

基于机器视觉的水稻种子精选技术*

陈兵旗¹ 孙旭东² 韩旭¹ 刘燕德²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 华东交通大学机电工程学院, 南昌 330013)

【摘要】 以面积和宽长比作为稻种类型的特征参数,建立了稻种类型数据库;以等价矩形长、宽的差值最小为标准,进行了未知稻种类型的判断;以扫描线上黑白像素的变化次数和扫描线数来判断稻种的破裂;以不同阈值提取的稻种面积差来判断稻种是否霉变。选取丰源优 299 等 10 种稻种进行实验,分别进行了种子类型判断、工位有无种子判断、几何参数判断以及发霉与破损情况判断,检测正确率分别为 100%、91.4%、88.9% 和 76.8%。

关键词: 水稻种子 精选 图像处理

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)07-0168-06

Rice Seeds Selection Based on Machine Vision

Chen Bingqi¹ Sun Xudong² Han Xu¹ Liu Yande²

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

2. School of Mechatronics Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract

The area and wide length ratio was chosen as the characteristic parameters for different kinds of rice seeds, and a database of rice seeds' type was constructed. The equivalence rectangle's length and the least wide difference were used as standard to identify unknown rice seeds' type. The disrepair of the rice seeds was identified based on the times of the black pixels change to the white pixels on one scan line and the number of scan lines. The mildew of rice seeds was identified based on the difference of area obtained by two different thresholds. Ten kinds of rice seed samples like Fengyuanyou 299 were chosen for the experiments. During the experiments, inspection of seeds' type, identification of seeds in work positions, geometry parameters of seeds, mildew and disrepair situations of seeds were done respectively. The accuracy was 100%, 91.4%, 88.9% and 76.8% respectively.

Key words Rice seed, Choiceness, Image processing

引言

稻种的类型和质量是影响水稻产量的一个重要因素,因此,分选不同类型和品质的稻种对提高水稻产量具有重要意义。种子精选的主要目的是提高纯净度和发芽率,以减少播种量、降低生产成本、提高产量,种子精选后一般可以增产 5%~10%^[1]。传统的种子分选方法一般应用于种子的前期分选,目的是去除杂质,为进一步精选作准备^[2]。目前应用比较广泛的种子精选方法有:介电分选法^[3]、静电

分离法^[4]和机器视觉法^[5]。

美国、日本等国家在 20 世纪 70 年代开始把机器视觉技术应用于种子质量检验方面,取得了较大进展^[6-11]。

国内在该领域也有一些研究成果,但是还没有商业化的检测仪器^[12-17]。

本文建立用于品种纯度判断的水稻种子标准数据库以及判断水稻种子品种类型的有效特征参数,并研究发霉、破损种子的图像检测算法。

1 实验方法

1.1 整体方案

设置一条含有种子工位穴的水平传送带,将种子播撒在工位穴中,当传送带上一排种子运行到拍摄工位时,利用光电传感器触发拍摄一排种子图像,通过图像处理判断种子是否合格,记录不合格种子的工位并在排除工位剔除。

在建立种子数据库阶段,摄像头拍摄各排工位的种子并存为视频图像,通过图像处理,测量每粒种子的特征参数,并将计算的统计结果存入数据库,作为随后判断种子类型和种子精选的依据。

在进行种子精选时,如果未知精选种子的类型,可以用上述方法拍摄一段视频图像,计算种子的平均特征参数,并与库存的特征参数进行比较,根据其于库存特征参数的接近程度判断种子类型。

在已知种子类型的种子精选阶段,首先根据精选的种子种类,选用数据库中相应的参数。开始精选作业时,系统实时一次拍摄一排工位,每次拍摄后,先提取种子区域,然后计算每粒种子的位置参数和几何特征参数,根据位置参数判断各个工位是否有种子,将获得的特征参数与选定的数据库参数进行比较,确认其特征参数是否合格,如果特征参数合格再判断是否有破损和霉变,对参数不合格、破损和霉变的种子,记录其工位序号,当传送带运行到排除工位时启动相应的吹嘴将其排除。

