

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.01.010

# 基于机器视觉的大豆机械化收获质量在线监测方法

陈满 倪有亮 金诚谦 徐金山 张光跃

(农业农村部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

**摘要:** 针对大豆机械化收获过程中缺少联合收获机作业质量(破碎含杂率)在线监测装置的问题,提出了基于机器视觉的大豆机械化收获图像采集系统、大豆成分分类识别算法和谷物联合收获机作业质量监测方法。采用改进分水岭算法对大豆图像进行有效分割,筛选 RGB 和 HSV 颜色空间特征值,基于颜色特征值对分割后大豆图像各闭合区域进行分类识别,构建了量化评价模型,测试了算法的准确性,并进行了相关的田间试验。结果表明, $R$ 、 $S$ 、 $H$  分量一阶矩特征值对大豆各成分具有较好的特征分离性,通过这 3 个分量颜色阈值能够很好地进行大豆成分分类;系统大豆完整籽粒查准率为 87.26%、查全率为 86.17%,大豆破碎籽粒查准率为 86.45%、查全率为 79.42%,大豆杂质查准率为 85.19%、查全率为 83.69%;在田间测试过程中,本文设计的检测方法对谷物联合收获机作业质量性能评定结果与人工检测一致。本文所提出的算法能快速、有效、稳定地识别完整籽粒、破碎籽粒和杂质,量化模型能准确计算出破碎含杂率,从而实现大豆机械化收获质量可视化监测与报警,可为智能谷物联合收获机参数在线监测及自适应控制策略研究提供技术支持。

**关键词:** 大豆联合收获机; 作业质量; 在线监测; 机器视觉; 分类识别; 分水岭算法

中图分类号: TP391.41; S225.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)01-0091-08 OSID: 

## Online Monitoring Method of Mechanized Soybean Harvest Quality Based on Machine Vision

CHEN Man NI Youliang JIN Chengqian XU Jinshan ZHANG Guangyue

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of lack of on-line monitoring device for the quality of soybean during mechanized harvesting, the methods of image acquisition, soybean component identification and quality monitoring for mechanized harvesting were presented based on machine vision. The improved watershed algorithm was used to segment the soybean image effectively, and the color spatial characteristic values of RGB and HSV were used to classify and identify the components of the soybean image. The image acquisition system can acquire a clear soybean image in real time, segment and identify each component of the soybean sample, and calculate the real-time crushing impurity rate of mechanized harvest. The quantitative evaluation model was constructed, and the accuracy of the algorithm was tested and field experiments were carried out. The results showed that the accuracy of whole soybean seeds was 87.26% and 86.17%, respectively. The accuracy of crushed soybean grains was 86.45%, and the recall rate was 79.42%. The detection rate of soybean impurities was 85.19% and 83.69% respectively. The results of quality and performance evaluation of grain combine harvester were consistent with that of manual inspection. The results showed that the proposed algorithm can quickly, efficiently and stably identify intact grains, broken grains and impurities, and the quantization model can accurately calculate the fraction of broken impurities. At the same time, the soybean image acquisition system designed can replace the manual detection, and became an effective method for the quality evaluation of soybean combine harvester. Additionally, it can provide real-time data of the

收稿日期: 2020-04-23 修回日期: 2020-06-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700305、2016YFD0702003)、现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-04-PS26)和中央公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(S202007)

作者简介: 陈满(1985—),男,副研究员,博士,主要从事智能农机控制及自动化装备研究,E-mail: chm\_world@163.com

通信作者: 金诚谦(1973—),男,研究员,博士生导师,主要从事智能农机及农业机械化研究,E-mail: 412114402@qq.com

crushing miscellaneous rate of soybean during mechanized harvesting, realize visual monitoring and alarm, and provide data support for parameter adjustment of intelligent combine harvester, so as to improve the quality of soybean mechanized harvesting.

