

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.005

基于改进形状因子的钵体秧盘播种质量检测方法研究^{*}

王安¹ 丁晓迪¹ 马旭² 陈颖佳³ 周海波^{3,4}

(1. 佳木斯大学信息电子技术学院, 佳木斯 154007; 2. 华南农业大学工程学院, 广州 150642;
3. 佳木斯大学机械工程学院, 佳木斯 154007; 4. 天津理工大学机械工程学院, 天津 300384)

摘要: 为实现超级稻育秧播种过程按“穴粒数”播补种的思路,需要对播种钵体秧盘上每个穴位的种子数进行精确检测。传统的单一面积法和平均灰度值法虽然简单,但检测精度较低,无法准确识别每个穴位种子粒数,最终影响播种质量。考虑到种子单个连通区域的形状参数与粒数之间存在密切关系,提出一种基于改进形状因子的钵体秧盘播种质量检测方法。首先采用 RGB 加权法对彩色图像进行灰度化处理,Otsu 分割阈值算法进行二值化,形态学算法进行去噪;再利用掩膜定位技术提取出秧盘中每个穴位内的种子图像并进行连通域检测,测量单个连通域的面积、周长、最小外接多边形面积等参数,计算出改进后的形状因子,结合单连通域面积大小,完成单个连通域种子 0 粒(含杂质)、1 粒、2 粒、3 粒、4 粒及以上情况的检测,并通过累加实现穴粒数的检测。实验结果表明,该方法对于单个连通域内种子数在 0~3 粒时识别准确率均达到 95% 以上,4 粒以上种子的识别率达到 90%;穴粒数的平均检测准确率均达到 95% 以上,每幅图像平均处理时间为 0.518 s,满足在线检测的需求,为后续播补种提供了参考依据。

关键词: 精密播种 钵体秧盘 质量检测 图像处理与识别 形状因子

中图分类号: S223.1⁺3; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)11-0029-07

Research on the Method of Seeding Quantity Detection in Potted Seedling Tray of Super Rice Based on Improved Shape Factor

Wang An¹ Ding Xiaodi¹ Ma Xu² Chen Yingjia³ Zhou Haibo^{3,4}

(1. College of Information Science and Electronic Technology, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China
2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China
3. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China
4. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: To achieve super rice seeding according to the numbers of seeds per bunch, it requires precise detect the seeding quantity per bunch in the potted seeding tray. The traditional detection method based on the area and average gray has low detection precision, which could not accurately identify the number of seeds per bunch and reduce adult seedling rate. There is a close relationship between the shape features of seeds in single connected region and the seeding quantity. In this article, a method base on the improved shape factor was presented to detect the seeding quantity per bunch in the potted seedling tray. Firstly, the RGB weighting method was used to gray the color image, the Otsu algorithm was used to binary image processing, morphological filtering algorithm was used to remove the image noise. Secondly, the small image of seeds per punch in potted seedling tray was extracted by the masked location-based technology and the single connected region on the small image was detected. Thirdly, the shape features

收稿日期: 2015-06-16 修回日期: 2015-08-15
^{*} 国家自然科学基金资助项目(51275209)、黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划资助项目(1251G061)、黑龙江省高校科技成果产业化前期研发培育资助项目(1253CGZH06)、佳木斯大学自然科学研究面上资助项目(13Z1201575)和佳木斯大学研究生科技创新资助项目(LM2014_011)
作者简介: 王安, 讲师, 主要从事计算机图像处理和模式识别研究, E-mail: wangan8468@126.com
通讯作者: 周海波, 教授, 主要从事智能检测与控制技术研究, E-mail: haibo_zhou@163.com

of each seed were extracted, such as the area and perimeter of single connected region and area of the minimum enclosing circumscribing convex polygon. Then, the improved shape factor was computed according to shape features of each seed. Lastly, the improved shape factor and the area of single connected region were used to classify seed connected regions into cavity (including impurities), one particle, two particles, three particles, or four particles and above. After adding up the particles of each bunch, the seedling tray seeding quantity can be obtained. The result showed that the detection accuracy of the number of seeds between zero particle and three particles in every single connected region was up to 95% and the detection accuracy of the number of seeds more than four particles in every single connected region was up to 90%. The detection accuracy of the number of seeds in every bunch was up to 93%. Each image was processed less than 0.518 seconds. It's proved that the method of potted seedlings tray sowing quantity detection meets the requirement of automated rice sowing test line. The research result can provide reference for the follow-up work of reseed.