1.2 硬件、开发工具及实验材料

本研究的硬件由计算机、摄像头、光源、光电传感器、传送带、步进电动机、吹气装置等组成。其中传送带上每 50 mm 间隔开一排工位穴(穴底面用铁丝网承托种子),每排 6 个穴,穴的间距为 20 mm,每排工位的一侧设置一条宽 5 mm 的白色触发带。当传送带运行到拍摄位置时,白色触发带触发光电传感器,摄像头拍摄一排种子(6 粒)。

图像采集和处理的硬件设备主要包括计算机、摄像头和照明系统等。计算机的配置为: Intel Pentium 4 处理器,主频 2.4 GHz,内存 256 MB。摄像头选用 Basler A602fc 型高速彩色工业数字摄像机,其最大分辨率为 651 × 496 像素,最大分辨率时的最大帧率为 100 帧/s,当设定低分辨率时采集帧率会相应提高,图像输出接口为 IEEE 1394。选用的镜头是 Computer M1214 - MP,焦距 $f = 12$ mm,光圈 F 1.4。照明光源是在两块长方形的铝板上,分别均匀镶嵌两排(每排 8 个)功率为 1 W 的 LED 白光光源。

软件开发工具为 Microsoft Visual C + + 6.0,在

北京现代富博科技有限公司的二维运动测量分析系统 MIAS 的平台上完成了该研究的程序开发。

实验用种子样本选用丰源优 299、金优 284、隆平 601、内 2 优 6 号、培杂泰丰、天优 998、粳农 16、丫两优 1 号、中九优 288、株两优 211。

1.3 图像采集和工位标定

调试好摄像头和照明系统后,在进行图像拍摄和处理前先进行种子工位的标定。在摄像机预览状态(实时处理)或者在视频文件的第一帧上(视频文件处理),用鼠标依次点击工位穴的中心,获得 6 个工位的中心位置坐标 (p_{x_i}, p_{y_i}) ($0 \leq i \leq 5$),点击一个工位穴的直径两端,获得工位的直径 D 。工位间水平方向的平均距离计算公式为

$$\bar{d} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (p_{x_i} - p_{x_{i-1}}) \quad (1)$$

1.4 图像处理算法及数据库建立

1.4.1 种子提取及几何参数的测量

对拍摄或者读入的彩色图像绿色(G)分量,利用大津法^[18]进行二值化处理,将种子区域提取为白色(像素值 255)、背景为黑色(像素值为零)。对获得的二值图像,代入 MIAS 开发平台自带的去噪函数 Noise_remove(),将面积小于 50 像素的白色噪声去除。然后,将去噪后的二值图像作为输入图像,代入 MIAS 自带的几何参数测量函数 Measure_array(int inframe, int outframe, MACOND cond, int item[], MEASUREDATA * mData, int * count)。其中,inframe 为输入帧号,outframe 为输出帧号,cond 为测定条件结构体(包括测量目标、单位、序号表示等),item 为测算项目,mData 为测量结果的输出值,count 为输出的测量目标物个数。在测量条件结构体中设定白色像素为测量对象,在测量项目中设定面积和宽长比。通过上述设定,执行函数后即可获得目标对象的个数 n ($0 \leq n \leq 6$)、中心位置坐标 (x_j, y_j) ($0 \leq j \leq n - 1$)、面积、宽长比等参数。