**Key words:** soybean harvester; work quality; online monitoring; machine vision; classification and identification; watershed algorithm

## 0 引言

大豆是我国主要种植作物之一,在我国粮食作物中占有重要地位<sup>[1]</sup>。机械化生产是大豆规模化、集约化种植的基础,但收获机械参数不适当、无法进行快速调整,则会导致杂质和破碎籽粒等物质的存在,最终影响粮仓内的谷物质量<sup>[2-3]</sup>。脱粒滚筒转速过高会使大豆表面出现裂纹,或被分成两个或多个部分;而风机转速过低则无法将秸秆和豆荚分离出来,导致含杂过高<sup>[4]</sup>。现阶段,大豆联合收获机作业质量的鉴定与检测普遍停留在人工分离检测上,其工作繁琐、效率低<sup>[5]</sup>;在大豆机械化收获过程中,驾驶员了解收获质量时需要停机,依靠肉眼进行判断,由于缺少实时破碎含杂率的数据支撑,因此不能及时发现收获过程存在的问题,导致收获质量参差不齐,影响经济效益。这种鉴定与检测方式还将制约联合收获机参数自适应调控技术发展,从而影响联合收获机智能化水平。

近年来,随着机器视觉和人工智能技术的发展,国内外研究者尝试利用图像处理技术评估谷物的品质,并开展了相关研究工作,如堆叠、粘连谷物图像分割方法研究<sup>[6-8]</sup>、谷物图像特征信息提取研究<sup>[9-11]</sup>和谷物成分识别模型研究<sup>[12-14]</sup>等。随着基础理论研究的深入,克拉斯公司推出了“谷物质量相机”,实现了机械化作业过程中谷物作业质量的实时监测与预警<sup>[15]</sup>;CARMEN等<sup>[16-17]</sup>研制了自动监测小麦籽粒、杂质的传感器;MAHIRAH等<sup>[18-19]</sup>提出了双灯源照明的谷物破碎率与含杂率监测系统;MD ABDUL等<sup>[20]</sup>研究了基于机器视觉的大豆破碎籽粒、含杂识别的试验室检测装置和识别算法;陈进等<sup>[21]</sup>提出了基于机器视觉的水稻杂质与破碎籽粒分类识别方法,构建了机载实时测量系统;杨亮等<sup>[22]</sup>提出了基于遗传算法图像增强、K-means聚类算法、形态特征的破碎玉米籽粒识别方法,并设计了玉米籽粒破碎率在线采样装置。但相关技术仍不成熟,有必要针对联合收获机收获的复杂作业环境进一步开展收获质量在线监测技术的研究。

为实现大豆机械化收获质量的在线监测,本文提出基于机器视觉的大豆机械化收获质量在线监测方法,设计机械化收获过程大豆图像采集视觉系统,

研究基于改进分水岭算法的大豆图像分割算法,在RGB和HSV颜色空间域筛选对大豆各成分具有较好分离特性的颜色特征值,建立基于颜色特征值的大豆成分分类识别算法,制定量化评价模型,以期实现大豆机械化收获作业质量在线监测与作业质量性能评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 图像采集系统

大豆机械化收获图像采集系统主要由工控机(Xplore X SLATE B10型便携式计算机,处理器为Intel酷睿i5 5350U,显卡为Intel HD Graphics 6000,系统内存为8GB)、谷物采集装置、STM32下位机、工业相机、LED光源、电动机等部分组成,如图1所示。

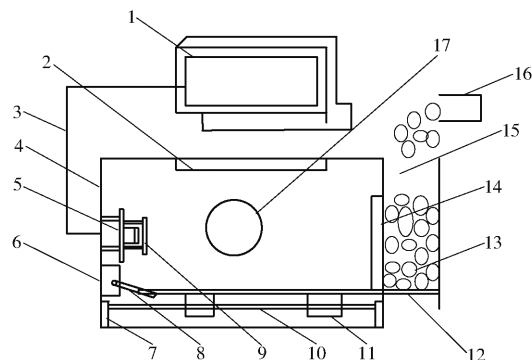


图1 图像采集系统示意图

Fig.1 Schematic of image acquisition system

1. 工控机 2. STM32下位机 3. 控制总线 4. 谷物采集装置
5. 工业相机 6. 电动机 7. 支撑座 8. 拨杆 9. 偏振镜 10. 光轴导轨 11. 滑块 12. 挡板 13. 谷物 14. 透明有机玻璃 15. 谷物采样槽 16. 联合收获机出粮口 17. LED光源