Key words: Precision Seeding Potted seedling tray Quality detection Image processing and recognition Shape factor

引言

超级稻对于解决中国的粮食问题起到了重大作用,得到了大面积推广。在育秧移栽过程中,为保证超级杂交稻 1~2 株/穴的成秧率,要求精密播种技术指标达到 2~3 粒/穴,但目前的机械化育秧播种性能均存在 1%~5% 的空穴率^[1-3],单粒率也偏高,一次播种达到播种目标的难度很大,为此,针对超级杂交稻育秧秧盘进行播种质量在线检测技术研究,可以为后续播种提供重要依据,对降低播种时的空穴率和单粒率,提高水稻的成秧率有重要作用。传统采用人工检测和微机监测系统,存在成本高、效率低、得出粒距不够精确,无法对各种重播情况准确检测等缺点^[4-8]。近几年,针对超级稻育秧秧盘检测的研究逐渐展开,齐龙等利用投影分割算法和灰度统计方法来识别种子数量^[9];王辰星等利用分水岭算法和区域面积统计方法来识别种子数量^[10];谭穗妍等利用人工神经网络来识别种子数量^[11];Zhang 等^[12]利用椭圆拟合的方法分割粘连的谷物并识别粒数量。灰度值法和面积统计法识别准确率可达 80%,每幅图像处理时间约为 0.25 s,但在种子粘连、重叠程度高的情况下识别准确率较低;人工神经网络方法主要提取形状参数和 7 个不变矩进行训练,识别率可达 94.4%,每幅图像处理时间约为 0.823 s,但在训练样本量偏少时,识别的准确率下降较大;椭圆拟合的方法对于粘连度高的谷物分离效果差^[13-17]。为解决以上问题,提高穴粒数的识别正确率,本文利用掩膜定位覆盖技术实现穴位的精确定位,对传统的形状因子进行改进,并结合单连通域面积大小实现对秧盘穴位内种子空穴、1 粒、2 粒、3 粒、4 粒及以上情况的检测,以提高种子在粘连和

重叠状态下粒数的识别准确率,缩短每幅图像的平均处理时间,满足在线检测需要。

1 检测系统硬件构成

检测系统采用 2YCL-450 型水稻秧盘育秧精密播种机作为实验平台,并安装在播种与补种工序之间。系统主要部件包括:CCD 相机、光箱、光电式图像采集控制传感器、直流电源、数据采集卡、计算机(如图 1)。CCD 相机采用德国 Allied Vision Technologies 公司生产的 Manta G-201B/C30fps,图像分辨率为 1 624 像素×1 234 像素;光箱光源采用功率为 12 W 的 LED 光带,沿光箱内壁呈环形分布;数据采集卡为 NI 公司的 USB6008;计算机配置为 3.4 GHz CPU、8 GB 内存;光电传感器选用博光 E18-D80NK 型,控制相机拍摄。当秧盘进入检测区域的指定位置,光电传感器产生高电平信号,信号通过数据采集卡传送给计算机,计算机控制 CCD 相机进行秧盘图像采集,系统软件对采集到的图像进行处理,完成种子数量的识别和存储。

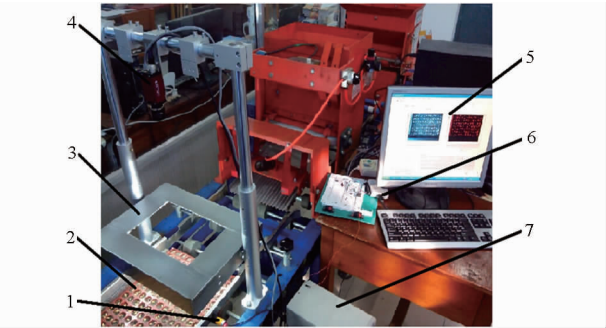


图 1 实验装置

Fig. 1 Configuration of experimental device

- 1. 光电传感器 2. 钵体秧盘 3. 光箱 4. CCD 相机 5. 计算机
- 6. 数据采集卡 7. 电源

2 钵体秧盘图像处理方法

2.1 图像预处理

图像预处理主要包括对彩色图像的灰度化、二值化、去噪等,预处理后直接获取秧盘内种子二值图像。

2.1.1 图像灰度化

如图 2a 所示,摄像头采集的原始图像为 24 位彩色 RGB 图像,采用 RGB 加权法转换为 8 位的灰度图像。其转换公式为

$$I=0.299R+0.587G+0.114B+0.5 \quad (1)$$

式中 I ——图像灰度

R ——图像红色分量

G ——图像绿色分量

B ——图像蓝色分量

通过灰度变换,原始彩色图像被转换成为 8 位灰度图像,变换结果如图 2b 所示。

2.1.2 图像二值化

选用 Otsu 分割阈值算法对灰度图像进行二值化,处理结果如图 2c 所示。其中最佳阈值通过最小二乘法获取,能有效克服图像亮度和对比度的影响。

2.1.3 图像去噪

种子图像去噪分两步进行:首先采用形态学中的开运算^[18],选用 3×3 的结构模板,对二值化后的图像进行处理,处理后种子图像的轮廓光滑、狭窄间断断开、毛刺消失;然后采用面积剔除法去除秧盘图像中的反光点,设定 55 像素面积为阈值,将低于该值的连通区域直接从图像中移除。图像经过两步去噪后的结果如图 2d 所示。