1.4.2 种子所处的工位判断

每粒种子中心位置与各个工位中心位置之间的水平距离计算公式为

$$d_i = |x_j - p_{x_i}| \quad (2)$$

如果 $d_i < \bar{d}/2$,判断该种子属于工位 i ,将工位 i 的坐标修正为 (x_j, y_j) ,即

$$\begin{cases} p_{x_i} = x_j \\ p_{y_i} = y_j \end{cases} \quad (3)$$

没有被确认的工位表示没有种子。

1.4.3 种子特征信息数据库的建立

对每类种子,拍摄和处理一段视频图像,测量其中每粒种子的面积和宽长比,然后利用这些参数计

算出该类种子的平均面积、平均宽长比及其标准偏差,存入建立的种子特征参数数据库。数据库的信息由种子类型、平均面积、平均宽长比、面积标准偏差、宽长比标准偏差等5项组成。

1.4.4 种子精选

对于未知类型的种子,首先需要判断其类型,然后再进行精选。

(1) 种子类型的判断

首先拍摄待测种子的视频图像,测量并计算种子的平均面积和平均宽长比,将其与库存参数值进行比较,将最接近的库存参数表示的种子类型,作为待测种子的类型。

设待测种子的平均面积为 A 、平均宽长比为 k ,其等价矩形的长为 a 、宽为 b ,则

$$a = \sqrt{\frac{A}{k}} \quad (4)$$

$$b = \sqrt{Ak} \quad (5)$$

用同样方法分别求出每种库存种子等价矩形的长 a_i 和宽 b_i ,然后分别求出待测种子与每种库存种子之间的长、宽差值之和 S_i , S_i 最小的库存种子即为测量种子的类型,其计算公式为

$$S_i = |a_i - a| + |b_i - b| \quad (6)$$

(2) 检测种子的几何参数是否合格

该项目的目的是去除面积和宽长比偏差较大的种子。将每粒种子的面积 A_i 和宽长比 k_i 与库存此类种子的平均面积 A_s 及其标准偏差 A_{st} 、平均宽长比 k_s 及其标准偏差 k_{st} 进行比较,如果 $A_i \in (A_s - 1.5A_{st}, A_s + 1.5A_{st})$,则该粒种子的面积参数合格;如果 $k_i \in (k_s - 1.5k_{st}, k_s + 1.5k_{st})$,则该粒种子的宽长比参数合格。对于面积和宽长比都合格的种子,进行发霉种子判断和破损种子判断。

(3) 发霉种子判断

假设由天津法确定的图像二值化阈值为 Y_1 ,令 $Y_2 = 1.5Y_1$,利用新的阈值 Y_2 ,在每个确认工位的处理区域内对原图像进行二值化处理,然后计算区域中的白像素数,即面积 A_{ii} 。将 A_{ii} 与天津法二值化图像上对应的种子面积 A_i 进行比较,如果 $A_{ii} < 0.6A_i$,则断定此粒种子为发霉种子;否则为好种子。对好种子再进行破损判断。

(4) 破损种子判断

对于上述判断合格的种子,在种子的工位处理区域分别对水平方向和垂直方向进行破损种子的判断。首先设定变量 x_n ,初始化为零;然后对二值图像上的种子处理区域进行水平(X 方向)遍历扫描(图1a);当一条扫描线上的像素值由零变为255的情况大于等于2次时,给变量 x_n 加1;水平遍历扫描