谷物采集装置安装于大豆联合收获机出粮口下方,采集落入谷物采样槽中的大豆,工控机通过工业相机进行一次大豆图像采集并进行图像处理、识别和显示,下位机则控制电动机动作,以获取实时的大豆机械化收获样本,从而实现作业质量在线监测。

### 1.2 图像采集与处理

#### 1.2.1 图像采集

图像采集工作于2018年10月9日在山东省梁山县馆驿镇试验田完成,试验地种植大豆品种为郑豆1307,机械化收获时大豆籽粒平均含水率为12%,百粒质量为22.52g。采用本文所述的图像采

集系统在联合收获机作业过程中实时采集粮箱内的大豆图像,共 100 幅。图像采集设备为迈德威视科技有限公司的彩色工业相机,型号 1080P(V5610)\_PCBA,搭配焦距为 8 mm 相机镜头。工业相机通过 USB 接口与工控机连接。在工控机上利用 Matlab 2014a 开发的大豆机械化收获质量在线监测软件(图 2)进行图像采集与处理,图像分辨率为 1 280 像素 × 1 024 像素,图像格式为 jpg。



图 2 在线监测软件界面

Fig. 2 Online monitoring software diagram

图 3 为大豆样品中最常见组成成分:完整籽粒,即没有机械损伤的大豆籽粒;破碎籽粒,即由于机械收获造成表皮损伤籽粒和破裂籽粒;杂质,即秸秆类杂质(主要包括豆荚、植物茎秆、叶片等)和霉变大豆籽粒。本文主要实现以上 3 种成分的识别,并建立量化模型判断大豆机械化收获质量。

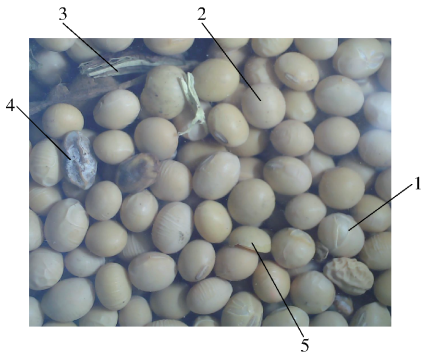


图 3 大豆样本实物图

Fig. 3 Physical map of soybean sample

- 1. 表皮损伤籽粒
- 2. 完整籽粒
- 3. 秸秆类杂质
- 4. 霉变籽粒
- 5. 破碎籽粒

### 1.2.2 图像识别流程

图像系统采集的机械化收获过程的大豆图像存在大量籽粒杂质堆叠、粘连现象,需要从复杂图像中准确识别出大豆样本的各个组成成分。首先获取原图像的 RGB 和 HSV 颜色空间各个分量的值;对图像进行预处理,采用改进分水岭算法对图像进行分割,通过边界跟踪和闭合区域填充获取二值图;然后采用带色彩恢复的多尺度视网膜增强算法(Multi-scale retinex with color restoration, MSRCR)对原始彩

色图像进行补偿和消除,减小噪声干扰,应用最大类间方差法(Otsu)获得二值化图;最后设置  $R$ 、 $G$ 、 $B$ 、 $H$ 、 $S$  阈值,遍历闭合区域识别大豆图像中的各个成分,得到各成分识别结果。图像识别流程如图 4 所示。