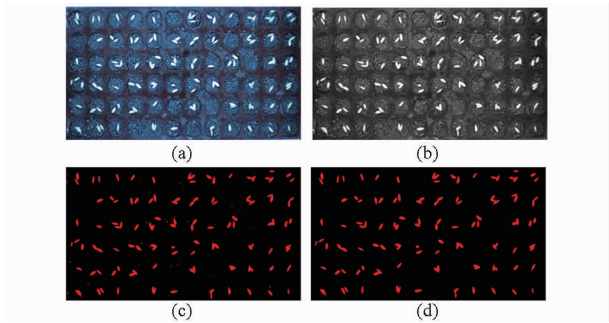


图 2 图像预处理结果

Fig.2 Results of image preprocessing

(a) 原始彩色图像 (b) 灰度化图像
(c) 二值化图像 (d) 去噪后图像

2.2 掩膜图像的建立

根据穴位形状和大小建立掩膜图像,让掩膜准确覆盖秧盘图像中的对应穴位,通过掩膜内图像的数据分析,可得到对应穴位的相关信息。研究用钵体秧盘尺寸为 $290\text{ mm} \times 580\text{ mm}$,每次拍摄后选择

6×12 个穴进行检测,建立掩膜数量 6×12 个,掩膜形状为圆形。掩膜图像建立过程为:

(1)摄像头标定,对采集图像进行畸变调整。

(2)测量秧盘图像中每个穴位的像素直径以及穴位之间行和列的像素间距。

(3)按像素直径建立大小相同的 72 个圆形掩膜,按行和列的像素间距将圆形掩膜排成 6 行 $\times$ 12 列,对每个圆形掩膜进行标记,生成图像如图 3a 所示。

(4)对秧盘图像进行倾斜度调整,获取左上角第 1 个穴位上边缘的行坐标和左边缘的列坐标,作为覆盖起始点坐标,将步骤(3)生成图像与二值化后秧盘图像进行整体复合,得到掩膜覆盖后的穴位图像。结果如图 3b 所示。

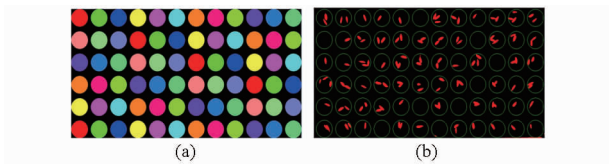


图 3 掩膜图像

Fig.3 Mask image

(a) 掩膜图像 (b) 掩膜覆盖后二值图像

2.3 单个掩膜内连通区域检测与标记

对单个掩膜进行连通域检测,将其内部种子按是否粘连分成多个单连通域,为研究单个连通域内形状特征与种子数量关系做准备。本文选择了一种快速的连通域检测方法:

(1)提取单个掩膜内图像,建立一个与掩膜像素大小一致的标号矩阵,用来存放检测后的连通域的标号,矩阵内元素初始值全部为“0”。二值化图像中种子图像灰度为“1”,背景图像灰度为“0”,连通域标号为 N (N 的初始值为 0)。

(2)按从左到右,从上到下的顺序对掩膜内图像进行扫描。扫描中遇到灰度为“0”时,其标号矩阵中对应位置的标号值为 0。当遇到灰度为“1”的像素点时,依次判断该位置的右上、正上、左上和左边 4 个点的灰度是否为“1”,如均不为“1”则 $N = N + 1$,再将 N 的值写到标号矩阵相应位置;如有一个值为“1”,则将值为“1”的点对应的标号写到标号矩阵检测点的位置。其判断公式为

$$N(x,y) = \begin{cases} N(x-1,y+1) & (f(x,y) = f(x-1,y+1) = 1) \\ N(x-1,y) & (f(x,y) = f(x-1,y) = 1) \\ N(x-1,y-1) & (f(x,y) = f(x-1,y-1) = 1) \\ N(x,y-1) & (f(x,y) = f(x,y-1) = 1) \\ N_{\max} + 1 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (2)$$

式中 (x,y) ——像素点坐标值
 $N(x,y)$ ——坐标为 (x,y) 的标号值
 $f(x,y)$ ——坐标为 (x,y) 的像素值
 $N_{\max}$ ——当前标号最大值

(3)在标号矩阵中,相同 N 值的区域为同一个连通域, N 值为“0”的区域为背景, $N_{\max}$ 表示单连通域的个数,由于标号矩阵和单个穴位像素尺寸一致,后续形状参数的测量直接利用每个穴位的标号矩阵进行。

