数量, 首先通过去边框处理提取种子区域, 再采用中值滤波、最大类间方差法和形态学运算对种子区域进行预处理, 采用基于距离变换的分水岭算法分割图像, 通过统计连通区域的数量获得种子数量。对油菜、玉米、水稻和黄豆种子分别进行 100 组数粒、称重和千粒质量的测定, 结果表明, 作物种子数粒误差均不大于 1 粒; 称重准确率分别为 99.86%、99.92%、99.86%、99.96%; 千粒质量测定的准确率分别为 99.93%、99.63%、99.61%、99.97%; 测量 1 次作物千粒质量仅耗时约 2 s。

**关键词:** 机器视觉; 千粒质量测量仪; 分水岭算法

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)04-0476-06

## Design and test of 1000-grain weight rapid measuring instrument based on machine vision

HU Zhengfang, XIANG Yang\*, XIONG Ying, LIN Jiewen, LI Yajun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of long time-consuming, low precision, low degree of automation, and inadaptability to multiple variety counting in the current crop 1000-grain weight measurement, a 1000-grain weight measuring instrument with the function of weighing and counting was designed based on machine vision. The device is mainly composed of a frame, a camera, a loading plate, a weighing sensor, a controller and other components. At the same time, seed images are collected by the camera and uploaded to the upper computer for image analysis and processing to obtain the number of seeds. Finally, the mass of thousands of seeds is obtained by automatic calculation and the results are displayed on the software interface so that the operator can obtain the measurement results in time. In order to realize the image segmentation of adhesive seed to get accurate seed number, the seed images were processed and analysis with extracting the seed region by removing the border, preprocessing the seed region by using median filtering, maximum inter-class variance method and morphological operation, and finally segmenting the image by using the watershed algorithm based on distance transformation, and obtaining the seed number by counting the number of connected regions. With rapeseed, maize, rice and soybean as the experimental subjects, 100 groups of counting, weighing and 1000-grain weight determination experiments were carried out. The results showed that the number error

收稿日期: 2020-06-08

修回日期: 2021-04-05

基金项目: 湖南省重点研发项目(2019NK2151); 湖南省教育厅重点项目(19A224)

作者简介: 胡正方(1997—), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事智能农业装备研究, 3049362991@qq.com; \*通信作者, 向阳, 博士, 副教授, 主要从事农业自动化及智能农业装备研究, xy1608@126.com

was no more than 1 grain. Weighing accuracy was 99.86%, 99.92%, 99.86%, 99.96%, respectively. The accuracy of 1000-grain quality were 99.93%, 99.63%, 99.61%, 99.97%, respectively. The time of 1000 grain mass determination was less than 2 s.

**Keywords:** machine vision; measuring instrument of 1000-grain weight; watershed algorithm

千粒质量是衡量作物种子质量、预测产量的重要指标<sup>[1-2]</sup>。有关千粒质量的测量, GB/T3543.7—1995 列出了百粒法、千粒法和全量法等 3 种方法<sup>[3]</sup>。

传统的种子计数和千粒质量的测定依赖于人工, 费时费力, 效率较低, 且易产生误差。目前, 自动数粒仪已逐渐取代人工数粒<sup>[4]</sup>。自动数粒仪中, 机械式和光电式数粒仪的应用最广<sup>[5-7]</sup>。机械式数粒仪多用于药品分装, 不能满足多品种、小批量的数粒场合; 光电式数粒仪常应用于种子计数, 但由于其落料口的局限性, 对小种粒计数易产生误差, 且光电式数粒仪数粒耗时较长, 数粒效率较低<sup>[6]</sup>。光电式自动数粒仪, 对于大、中颗粒种子的数粒精度为 3/1000, 3 min 数粒约 500 粒, 对于小颗粒种子的数粒精度为 5/1000, 3 min 数粒约为 1000 粒。