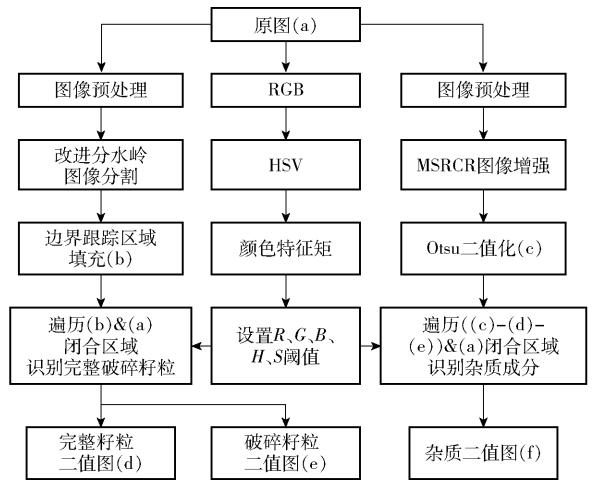


图 4 大豆样本图像识别流程图

Fig. 4 Flow chart of soybean sample image recognition

### 1.2.3 颜色特征提取

图像处理中常用的颜色特征是 RGB 和 HSV,然而大豆样本各个组成成分的  $R$ 、 $G$ 、 $B$ 、 $H$ 、 $S$  值存在较大的重叠部分,因此,需要对颜色特征中的颜色矩进行分析统计以实现大豆样本图像的有效分类。颜色的分布信息主要集中在—阶矩(Mean)、二阶矩(Variance)和三阶矩(Skewness),其中—阶矩描述平均颜色、二阶矩描述颜色方差、三阶矩描述颜色偏移性,颜色矩能够全面呈现图像的颜色分布特征。—阶矩、二阶矩和三阶矩计算式为

$$M_{i1} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{ij} \quad (1)$$

$$M_{i2} = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{ij} - M_{i1})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$M_{i3} = \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (P_{ij} - M_{i1})^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

式中  $i$ ——颜色模型分量, $i=1$  为  $R$  分量, $i=2$  为  $G$  分量, $i=3$  为  $B$  分量, $i=4$  为  $H$  分量, $i=5$  为  $S$  分量

$P_{ij}$ ——彩色图像第  $j$  个像素的第  $i$  个颜色分量  
 $N$ ——图像中像素点个数

$M_{i1}$ 、 $M_{i2}$ 、 $M_{i3}$ ———、二、三阶矩计算值

从采集的 100 幅大豆图像中随机抽取 20 幅图像作为样本,人工选取样本图像中部分完整籽粒、破碎籽粒、杂质的内部区域进行截取,对区域内像素点  $R$ 、 $G$ 、 $B$ 、 $H$ 、 $S$  参数进行统计,得到完整籽粒、破碎籽粒、杂质各部分的颜色特征参数值分布范围统计结