3 种子形状特征统计与数量识别方法

研究使用株两优 819、两优培九、沈农 606 等多个超级稻品种的种子和佳木斯普田农业科研所未染色的北稻 3 号常规稻种子作为分析对象。在实验中分别对单粒种子和单个连通域内的种子形状特征进行研究,并对传统形状因子进行改进,建立一套以面积和改进形状因子阈值为基础的种子粒数识别方法。该方法对不同品种水稻种子进行检测时,只需通过实验调整面积划分区间和改进形状因子的判断阈值。实验表明,该方法对不同品种水稻种子粒数检测,识别准确率基本相同。下面以北稻 3 号为例对该方法进行阐述。

3.1 种子形状特征

3.1.1 种子形状特征参数的提取

种子的形状特征研究是将种子几何特征数量化。本文主要研究单连通域的形状特征,包括:周长、面积、最小凸多边形面积。

(1)单连通域周长的计算

通过遍历单连通区域,得到边缘像素点位置坐标。单连通区域的周长采用边缘相邻点间的距离之和进行计算,公式为

$$C = \sum_{i=0}^m \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (3)$$

式中 C ——单连通域周长(像素数)
 m ——单连通域标号矩阵边缘像素点总数
 (x_i,y_i) ——第 i 个边缘点坐标
 (x_{i+1},y_{i+1}) ——第 $i+1$ 个边缘点坐标

(2)单连通域面积的计算

单连通域面积采用单连通区域内的像素点个数来表示。利用轮廓跟踪得到单连通域轮廓坐标和轮廓线像素总数,遍历统计得到轮廓内像素总数,两者之和为单连通域面积,计算公式为

$$S_0 = T_1 + T_2 \quad (4)$$

式中 S_0 ——单连通域面积(总像素数)
 T_1 ——单连通域轮廓线上像素点数
 T_2 ——单连通域轮廓线内像素点数

(3)最小凸多边形面积计算

遍历单连通区域,得到边缘像素点位置坐标,采用链表保存。以链表中的边缘点为输入,采用 Graham 算法^[19]求取区域凸包线,以凸包线为轮廓,采用单连通域面积计算方法计算最小凸多边形面积。

(4)传统形状因子与改进形状因子计算

传统形状因子与单连通域的形状特征之间存在一定关系,可以反映出被测连通域的大致形状和单连通域内种子粘连、重叠的复杂程度^[20-22]。传统形状因子主要用于被测连通区域的形状识别,其计算公式为

$$F = \frac{C^2}{4\pi S_0} \quad (5)$$

式中 F ——传统形状因子

单连通域面积和其外接最小凸多边形面积的比值,能直接反映同一连通面积下单连通域轮廓的平滑程度,利用其对于传统形状因子进行加权,得到改进形状因子,该因子可以反映一定面积区间内种子粒数的差异,计算公式为

$$Q = \frac{S_0}{S_1 F} \quad (6)$$

式中 Q ——改进形状因子

S_1 ——单连通域外接最小凸多边形面积

3.1.2 单粒种子形状特征

针对播种时种子大小和穴位内土壤起伏会造成种子与水平面呈现夹角的情况,进行单粒种子形状特征的研究。随机选取北稻 3 号种子 200 粒进行粒长测量,结果如表 1 所示。

表 1 200 粒北稻 3 号种子粒长分布

Tab. 1 Grain length distribution of 200 Beidao - 3 seeds

粒长/mm	0 ~ 7	7 ~ 8	8 ~ 9	> 9
粒数/粒	10	76	102	12

按粒长的分布情况将单粒种子分为大(大于 9 mm)、中(7 ~ 9 mm)、小(0 ~ 7 mm)3 类,种子粒长集中在中粒区域,小粒和大粒区域较少,通过调节土壤坡度,将单粒种子在穴位内按与水平面呈 0°、30°、60°、90°摆放,测量周长、面积、最小凸多边形面积,计算出传统形状因子和改进形状因子。每项测量 10 组,取其平均值进行记录,结果如表 2 所示。从表 2 数据得到单粒种子的形状特性规律:①同一大小种子面积随着水平方向角度的增大逐渐减小。②同一大小的种子传统形状因子随着水平方向角度的增大而减小,改进形状因子随着水平方向角度增大而增大。③在同一水平方向角度下,种子大小对

表 2 不同大小单粒种子不同角度的形状特征

Tab.2 Shape feature with different sizes and different angles seeds

种子大小分类		角度/(°)			
		0	30	60	90
大	周长/像素	114. 7	107. 6	97. 6	48. 04
	面积/像素	638	557	524	191
	最小凸多边形面积/像素	675	583	553	199
	传统形状因子	1. 63	1. 42	1. 37	1. 06
	改进形状因子	0. 58	0. 67	0. 69	0. 91
中	周长/像素	107. 8	98. 67	94. 73	46. 37
	面积/像素	604	546	514	166
	最小凸多边形面积/像素	647	574	536	173
	传统形状因子	1. 53	1. 42	1. 39	1. 031
	改进形状因子	0. 61	0. 67	0. 69	0. 93
小	周长/像素	88. 42	85. 25	79. 84	45. 79
	面积/像素	472	390	365	148
	最小凸多边形面积/像素	499	410	386	153
	传统形状因子	1. 51	1. 42	1. 37	1. 05
	改进形状因子	0. 63	0. 67	0. 69	0. 92