结束后,如果 $x_n > 4$,判定种子在水平方向上有破损。如果水平方向没有破损,再在垂直方向上进行类似的判断(图1b)。图2为上述种子精选的流程图。

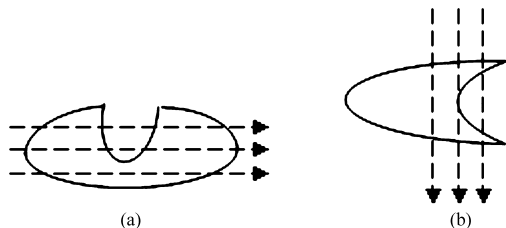


图1 破损种子判断

Fig. 1 Identifying disrepair rice seeds

(a) X 方向扫描 (b) Y 方向扫描

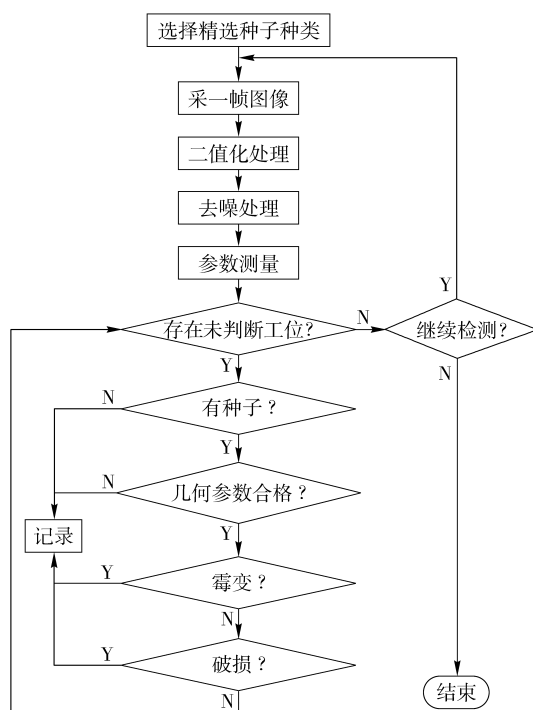


图2 种子精选流程图

Fig. 2 Flow chart of rice seeds' choiceness

2 实验结果与分析

实验时传送带的速度为 0.5 m/s ,图像帧的大小设定为 640×128 像素,实际的图像采集率为 380 帧/s 。

2.1 工位标定与几何参数测量

图3表示了一幅标定有工位的种子彩色原图像。数字表示工位序号,圆心表示标定的工位中心,圆圈表示标定的工位范围。由图3可以看出,由于工位穴的不均匀性,各个籽粒之间的距离不统一。本研究根据标定的位置计算出了工位之间的平均距离。

图4a表示了对图3的 G 分量灰度图像利用天津法进行自动二值化处理并且去除50像素以下噪

声的图像,白色像素表示种子区域,对于该图像计算出的二值化阈值为 57。由图 4a 可以看出,种子被很好地从背景中提取出来。图 4b 是执行几何参数测量后的图像,外接矩形是测量获得的种子区域范

围,以后的处理都在各个种子区域范围内进行,以提高处理效率。将测量出的各个种子中心位置与图 3 的标定位置进行比较,判断出各个工位有无种子,即将检测出的种子归属于最近的工位。

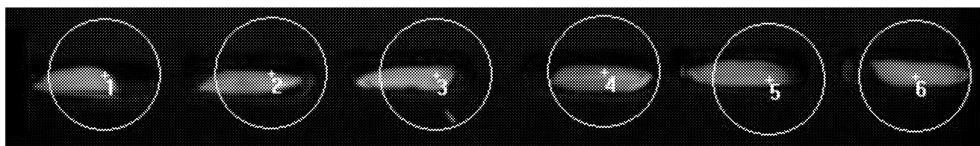


图 3 彩色原图像和工位设定图

Fig. 3 Color original image with confirmed workaround

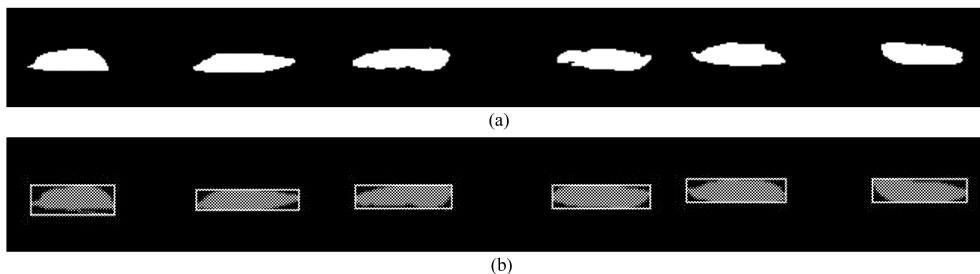


图 4 二值图像与测量结果

Fig. 4 Binary image and result image

(a) 二值图像 (b) 几何参数测量结果图像

2.2 种子特征参数信息库的建立

对于每类种子,记录每粒种子的几何参数,最后汇总计算出该类种子的平均面积及其标准偏差、平均宽长比及其标准偏差,将这些参数存入数据库。对每类种子分别处理了 30 帧图像、180 粒种子,计算出的特征参数结果如表 1 所示。