果,如表1所示。

表1 R、G、B、H、S参数的区间范围

Tab.1 Interval range of each R, G, B, H and S parameter

成分类型	完整籽粒	破碎籽粒	杂质	
R	M <sub>11</sub>	162.162 2 ~	143.038 2 ~	69.130 2 ~
		182.703 3	171.589 2	154.762 7
	M <sub>12</sub>	0.056 8 ~	0.027 1 ~	0.097 4 ~
		0.727 9	0.609 4	0.553 5
	M <sub>13</sub>	0.088 2 ~	0.100 3 ~	0.021 2 ~
		2.261 8	0.590 0	1.089 4
G	M <sub>21</sub>	157.081 1 ~	145.235 2 ~	99.569 1 ~
		182.073 3	180.682 5	171.628 1
	M <sub>22</sub>	0.035 8 ~	0.072 1 ~	0.093 7 ~
		0.731	0.755 0	0.698 8
	M <sub>23</sub>	0.055 6 ~	0.267 3 ~	0.279 ~
		2.271 5	1.400 0	1.375 5
B	M <sub>31</sub>	137.991 1 ~	102.958 6 ~	99.001 5 ~
		175.384 4	175.837 7	177.248 1
	M <sub>32</sub>	0.146 1 ~	0.158 6 ~	0 ~
		0.801 7	0.630 9	0.758 2
	M <sub>33</sub>	0.208 9 ~	0.294 1 ~	0 ~
		2.491 2	1.809 6	1.492 3
H	M <sub>41</sub>	0.104 ~	0.145 2 ~	0.429 ~
		0.148	0.402 8	0.623
	M <sub>42</sub>	0.000 1 ~	0 ~	0 ~
		0.000 6	0.002 7	0.000 4
	M <sub>43</sub>	0.000 2 ~	0.000 1 ~	0.000 1 ~
		0.001 9	0.006 2	0.000 6
S	M <sub>51</sub>	0.040 4 ~	0.055 6 ~	0.129 7 ~
		0.187 8	0.320 9	0.303 1
	M <sub>52</sub>	0.000 2 ~	0.000 2 ~	0.000 1 ~
		0.001 3	0.002 2	0.001 8
	M <sub>53</sub>	0.000 3 ~	0.000 5 ~	0.000 3 ~
		0.003 9	0.004 8	0.004 2

### 1.2.4 改进分水岭图像分割算法

本文设计的图像采集系统所采集的机械化收获过程大豆图像颜色特征参数为各成分的粗提取提供依据,但不能精确地分割各个部分,特别是堆叠、粘连部分。为此,利用基于形态学及区域合并的改进分水岭图像分割算法,实现大豆图像精确、有效分割。首先将原彩色图像转换为灰度图像,对灰度图像进行形态学混合开闭操作去除细小噪声,再用拉普拉斯锐化法强化轮廓<sup>[23-26]</sup>;然后以图像区域的亮暗程度为前提标记图像目标物和背景区域,并对修正后的梯度幅值图像分水岭分割;最后利用区域合并算法对分割图像区域合并,将漏标记区域合并到目标物或背景区域中,直到没有新的区域合并成功,图像边缘跟踪分割完成。

### 1.2.5 图像识别结果量化评价

采用查准率  $P_a$ 、查全率  $R_a$  两项指标对各成分识

别结果进行量化评价。查准率指检测结果中的正确部分占整个检测结果的百分比。查全率指检测结果中的正确部分占实际整个正确部分的百分比<sup>[27]</sup>,计算公式为

$$P_a = T_p / (T_p + F_p) \times 100\% \quad (4)$$

$$R_a = T_p / (T_p + F_N) \times 100\% \quad (5)$$

式中  $T_p$ ——正确识别像素数

$F_p$ ——错误识别像素数

$F_N$ ——漏识别像素数

$T_p$ 、 $F_p$ 、 $F_N$ 均采用人工标注的方式得到。

### 1.2.6 破碎含杂率量化模型

现有的大豆机械化作业质量破碎含杂率鉴定大纲的检测方法并不适合基于图像识别的破碎含杂率测定。根据现有测定方法,制定了基于图像识别的破碎含杂率量化模型,计算公式为

$$P_z = \rho_z T_z / (\rho_z T_z + \rho_w T_w + \rho_s T_s) \times 100\% \quad (6)$$

$$P_s = \rho_s T_s / (\rho_w T_w + \rho_s T_s) \times 100\% \quad (7)$$

式中  $P_z$ ——含杂率, %

$P_s$ ——破碎率, %

$T_w$ ——系统识别的完整籽粒像素数

$T_s$ ——系统识别的破碎籽粒像素数

$T_z$ ——系统识别的杂质像素数

$\rho_w$ ——图像每1000像素点的完整籽粒平均质量

$\rho_s$ ——图像每1000像素点的破碎籽粒平均质量

$\rho_z$ ——图像每1000像素点的杂质平均质量

$\rho_w$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_z$ 均采用人工标注方式得到,试验测得  $\rho_w$  和  $\rho_s$  为  $8.6 \times 10^{-4}$  mg/像素,  $\rho_z$  为  $1.3 \times 10^{-4}$  mg/像素。