传统形状因子和改进形状因子的影响不大。

3.1.3 单连通域内种子形状特征

单连通域内种子的形状特征随种子粒数的增加和重叠程度的不同存在差异,实验通过对生产中随机采集的 1 000 个单连通域图像实验统计,得到1 粒、2 粒、3 粒、4 粒及以上种子的周长、面积、最小凸多边形面积、传统形状因子和改进形状因子的变化范围,如表 3 所示。实验同时对不同粒数种子的形状因子随面积的分布规律展开研究,随机选取测量得到的不同粒数种子的形状因子和面积数据,通过 Excel 软件插入散点图,其关系曲线如图 4 所示,选择多项式进行趋势预测及回归分析,建立不同粒数的形状因子回归方程为

$$\begin{cases} Q_1 = 1.1 \times 10^{-6} x^2 - 0.0015x + 1.0585 & (85 \leq x < 700) \\ Q_2 = -3 \times 10^{-7} x^2 + 0.0008x - 0.0992 & (400 \leq x < 1\,300) \\ Q_3 = 2.3 \times 10^{-7} x^2 - 0.0002x + 0.178 & (700 \leq x < 2\,000) \\ Q_4 = 6.5 \times 10^{-8} x^2 - 0.0001x + 0.1528 & (x \geq 700) \end{cases} \quad (7)$$

式中 x ——单连通域内种子的面积(像素数)
 Q_1 ——1 粒种子的改进形状因子
 Q_2 ——2 粒种子的改进形状因子
 Q_3 ——3 粒种子的改进形状因子
 Q_4 ——4 粒种子的改进形状因子

由图 4 及式(5)可知,1 粒种子改进形状因子随面积增大而减小,2、3、4 粒及以上粒数种子的改进形状因子随面积增大而增大;面积相同区域内不同粒数种子的改进形状因子差别明显。

表 3 单连通域内不同数量种子的形状特征

Tab.3 Shape feature with different sizes seeds in single connected region

测量参数	种子数/粒			
	1	2	3	≥4
周长范围/像素	43. 21 ~ 134. 36	113. 39 ~ 216. 58	162. 02 ~ 266. 79	≥245. 96
面积范围/像素	85 ~ 652	410 ~ 1 241	762 ~ 1 650	≥1 230
最小凸多边形面积范围/像素	92 ~ 708	476 ~ 1 441	1 076 ~ 1 960	≥1 703
传统形状因子范围	1. 05 ~ 1. 95	1. 81 ~ 3. 66	2. 31 ~ 4. 65	3. 67 ~ 4. 52
改进形状因子范围	0. 47 ~ 0. 94	0. 17 ~ 0. 48	0. 13 ~ 0. 38	0. 10 ~ 0. 19

3.2 种子数量检测方法

综合单粒和单连通域种子图像形状特征,首先根据实验获取的不同粒数种子面积范围,对单连通域按面积分段,给出每个分段区间内可能存在的种子粒数,再将分段点的面积值分别代入式(7)中的回归方程,计算出不同粒数种子的改进形状因子在

每个分段区间内的上、下限值(实验发现:单个分段区间内,不同粒数改进形状因子范围不重合),选取每个分段区间内相邻粒数改进形状因子的上、下限的平均值,作为该两种粒数在区间内的分割阈值。多品种种子实验证明该方法在实际阈值划分中简单易行,阈值划分连续,粒数识别准确率较高。本实验