表 1 样本种子特征参数的计算结果

Tab. 1 Results of counted rice feature parameters

种子类型	平均面积 A_s	面积标准 偏差 A_{st}	平均宽长 比 k_s	宽长比标准 偏差 k_{st}
丰源优 299	764	104. 865	0. 259 1	0. 035 4
金优 284	726	104. 889	0. 246 1	0. 032 5
隆平 601	779	112. 859	0. 262 2	0. 030 2
内 2 优 6 号	840	158. 100	0. 271 3	0. 046 1
培杂泰丰	638	116. 648	0. 270 1	0. 045 6
天优 998	699	106. 760	0. 261 4	0. 037 3
籼农 16	728	125. 860	0. 269 9	0. 041 7
丫两优 1 号	681	125. 181	0. 249 6	0. 039 3
中九优 288	718	109. 300	0. 233 7	0. 027 3
株两优 211	756	103. 058	0. 249 5	0. 027 3

2.3 种子类型的判断

在 10 种水稻种子的特征参数数据库建立后,为了验证种子类型判断的正确性,在进行种子精选之前,对待精选的种子视频图像样本都进行了种子类型的判断,结果全部正确,说明本研究的水稻种子类型判断方法是可行性的。在不同的地区和不同的年份,相同的种子可能具有不同的特征,因此在进行种

子类型判断时,最好使用当年利用本地区种子建立的种子特征数据库。收集的种子类型越多,判断的准确性越高。对于几何特征接近的种子类型,需要利用颜色等特征进行综合判断。

2.4 种子精选

在进行种子精选时,首先选择精选的种子类型,调出相应的特征参数,然后对每粒种子进行几何参数、发霉和破损等的质量检测。图 5 为一帧原图像和几何参数检测结果的示例图像,圆圈表示了检测出的几何参数不合格种子。从图中可以看出第 4 工位是短粗状种子、第 6 工位是细长状种子,这两个工位上种子的参数都被判断为不合格。

图 6 为发霉种子的原图像和判断结果的示例图像。由该图可以看出,以天津法计算的二值化阈值的一半为阈值,对原图像的 G 分量图像进行二值化处理,可以将没有霉变的种子很好地提取出来。如图 6a 工位 2 所示的霉变部位,利用天津法的一半阈值没有被提取出来,然而通过将该二值图像与天津法提取的二值图像中对应的种子区域面积进行比较,就可以判断出种子是否发生霉变。