制定规则实时评定谷物联合收获机作业性能,当大豆机械化收获质量破碎率和含杂率的检测值均低于5%时,本文判定谷物联合收获机作业质量合格,其他情况均为作业不合格。

### 1.2.7 田间试验验证方法

试验地点为山东省临沂市河东区相公街道试验田地块,试验时间为2019年10月20日,如图5所

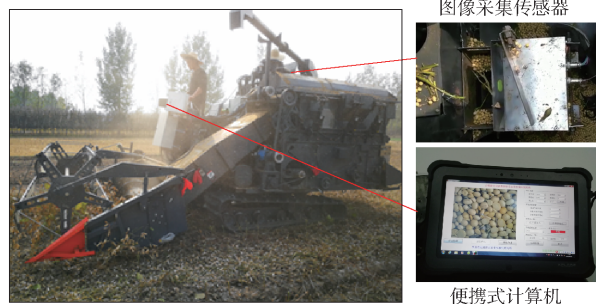


图5 田间收获试验图

Fig.5 Picture of field harvest test

示,试验用大豆品种为郑豆 1307,机械化收获时大豆籽粒平均含水率为 11.8%,百粒质量为 21.47 g。参照 GB/T 5262—2008《农业机械试验条件测定方法的一般规定》、NY/T 738—2003《大豆联合收割机械作业质量》、DG-T 184—2019《大豆联合收割机》开展大豆机械化收获田间试验,共进行 3 个行程的图像采集装置检测和人工检测对比试验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 大豆样本各成分识别

#### 2.1.1 基于改进分水岭算法的图像分割

通过最大类间方差法、传统分水岭算法和改进分水岭算法对采集的大豆样本图像进行分割,效果如图 6 所示。发现传统分水岭算法虽对微弱的边缘具有良好的响应,但对图像中噪声、物体表面细微的灰度变化比较敏感,噪声会恶化图像梯度进而造成分割结果轮廓偏移,通常分割结果会出现严重的“过分割”现象。

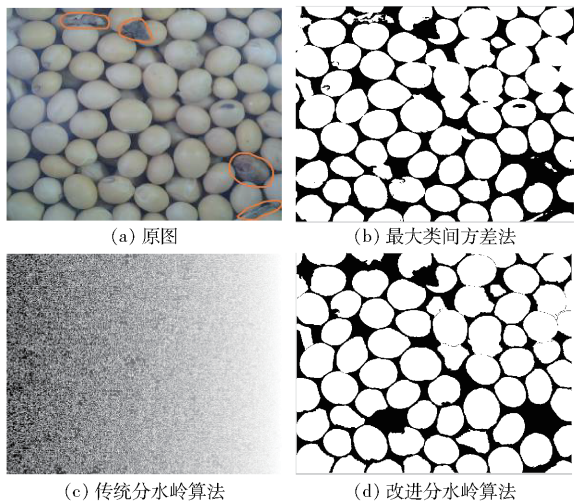


图 6 图像分割效果图

Fig. 6 Effect pictures of image segmentation

改进分水岭算法能够有效抑制分水岭的过分割,同时也能弥补传统形态学标记的漏标记区域问题,在分割效果上优于最大类间方差法。在改进分水岭算法分割过程中,大豆完整籽粒和破碎籽粒可以有效分割获取,在图 6d 的基础上设置颜色阈值,可以有效地识别以上成分;但杂质由于颜色较深,会被标记为背景,从而将其剔除,根据图 6d 的分割结果进行杂质识别不合适,可以根据图 6b 的分割结果,在剔除完整籽粒和破碎籽粒的基础上,实现杂质识别。

#### 2.1.2 完整籽粒识别

完整籽粒像素点  $R \in [115, 186]$ ,  $G \in [104, 185]$ ,  $B \in [90, 180]$ ,  $H \in [0, 0.2]$ ,  $S \in [0.027, 0.24]$ , 而由表 1 可知,完整籽粒  $M_{11} \in [162.1622,$