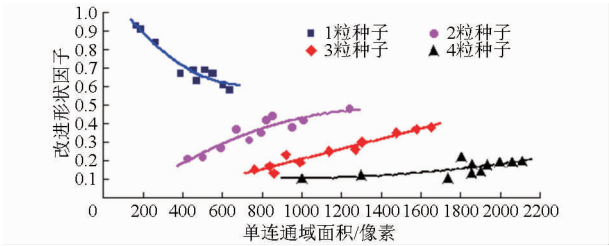


图 4 不同粒数种子改进形状因子与面积关系曲线

Fig.4 Relation about improved shape factor and areas

中阈划分具体方法为:面积在 85 以下时直接判断为空穴。面积在 85 ~ 700 区间内仅存在 1 粒和 2 粒的种子分布,该区段内以面积为 700 时计算出 Q_1 和 Q_2 值,二者和的平均值(0.43)作为判断阈值,大于等于该阈值为 1 粒,小于该值为 2 粒。面积在 700 ~ 1 300 区间内实验中存在 2、3、4 粒及以上种子的分布,该区段取面积为 700 时的 Q_2 值与面积为 1 300 时的 Q_3 值和的平均值为 2 粒种子的判断阈值(0.31),大于等于该值为 2 粒;取面积为 700 时的 Q_3 值与面积为 1 300 时的 Q_4 值和的平均值为 4 粒及以上种子的判断阈值(0.14),小于等于该值为 4 粒及以上种子;改进形状因子在上面两个阈值中间时判定为 3 粒种子。面积在 1 300 ~ 2 000 区间内实验中仅存在 3 粒和 4 粒及以上种子分布,取面积为 1 300 时的 Q_3 值与面积为 2 000 时的 Q_4 值和平均值为 3 粒和 4 粒及以上种子的判断阈值(0.25),大于该阈值为 3 粒,小于等于该阈值为 4 粒及以上。面积在 2 000 以上时实验中均为 4 粒及以上种子,该面积区间内直接判断为 4 粒及以上。种子数量与改进形状因子对照关系如表 4 所示。确定单连通域内的种子粒数后,再将单个掩膜内检测到的单连通域种子粒数相加即得到种子的穴粒数。

表 4 单连通域种子数量与改进形状因子对照表

Tab.4 Comparison table of seed numbers and improved shape factor in single connected region

面积/像素	改进形状因子	种子数/粒
0 ~ 85		0
85 ~ 700	≥ 0.43	1
	< 0.43	2
700 ~ 1 300	≥ 0.31	2
	0.14 ~ 0.31	3
	≤ 0.14	≥ 4
1 300 ~ 2 000	> 0.25	3
	≤ 0.25	≥ 4
$> 2 000$		≥ 4

随机选取一组种子在穴位内分布图像(图 5a)进行检测,结果按其实际位置对应地保存在 6×12 的矩阵中,结果如图 5b 所示。

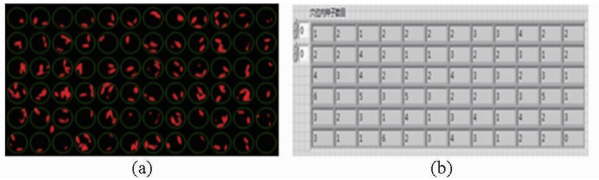


图 5 穴粒数检测结果

Fig.5 Detection result of seeds per bunch

(a) 秧盘播种图像 (b) 检测结果

4 实验与结果分析

4.1 实验结果

从育秧播种流水线上连续采集 30 幅秧盘图像。首先采用人工方法记录每幅图像中每个穴位内的种子数、单连通域数和每个单连通域内种子实际的粒数。然后采用改进形状因子方法,分别对上述 30 幅图像进行单连通域种子数量识别,识别结果与人工实际统计结果进行比较,求得单连通域识别准确率(单连通域准确率为单连通域内检测出种子数与单连通域内人工检测种子数的百分比),检测结果如表 5 所示。再对单个穴位内单连通域种子数量累加求得穴粒数,与人工统计的穴粒数进行比较,得到穴粒数识别准确率(穴粒数准确率为单个穴位内检测出种子总数与单连通域内人工检测种子总数的百分比),检测结果如表 6。单连通域内种子数量在 0 ~ 3 粒时的识别准确率均达到 95% 以上,4 粒以上的识别准确率达到 90%;穴粒数的平均检测准确率均达到 95% 以上。每幅图像平均处理时间为 0.518 s。

表 5 单连通域种子粒数检测结果统计表

Tab.5 Statistics table of seed number detection result in single connected region

单连通域种子数/粒	0(含杂质)	1	2	3	≥ 4
总数/粒	70	2953	617	345	98
识别正确数/粒	67	2897	593	328	89
识别准确率/%	95.7	98.1	96.1	95.1	90.8

表 6 穴粒数检测结果统计表

Tab.6 Statistics table of seed number detection result per bunch

种子数/粒	0	1	2	3	≥ 4
穴位总数	89	423	848	653	147
正确识别数	85	418	821	627	140
识别准确率/%	95.5	98.8	96.8	96.0	95.2

4.2 结果分析

(1)采用改进形状因子方法进行种子粒数检测,首先通过连通域检测获取单个穴位内的连通域数目,针对单个连通域计算面积和改进形状因子进

行种子数量识别,将穴位内单个连通域种子粒数相加实现种子穴粒数的识别,识别精度较高。该方法解决了种子粘连、重叠状态下识别准确率低的问题,实现了空穴以及 1、2、3、4 粒及以上种子粒数的识别。

(2)单连通域内种子数量检测结果显示,1 粒种子的检测准确率最高。空穴检测时,由于土壤中存在较大的、与种子颜色接近的砂石颗粒物和种壳等杂物,在二值化后被误当作种子,造成识别率偏低。种子粒数在 4 粒及以上时,由于底土表面土壤颗粒掩盖种子部分,以及光箱内光强分布不均匀,引起种子二值化后种子失真,外围轮廓不完整影响形状因子值,造成识别率偏低。