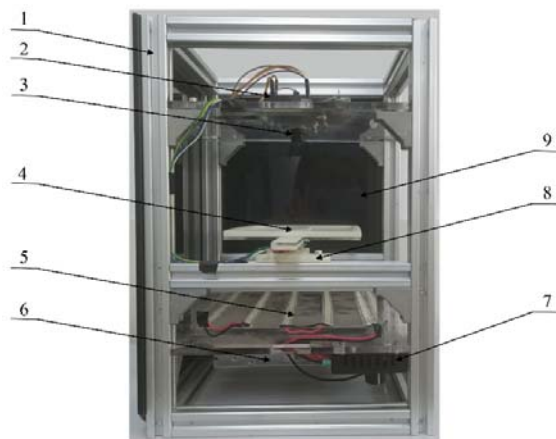
近年来, 机器视觉技术已逐渐应用于种子计数领域。何有根<sup>[2]</sup>设计了一种能自动分离杂物和破损种子的数粒仪, 利用电磁振动机构结合计算机视觉单粒处理来识别玉米种子。姚莹等<sup>[7]</sup>提出了一种基于机器视觉的平板式数粒机的检测方法, 可用于检测缺陷药品颗粒。高慧敏等<sup>[4]</sup>以芦笋杂交种子为研究对象, 利用扫描仪获取芦笋粒数, 分析天平获取芦笋质量, 通过计算得到芦笋杂交种子的千粒质量。这些测量技术和装备均未实现称重和数粒一体化, 且存在耗时长、精度低、不适应多品种等问题。笔者基于机器视觉, 设计了一种集称重和数粒为一体的千粒质量测量仪。通过称重传感器获取种子质量, 同时通过摄像头采集种子图像并上传到上位机进行图像分析处理获取种子数量, 最后通过自动计算获取种子千粒质量。通过对油菜、玉米、水稻和黄豆种子进行的数粒、称重和千粒质量的测定试验, 验证了千粒质量测量仪的工作性能。现报告如下。

## 1 千粒质量测量仪的结构和工作原理

### 1.1 结构

千粒质量测量仪分为图像采集和种子称量两部分, 总体结构如图 1 所示。图像采集部分主要包括工业相机和背光源。工业相机选用金乾象

KS10A411-3.0 相机, 最高分辨率为 3648 像素×2736 像素, 感光类型为 CMOS, 感光元件尺寸为 1/2.3", 其配套镜头的焦距为 4 mm, 采用背向照明成像方式, 获取种子图像。种子称量部分主要包括称重传感器、信号变送器和 Arduino 单片机模块。称重传感器选用电阻应变式, 量程为 300 g, 精度为 0.01 g; 信号变送器选用基于 HX711 的信号变送模块; Arduino 单片机模块选用基于 ATmega328P 单片机的 Arduino Uno 开发板。由于称重传感器读数与质量呈线性相关, 采用砝码对称重传感器进行标定。



1 机架; 2 Arduino 单片机模块; 3 摄像头; 4 载物盘; 5 背光源; 6 电源; 7 背光源控制器; 8 称重传感器及其安装座; 9 装置外壳。

图 1 作物种子千粒质量测量仪的结构

Fig.1 Structure of 1000-grain weight measuring instrument for crop seeds

### 1.2 工作原理

测定作物种子千粒质量时, 通过称重传感器获取种子质量, 再通过信号变送模块将称重传感器的质量信号转变为数字信号, 并通过 Arduino 单片机模块传至上位机, 从而获取种子质量。在称重的同时, 通过摄像头采集种子图像并上传至上位机, 首先通过去边框处理提取种子区域, 然后采用中值滤波、最大类间方差法和形态学运算对种子区域进行预处理, 采用基于距离变换的分水岭算法分割图像, 通过统计连通区域的数量获得种子数量。最后将所获种子质量和种子数量代入计算, 获取种子千

粒质量。

## 2 关键部件的设计

### 2.1 载物盘

为实现种子称量和数粒一体化,并保证在背光照明条件下获取成像效果较好的种子图像,将载物盘设置于称重传感器一端,位于摄像头和背光源之间。载物盘底盘采用透明的亚克力板制作,可保证背向成像的成像效果;四周挡边采用不透明材料,以减少其他复杂背景对后续图像处理的干扰。如图2-1所示,载物盘中间设置有不透明凸起,用于遮挡下方称重传感器部分;如图2-2所示,载物盘底部凸起,用于与称重部分的导槽连接,既保证载物盘始终位于摄像头正下方,又可使载物盘在工作时能平稳放置。种子放置的区域由载物盘的中间不透明凸起和四周不透明挡边包围形成,该区域面积约为129 cm<sup>2</sup>,可保证小粒种子(如油菜种子)放置1000粒(千粒法),大粒种子(大豆种子)放置100粒(百粒法)。在载物盘的一端设置了宽为20 mm、长为65 mm的手柄,便于放置和拿取。