图 7 为破损种子的原图像和判断结果的示例图像。本研究的破损籽粒检测方法正确地将图中第 2 和第 4 工位的破损种子检测出来。

对 10 类种子的视频样本图像进行了精选实验,表 2 表示了各类型种子中工位没有种子、参数不合格和发霉或破损的目测种子个数、实际测量种子个

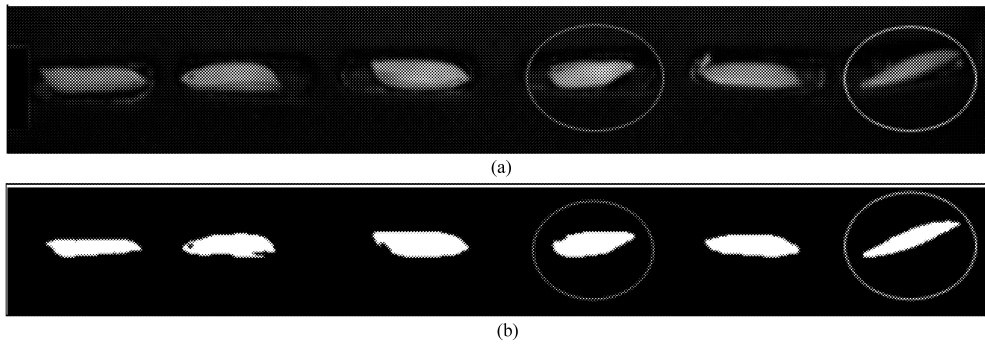


图5 几何参数不合格种子

Fig.5 Rice seeds of disqualified geometry parameters

(a) 原图像 (b) 检测结果图像

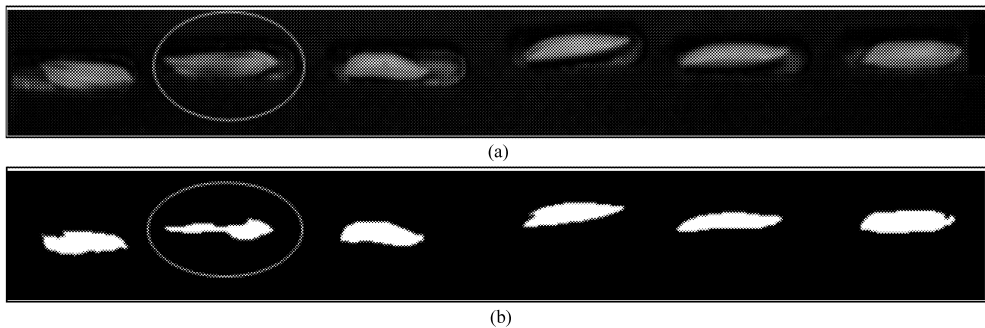


图6 发霉种子

Fig.6 Mildew rice seeds

(a) 原图像 (b) 检测结果图像

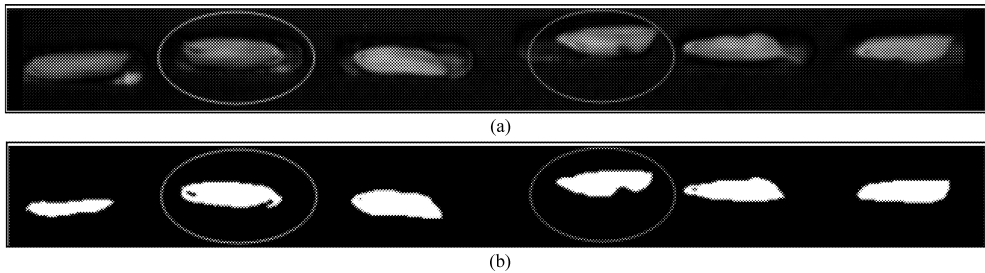


图7 破损种子

Fig.7 Disrepair rice seeds

(a) 原图像 (b) 检测结果图像

表2 种子精选数据

Tab.2 Measurement data of rice seeds

种子类型	籽粒 总数	工位没种子数			参数不合格数			发霉或破损		
		目测个数	实测个数	正确率/%	目测个数	实测个数	正确率/%	目测个数	实测个数	正确率/%
丰源优 299	153	3	3	100.0	7	6	85.7	17	13	76.5
金优 284	140	3	3	100.0	7	6	85.7	14	11	78.6
隆平 601	150	0	0		8	8	100.0	15	11	73.3
内 2 优 6 号	126	16	15	93.8	5	4	80.0	26	20	76.9
培杂泰丰	154	1	1	100.0	3	3	100.0	32	25	78.1
天优 998	65	1	1	100.0	2	2	100.0	4	3	75.0
籼农 16	149	3	1	33.3	5	5	100.0	17	13	76.5
丫两优 1 号	139	4	4	100.0	4	3	75.0	17	13	76.5
中九优 288	143	2	2	100.0	2	1	50.0	15	12	80.0
株两优 211	142	2	2	100.0	2	2	100.0	7	5	71.4
平均值	136	4	3	91.4	5	4	88.9	16	13	76.8