(3)在实验中发现,当多粒种子在重叠率较大时,会造成单连通域面积偏低,使改进形状因子对粒数的判断阈值标准改变,造成判断粒数较实际粒数偏少。在实际播种中,重叠率较大的情况出现较少,对整体播种质量检测影响较小,可忽略不计。

5 结论

(1)提出了一种基于改进形状因子的钵体秧盘播种质量检测的方法,利用掩膜定位覆盖技术实现穴位的精确定位,以穴位内连通域检测和单连通域内种子数量识别为基础,通过实验统计,建立了不同粒数的形状因子回归方程,并计算出在不同面积区间内的改进形状因子阈值,从而可以精确识别单连通域的种子粒数和穴粒数。

(2)实验结果表明,该方法能有效进行穴位中的空穴、1 粒、2 粒、3 粒、4 粒及以上的检测,单连通域内种子数量在 0 ~ 3 粒时的识别准确率均达到 95% 以上,4 粒以上的识别准确率达到 90%;穴粒数的平均检测准确率均达到 95% 以上。在种子粘连、重叠情况下,也拥有较高的识别率。

(3)系统对于每幅秧盘图像的处理时间约为 0.518s,满足在线检测的要求。通过对钵体秧盘穴粒数的检测可以有效分析出播种质量,为后续在线播种提供参考依据。

参 考 文 献

- 何文洪,陈惠哲,朱德峰.不同播种量对水稻机插秧苗素质及产量的影响[J].中国稻米,2008(3):60-62.
He Wenhong, Chen Huizhe, Zhu Defeng. Effects of different sowing densities on seedling quality and yield of rice of mechanical transplanting [J]. China Rice, 2008(3): 60-62. (in Chinese)
- 陶桂香,衣淑娟,汪春,等.基于高速摄像技术的水稻钵盘精量播种装置投种过程分析[J].农业工程学报,2012,28(增刊2):197-201.
Tao Guixiang, Yi Shujuan, Wang Chun, et al. Observation and analysis on rice bowl dish precision sowing device in dropping processing by high-speed photograph [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp.2): 197-201. (in English)
- 王永维,曹林,王俊,等.气吸式水稻育秧整盘播种机吸孔流场模拟与播种试验[J].农业机械学报,2014,45(4):96-102.
Wang Yongwei, Cao Lin, Wang Jun, et al. Flow field simulation and seeding experiment on suction nozzle of cupule-type rice seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 96-102. (in Chinese)
- 梁宝忠,赵永亮,赵金英,等.水稻直播机设计与试验[J].农业机械学报,2012,43(增刊):63-66.
Liang Baozhong, Zhao Yongliang, Zhao Jinying, et al. Design and test of rice direct seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 63-66. (in Chinese)
- 张国忠,臧英,罗锡文,等.梗稻穴播排种器直线型搅种装置设计及排种精度试验[J].农业工程学报,2014,30(17):1-9.
Zhang Guozhong, Zang Ying, Luo Xiwen, et al. Line-churning tooth design and metering accuracy experiment of rice pneumatic precision hill-drop seed metering device on pregnant Japonica rice seed[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(17): 1-9. (in Chinese)
- 左彦军,马旭,玉大略,等.水稻芽种窝眼窄缝式气吸滚筒排种器流场模拟与试验[J].农业机械学报,2011,42(2):58-62.
Zuo Yanjun, Ma Xu, Yu Dalu, et al. Flow field numerical simulation of suction cylinder-seeder for rice bud seed with socket slot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 58-62. (in Chinese)
- 俞亚新,赵匀,张斌.水稻精密播种器的研究现状与展望[J].农机化研究,2007(9):5-8.
Yu Yaxin, Zhao Yun, Zhang Bin. Review for the research of the rice precision seeder[J]. Journal of Agriculture Mechanization Research, 2007(9): 5-8. (in Chinese)
- 李泽华,马旭,谢俊锋,等.双季稻区杂交稻机插秧低播量精密育秧试验[J].农业工程学报,2014,30(6):17-27.
Li Zehua, Ma Xu, Xie Junfeng, et al. Experiment on precision seedling raising and mechanized transplanting of hybridrice under low sowing rate in double cropping area [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(6): 17-27. (in Chinese)
- 齐龙,马旭,周海波.基于机器视觉的超级稻秧盘育秧播种空穴检测技术研究[J].农业工程学报,2009,25(2):121-125.
Qi Long, Ma Xu, Zhou Haibo. Seeding cavity detection in tray nursing seedlings of super rice based on computer vision technology [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 121-125. (in Chinese)

- Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2001, 48(3):787–802.
- 22 卢振坤. 参数化的超声回波模型及其参数估计[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
Lu Zhenkun. Parameterized ultrasonic echo model and parameters estimation [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013. (in Chinese)
- 23 Raya R, Frizera A, Ceres R, et al. Design and evaluation of a fast model-based algorithm for ultrasonic range measurements [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2008, 148(1):335–341.
- 24 李书, 陈益. 超声探测弱信号提取方法[J]. 振动、测试与诊断, 2006, 26(1):33–36.
Li Shu, Chen Yi. Study on weak signal extraction in ultrasonic detection [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2006, 26(1):33–36. (in Chinese)
- 25 吴光文, 王昌明, 包建东, 等. 基于自适应阈值函数的小波阈值去噪方法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(6):1340–1347.
Wu Guangwen, Wang Changming, Bao Jiandong, et al. A wavelet threshold denoising algorithm based on adaptive threshold function [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014, 36(6):1340–1347. (in Chinese)
- 26 卜英勇, 王纪婵, 赵海鸣. 基于单片机的高精度超声波测距系统[J]. 仪表技术与传感器, 2007(3):66–68.
Bu Yingyong, Wang Jichan, Zhao Haiming. Ultrasonic distance measure system with high precision based on single-chip microcomputer [J]. Instrument Technique and Sensor, 2007(3):66–68. (in Chinese)
- ~~~~~

(上接第 35 页)

- 10 王辰星, 何瑞银. 基于图像处理的水稻育秧播种质量检测方法的研究[J]. 云南农业大学学报, 2010, 25(2):153–158.
Wang Chenxing, He Ruiyin. Study on seeding quality detection ways for nursing seedlings of rice based on digital image processing [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2010, 25(2):153–158. (in Chinese)
- 11 谭穗妍, 马旭, 吴露露, 等. 基于机器视觉和 BP 神经网络的超级杂交稻穴播量检测[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21):201–206.
Tan Suiyan, Ma Xu, Wu Lulu, et al. Estimation on hole seeding quantity of super hybrid rice based on machine vision and BP neural network [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(21):201–206. (in Chinese)
- 12 Zhang G, Jayas D S, White N D G. Separation of touching grain kernels in an image by ellipse fitting algorithm [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(2):135–142.
- 13 孙敬飞, 杨红卫. 形态学分水岭算法在粘连大米图像分割中的应用[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(6):84–87.
Sun Jingfei, Yang Hongwei. Application of morphological watershed algorithm in image segmentation of adhering rice [J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 30(6):84–87. (in Chinese)
- 14 Tong J H, Jiang B, Jiang H Y. Machine vision techniques for the evaluation of seedling quality based on leaf area [J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(3):369–379.
- 15 Duan Lingfeng, Yang Wanneng, Bi Kun, et al. Fast discrimination and counting of filled/unfilled rice spikelets based on bi-modal imaging [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(1):196–203.
- 16 Huang Chenglong, Yang Wanneng, Duan Lingfeng, et al. Rice panicle length measuring system based on dual-camera imaging [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 98:158–165.
- 17 李世武, 陈志, 杨敏丽. 农机农艺结合问题研究[J]. 中国农机化, 2011(4):10–13.
Li Shiwu, Chen Zhi, Yang Minli. Research on combination of agricultural machinery and agronomy [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2011(4):10–13. (in Chinese)
- 18 程洪, 史智兴, 尹辉娟, 等. 基于机器视觉的多个玉米籽粒胚部特征检测[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19):145–151.
Cheng Hong, Shi Zhixing, Yin Huijuan, et al. Detection of multi-corn kernel embryos characteristic using machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(19):145–151. (in Chinese)
- 19 吴文周, 李利番, 王结臣. 平面点集凸包 Graham 算法的改进[J]. 测绘科学, 2010, 35(6):123–125.
Wu Wenzhou, Li Lifan, Wang Jiechen. An improved Graham algorithm for determining the convex hull of planar points set [J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(6):123–125. (in Chinese)
- 20 王丰元, 周一鸣. 种子形状参数检测的计算机图像处理技术[J]. 农业机械学报, 1995, 26(2):52–57.
Wang Fengyuan, Zhou Yiming. Seed shape detection and measurement with computer image processing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(2):52–57. (in Chinese)
- 21 王勇, 杨公训, 路迈西. 图像识别中颗粒形状表征方法的研究[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2005, 25(1):27–29.
Wang Yong, Yang Gongxun, Lu Maixi. The study on the method of signifying the shape coefficient of grain in image recognition [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology: Natural Science, 2005, 25(1):27–29. (in Chinese)
- 22 刘光蓉, 周红, 管庶安. 颗粒形混合农产品的图像检测与分类[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11):344–348.
Liu Guangrong, Zhou Hong, Guan Shu'an. Image detection and classification of particle-shape mixed agricultural products [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11):344–348. (in Chinese)