图2 载物盘结构

Fig.2 The structure of a device for placing seeds

### 2.2 图像处理与种子计数算法

以油菜种子为例,图3所示为1000粒油菜种子在载物盘上的成像效果。

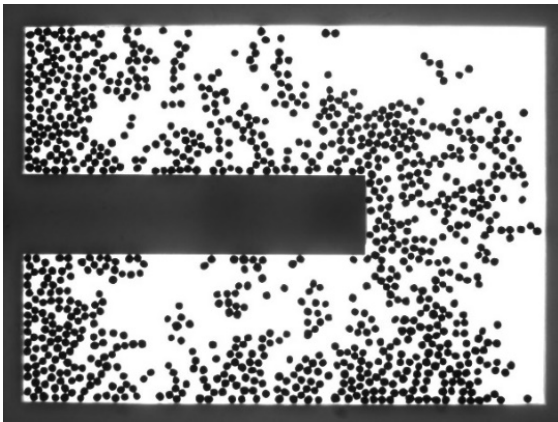


图3 油菜种子图像

Fig.3 Rape seed image

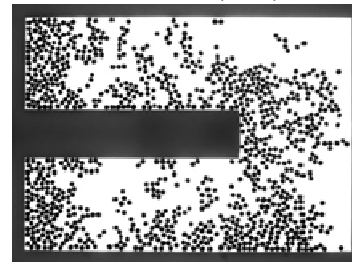
当采用背向照明时,种子与背景的对比较为清

晰,但图像中种子间严重粘连,难以实现精确分割,载物盘边框及称重传感器部分也对图像的后续处理造成干扰;因此,提出图像处理及种子计数算法流程:

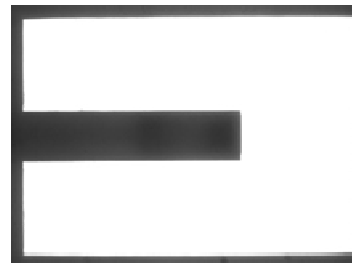
种子图像 去边框处理 中值滤波 图像二值化 形态学运算 分水岭算法 连通区域计数 显示数据。

#### 2.2.1 去边框处理

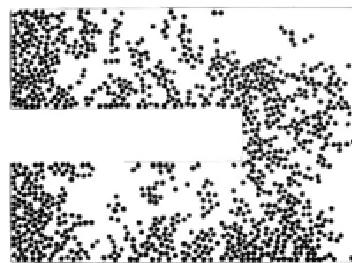
载物盘的不透明部分被摄入种子图像中,对后续图像处理会造成干扰,需对种子图像进行去边框处理。去边框处理采用图像减运算的方法实现:采集空白载物盘图像,通过阈值处理识别载物盘边框区域,并制作成形状匹配模板。处理载物盘载有种子图像时,通过模板匹配对图像中载物盘边框位置定位,根据定位数据对图像进行仿射变换,使其与空白载物盘图像重叠,通过2张图片的减运算,快速、准确地提取出种子区域(图4)。



原始样本



空载载物盘样本



去边框处理后样本

图4 油菜种子图像去边框处理过程

Fig.4 Background removal algorithm of rape seed image

#### 2.2.2 图像二值化

油菜种子图像的灰度直方图,背景与目标在灰

度直方图中各自形成 1 个波峰，因此采用自动求取阈值的最大类间方差法<sup>[8]</sup>对图像进行二值化处理，如图 5 所示。根据图像的灰度特性，将图像分为前景和背景 2 个部分。当类间方差最大时，将此时的

灰度值定位二值化处理时的阈值，最佳阈值说明图像中的目标和背景的差别最大<sup>[9]</sup>。经过图像二值化处理，得到阈值法处理后样本，图像数据量减少，便于后续图像处理。