数以及计算的测量正确率。

工位有没有种子,可以通过目测看出。几何参数不合格,是指与传送带上的其他种子相比,体积或表面积过大或者过小的籽粒。发霉是指在籽粒表面有明显的黑斑,或者整个籽粒与其他籽粒相比明显发黑。破损种子是指看到有明显的表皮裂口或者表皮脱落的种子。

种子工位的判断错误主要是将没有种子的工位判断为有种子。产生的原因是空工位底部有时会产生强反光,在用大津法进行二值化处理时,反光部位被提取了出来。其中,面积大于50像素的反光块噪声,在去除噪声处理时被去除,结果被误判为种子。个别反光块噪声也引起了后续处理的误判。

几何参数检测的准确性与其设定标准相关联,即在不同的设定标准下,种子几何参数的不合格率会产生波动。另外,目测的标准也不好把握,只能确定几何形状极端不同的籽粒,对于那些模棱两可的情况,目测判断都有误差。影响发霉种子检测结果的主要因素有光源强度和种子发霉(发黑)的程度,如果光源强度较强或者发霉部位颜色不深,都会造

成误判。种子破损的检测结果受限于种子破损的形状和程度,如果破损较轻且破损部位处于种子图像的边缘,就不能被正确检测出来。从表2的检查结果可以看出,发霉或破损的检测正确率不到80%。

3 结束语

设计了基于传送带、光电触发图像采集和图像处理与分析的水稻种子精选方案。以彩色图像的G分量灰度图像为原图像,通过大津法进行了二值化处理,将种子区域提取为白色像素、背景作为黑色像素。对二值化图像进行了50像素以下的去噪处理。选取了10种类型的样本视频图像,测量每粒种子的面积和宽长比,计算每类种子的特征参数并存入数据库,作为种子类型判断和种子精选的基准数据。

在种子精选过程中,判断了工位有无种子、种子的几何参数是否合格以及种子是否发霉、破损。

本文种子类型检测正确率达到100%,工位有无种子的平均检测正确率达91.4%,几何参数的平均检测正确率达88.9%,发霉和破损种子的平均检测正确率达76.8%。

参 考 文 献

- 1 裴小荣. 水稻种子加工检验的方法与作用探讨[J]. 种子, 2002(1): 88~89.
- 2 年伟,汪永华,邵源梅. 种子加工工序及其基本要求[J]. 农机化研究, 2005, 27(4): 65~67.
Nian Wei, Wang Yonghua, Shao Yuanmei. The processing procedures of seeds and its basic requirement[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005, 27(4): 65~67. (in Chinese)
- 3 赵金平. 种子介电分选技术研究新进展[J]. 林业科学, 2000, 36(增刊1): 97~103.
Zhao Jinping. The new advances of study on seed dielectric separation technology[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(Supp. 1): 97~103. (in Chinese)
- 4 蔡兴旺,乔振先,何火娇,等. 静电场分离效应对稻种萌发期生化因素影响的研究[J]. 江西农业大学学报, 1994, 16(4): 394~398.
Cai Xingwang, Qiao Zhenxian, He Huojiao, et al. Research on influence of electrostatic field separating effect on the biochemical factors of rice seeds during their sprouting period[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 1994, 16(4): 394~398. (in Chinese)
- 5 卢卓,代光爱,刘燕德. 机器视觉在种子自动分选系统中的应用[J]. 农机化研究, 2008, 30(1): 160~162, 167.
Lu Zhuo, Dai Guang'ai, Liu Yande. Application of machine vision in automatic classification system on crop seeds[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(1): 160~162, 167. (in Chinese)
- 6 Wan Y N. Kernel handling performance of an automatic grain quality inspection system[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(2): 369~377.
- 7 Ureña R, Rodríguez F, Berenguel M. A machine vision system for seeds germination quality evaluation using fuzzy logic[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2001, 32(1): 1~20.
- 8 Liao K, Paulsen M R, Reid J F, et al. Corn kernel breakage classification by machine vision using a neural network classifier[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 36(6): 1949~1953.
- 9 Ni B, Paulsen M R, Reid J F. Corn kernel crown shape identification using image processing[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(3): 833~838.
- 10 Ng H F, Wilcke W F, Morey R V, et al. Machine vision evaluation of corn kernel mechanical and mold damage[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(2): 415~420.