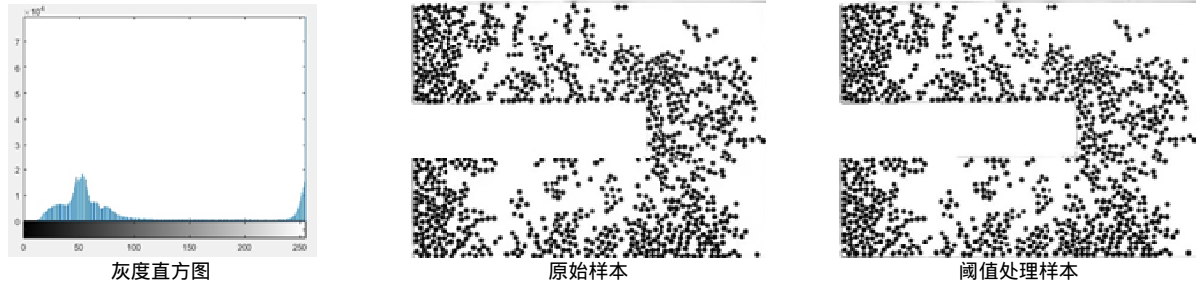


图 5 油菜种子图像阈值处理过程

Fig.5 Threshold processing of rape seed image

### 2.2.3 目标提取

采用计算速度快、对微弱边缘有较好分割效果的分水岭算法<sup>[10-14]</sup>分割粘连种子，如图 6 所示。分水岭算法处理过程中，由于二值图像中不存在灰度

梯度，拟采用距离变换法中欧式距离变换算法<sup>[15]</sup>构造灰度梯度。分水岭算法处理后，进一步对分水岭算法处理后的图像进行连通区域标记与计数，即得到种子的数量。

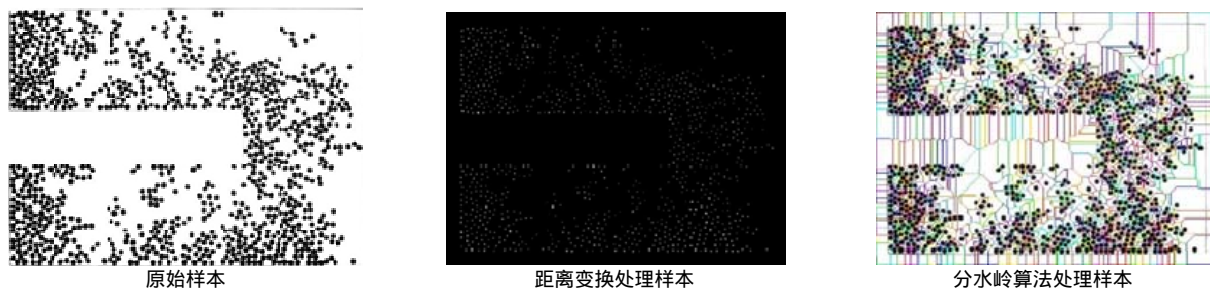


图 6 油菜种子图像分割处理

Fig.6 Image segmentation of rape seed image

### 2.3 上位机软件的设计

为便于直接观察到测量结果，基于 Visual studio 设计了上位机软件。如图 7 所示，主要包括图像显示、参数设置、操作按钮和测量数据等 4 个板块。软件界面的左边区域为图像显示区域，用于实时显示所采集的种子图像以及处理后的种子图像。软件

界面的右边区域由上至下设置了 3 个部分，第一个部分用于显示和设置装置参数，包括摄像头及其端口的选择与配置；第二个部分设置为操作部分，设置了种子类型的选择、拍摄种子图像、打开已拍摄种子图像、种子计数、种子称重，测定种子千粒质量的功能；第三个部分用于显示测量数据，包括种子数量、种子质量和种子千粒质量。



图 7 千粒质量测量仪上位机软件界面

Fig.7 Interface of upper computer software of measuring instrument of 1000-grain

### 3 试验验证

随机选取 100 粒玉米种子、200 粒水稻种子、100 粒黄豆种子和 1000 粒油菜种子，分别进行 100 组数粒、称重和千粒质量测量试验。

以 YH-A3002 型电子秤所测质量作为实际质量，人工数粒得到 3 次相同粒数作为实际数量，将实际质量和实际数量计算所得千粒质量作为实际千粒质量<sup>[16]</sup>，计算千粒质量测量仪所测千粒质量与

实际千粒质量的差值。

以误差峰值、平均绝对误差、均方根误差<sup>[17]</sup>、平均绝对百分比误差<sup>[18]</sup>作为评价指标,验证千粒质量测量仪的性能。

运用千粒质量测量仪分别对玉米、水稻、黄豆

和油菜种子进行 100 组数粒、称重和千粒质量测量试验,结果数粒误差均不大于 1 粒(表 1);称重准确率分别为 99.86%,99.92%,99.86%,99.96%(表 2);千粒质量准确率分别为 99.93%,99.63%,99.61%,99.97%(表 3);千粒质量测定耗时约 2 s。

表 1 千粒质量测量仪测量的 4 种作物种子的粒数

作物种子	实际粒数/粒	平均测量粒数/粒	平均准确率/%	平均绝对误差/%	均方根误差/粒	平均绝对百分比误差/%
玉米	100	99.65	99.65	0.35	0.48	0.35
水稻	200	99.92	99.60	0.81	0.79	0.64
黄豆	100	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
油菜	1000	1000.00	100.00	0.00	0.00	0.00

表 2 千粒质量测量仪测量的 4 种作物种子质量

作物种子	实际质量/g	平均测量质量/g	平均准确率/%	平均绝对误差/%	均方根误差/g	平均绝对百分比误差/%
玉米	26.580	26.578	99.99	0.007 50	0.010 3	0.03
水稻	2.670	2.669	99.86	0.008 00	0.001 7	0.01
黄豆	23.570	23.575	99.98	0.006 90	0.007 9	0.03
油菜	7.250	7.254	99.94	0.005 10	0.005 8	0.58

表 3 千粒质量测量仪测量的 4 种作物种子的千粒质量

作物种子	实际千粒质量/g	平均测量千粒质量/g	平均准确率/%	平均绝对误差/%	均方根误差/g	平均绝对百分比误差/%
玉米	265.800	266.723	99.64	0.967 10	1.263 3	0.36
水稻	26.700	26.720	99.61	0.131 30	0.004 8	0.64
黄豆	235.700	235.745	99.97	0.069 00	0.079 2	0.03
油菜	7.250	7.254	99.93	0.005 10	0.005 8	0.07

#### 4 结论

基于机器视觉技术,设计的集称重和数粒一体的千粒质量测量仪,通过称重传感器获取种子质量,通过工业相机获取种子图像并上传到上位机进行处理,从而获得种子千粒质量。

根据千粒质量测量仪的结构原理特点,提出了相应的图像处理及种子计数算法流程,通过与空白载物盘图像进行匹配与减运算,实现图像去边框处理;应用中值滤波、最大类间方差法阈值分割及形态学运算,进行图像预处理;应用基于距离变换的分水岭算法实现种子分离;最后应用连通区域计数,实现种子计数。

分别对玉米、水稻、黄豆和油菜种子进行数粒、称重和千粒质量的测量结果表明,数粒误差均不大于 1 粒;称重准确率分别为 99.86%,99.92%,99.86%,99.96%;千粒质量准确率分别为 99.93%,

99.63%,99.61%,99.97%;测量一次作物千粒质量仅耗时约 2 s。在测量试验中发现,类圆种子(如油菜、黄豆)的千粒质量测定精度比非圆种子(如水稻、玉米等)的精度更高,原因有待进一步探明。

#### 参考文献:

- [1] 钟永达,周燕玲,李彦强,等.基于 ImageJ 软件的香樟千粒重的测量及其应用[J].安徽农学通报,2018,24(10):82-85.  
ZHONG Y D,ZHOU Y L,LI Y Q,et al .Application of scanner and ImageJ analysis software in measuring seed size of *Cinnamomum camphora*[J].Anhui Agricultural Science Bulletin,2017,37(6):82-85.
- [2] 何有根.基于图像识别的千粒重仪研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.  
HE Y G . Research on the instrument of the mass of 1000 based on image recognition[D].Yangling,China:Northwest A & F University,2007.
- [3] 孔德巍,宿丽丽,张希颜,等.对玉米种子数粒仪的