- 14 姚荣江, 杨劲松, 刘广明, 等. 电磁感应仪 EM38 用于土壤盐渍剖面分类与评价研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(4): 54 ~ 59.
Yao Rongjiang, Yang Jingsong, Liu Guangming, et al. Study on classification and evaluation of soil salinity profiles using with electromagnetic induction EM38[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18(4): 54 ~ 59. (in Chinese)
- 15 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 90 ~ 99.
- 16 Rhoades J D, Shouse P J, Alves N A, et al. Determining soil salinity from soil electrical conductivity using different models and estimates[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54(1): 46 ~ 54.
- 17 史舟, 李艳, 金辉明. 基于方差四叉树法的滨海盐土电导率采样布局研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 294 ~ 299.
Shi Zhou, Li Yan, Jin Huiming. Spatial sampling scheme for coastal saline soil based on the variance quad-tree (VQT) method[J]. Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(2): 294 ~ 299. (in Chinese)
- 18 吴盼宏, 龙鹏飞. 基于四叉树和进化算法的分形图像压缩[J]. 微计算机应用, 2005, 26(2): 198 ~ 200.
Wu Panmi, Long Pengfei. A fractal image compression algorithm based on quadtrees and evolution algorithm [J]. Microcomputer Applications, 2005, 26(2): 198 ~ 200. (in Chinese)
- 19 Brus D J, De Grujter J J, Van Groenigen J W. Designing spatial coverage samples using the *k*-means clustering algorithm [M]//Lagacherie P, McBratney A B, Voltz M. Digital soil mapping: an introductory perspective. Amsterdam: Elsevier, 2006.

~~~~~

(上接第 173 页)

- 11 Wang N, Zhang N, Dowell F E, et al. Determining virtuousness of durum wheat using transmitted and reflected images[J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(1): 219 ~ 222.
- 12 刘兆艳. 基于机器视觉的稻种品种识别研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
Liu Zhaoyan. Research on variety identification of rice seed using computer vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006. (in Chinese)
- 13 成芳, 应义斌. 基于 Matlab 平台的稻种图像分析系统[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30(5): 572 ~ 576.  
Cheng Fang, Ying Yibin. Image analysis system of rice seed based on Matlab platform[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences, 2004, 30(5): 572 ~ 576. (in Chinese)
- 14 成芳, 应义斌. 机器视觉技术在农作物种子质量检验中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 175 ~ 179.  
Cheng Fang, Ying Yibin. Application of machine vision to quality evaluation of agricultural seed resources[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(6): 175 ~ 179. (in Chinese)
- 15 成芳. 稻种质量的机器视觉无损检测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.  
Cheng Fang. Nondestructive quality inspection of rice seeds with machine vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004. (in Chinese)
- 16 王瑶. 种子分类与检验的图像分割与识别[D]. 长春: 吉林大学, 2007.  
Wang Yao. Image segmentation and recognition in seed classification and inspection [D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)
- 17 马长青. 基于机器视觉的种子质量检测新型算法[J]. 农机化研究, 2008, 30(12): 166 ~ 168, 172.  
Ma Changqing. A new arithmetic of seed quality checking based on machinery vision [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(12): 166 ~ 168, 172. (in Chinese)
- 18 高木干雄, 下田阳久. 图像处理技术手册[M]. 孙卫东, 等, 译. 北京: 科学出版社, 2007: 1 228.