- 改进[J]. 种子世界, 2018(4): 40-41.  
KONG D W, SU L L, ZHANG X Y, et al. Improvement of corn seed counting machine[J]. Seed World, 2018(4): 40-41.
- [4] 高慧敏, 田玉, 刘志强, 等. 采用图像扫描法快速测定芦笋种子粒数和千粒重[J]. 河北农业科学, 2019, 23(3): 106-108.  
GAO H M, TIAN Y, LIU Z Q, et al. Rapid determination of seed number and thousand seed weight of asparagus using image scanning method[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2019, 23(3): 106-108.
- [5] 吕泽鑫, 郭慧东, 伍恒, 等. 光电式数种器的设计与试验[J]. 塔里木大学学报, 2019, 31(1): 84-88.  
LYU Z X, GUO H D, WU H, et al. Design and test of photoelectric counters type[J]. Journal of Tarim University, 2019, 31(1): 84-88.
- [6] 宋初苏, 华娇, 蓝景针, 等. 转盘斜刮式光电自动数粒仪设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 89-92.  
SONG R S, HUA J, LAN J Z, et al. Design of turntable-inclined scratch style photoelectric instrument to automatically count granules[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 89-92.
- [7] 姚莹, 蔡锦达, 刘倩. 基于机器视觉的平板式数粒机检测方法[J]. 光学仪器, 2018, 40(4): 9-14.  
YAO Y, CAI J D, LIU Q. The detection method for counting machine with single channel based on machine vision[J]. Optical Instruments, 2018, 40(4): 9-14.
- [8] 李擎, 唐欢, 迟健男, 等. 基于改进最大类间方差法的手势分割方法研究[J]. 自动化学报, 2017, 43(4): 528-537.  
LI Q, TANG H, CHI J N, et al. Gesture segmentation with improved maximum between-cluster variance algorithm[J]. Acta Automatica Sinica, 2017, 43(4): 528-537.
- [9] 庞惠文, 张增红. 基于数字图像处理的条码图像二值化处理研究[J]. 轻工科技, 2021, 37(6): 65-66.  
PANG H W, ZHANG Z H. Research on binarization of barcode image based on digital image processing[J]. Light Industry Science and Technology, 2021, 37(6): 65-66.
- [10] 杨蜀秦. 大米外观品质计算机视觉检测的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.  
YANG Y Q. Research of measuring of appearance quality of rice by computer vision[D]. Yangling, China: Northwest A & F University, 2005.
- [11] 丁琦, 徐伟, 李蒙, 等. 基于分水岭和统计矩的大豆籽粒形态参数测量方法[J]. 大豆科学, 2019, 38(6): 960-967.  
DING Q, XU W, LI M, et al. Measurement method of soybean seed morphological parameters based on watershed and statistical moment[J]. Soybean Science, 2019, 38(6): 960-967.
- [12] 王小鹏, 陈璐, 吴双. 基于面积约束和自适应梯度修正的分水岭图像分割[J]. 光电子·激光, 2014, 25(11): 2219-2226.  
WANG X P, CHEN L, WU S. Watershed image segmentation based on area constraint and adaptive gradient modification[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2014, 25(11): 2219-2226.
- [13] 孙晓婷, 陈江红, 陈庆周. 基于 H-Dome 重构的大豆图像分割[J]. 大豆科学, 2013, 32(6): 821-824.  
SUN X T, CHEN J H, CHEN Q Z. Image segmentation of soybean based on H-Dome reconstruction[J]. Soybean Science, 2013, 32(6): 821-824.
- [14] 赵晓晴, 刘景鑫, 张海涛, 等. 色彩空间变换和基于距离变换的分水岭算法在白细胞图像分割中的应用[J]. 中国医疗设备, 2019, 34(7): 5-9.  
ZHAO X Q, LIU J X, ZHANG H T, et al. Application of color space transformation and watershed algorithm based on distance transform in white blood cell image segmentation[J]. China Medical Devices, 2019, 34(7): 5-9.
- [15] 侯慧, 石跃祥. 基于距离变换的改进分水岭算法在白细胞图像分割中的应用[J]. 计算机技术与自动化, 2016, 35(3): 81-84.  
HOU H, SHI Y X. Application of the improved watershed algorithm based on distance transform in white blood cell segmentation[J]. Computing Technology and Automation, 2016, 35(3): 81-84.
- [16] 王刚. 基于机器视觉的玉米千粒重快速检测仪的研制[D]. 长春: 吉林大学, 2012.  
WANG G. Development of 1000-kernel corn weight detector based on machine vision[D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [17] 乔振岳. 最小均方误差自适应时延估计算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.  
QIAO Z Y. Research on adaptive time delay estimation algorithm based on minimum mean square error[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- [18] 余国强. 基于小波神经网络的短时交通流预测算法的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.  
YU G Q. The research of short-term traffic flow prediction base on the wavelet neural network[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立