$182.7033]$ ,  $M_{41} \in [0.104, 0.148]$ ,  $M_{51} \in [0.0404, 0.1878]$  这 3 个参数值明显区别于破碎籽粒、杂质成分,因此,本文以  $M_{11}$ 、 $M_{41}$ 、 $M_{51}$  这 3 个参数区间设置完整籽粒颜色阈值,通过遍历图像的各个闭合区域,统计区域内  $R$ 、 $H$ 、 $S$  分量的一阶矩,进行属于完整籽粒区域的提取。图 7b 是对图 7a 的大豆原始图像识别完整籽粒的结果,从识别结果来看,原图中的大豆完整籽粒基本都能被识别出来,而且大豆的形态保存良好。不足之处在于存在部分籽粒被标记为背景(圈内)被误剔除。而完整籽粒的查准率为 87.26%,查全率为 86.17% (表 2)。

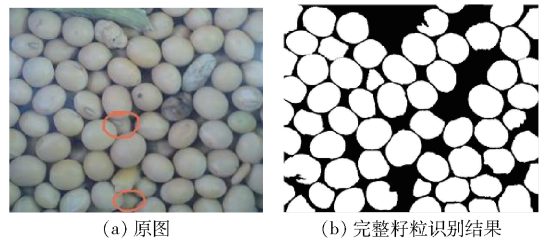


图 7 完整籽粒识别效果

Fig. 7 Recognition effect pictures of complete grain

表 2 识别结果量化评价结果

Tab. 2 Quantitative evaluation of recognition results

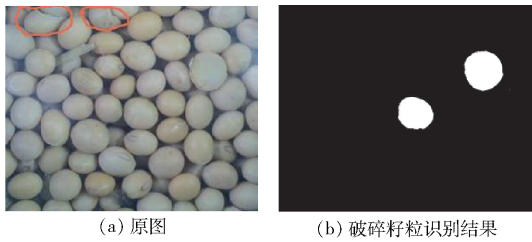
识别类别	查准率	查全率
完整籽粒	87.26	86.17
破碎籽粒	86.45	79.42
杂质	85.19	83.69

#### 2.1.3 破碎籽粒识别

破碎籽粒像素点  $R \in [61, 181]$ ,  $G \in [68, 189]$ ,  $B \in [73, 188]$ ,  $H \in [0.0278, 0.7]$ ,  $S \in [0.0116, 0.4444]$ , 而由表 1 可知,破碎籽粒  $M_{22} \in [0.0721, 0.7550]$ ,  $M_{41} \in [0.1452, 0.4028]$ ,  $M_{51} \in [0.0556, 0.3209]$  这 3 个参数值明显区别于完整籽粒、杂质成分,因此,本文以  $M_{22}$ 、 $M_{41}$ 、 $M_{51}$  这 3 个参数区间设置破碎籽粒颜色阈值,通过遍历图像的各个闭合区域,统计区域内  $G$  分量的二阶矩和  $H$ 、 $S$  分量的一阶矩,进行属于破碎籽粒区域的提取。图 8b 是对图 8a 的大豆原始图像识别破碎籽粒的结果,从识别结果来看,原图中的正对镜头的大豆破碎籽粒基本都能被识别出来,而且大豆的形态保存良好。不足之处在于破碎面背对镜头的破碎籽粒被标记为完整籽粒(圈内)被误剔除。而破碎籽粒的查准率为 86.45%,查全率为 79.42% (表 2)。

#### 2.1.4 杂质识别

杂质像素点  $R \in [41, 189]$ ,  $G \in [52, 195]$ ,  $B \in [59, 214]$ ,  $H \in [0, 0.8182]$ ,  $S \in [0, 0.4607]$ , 而由表 1 可知,杂质  $M_{11} \in [69.1302, 154.7627]$ ,  $M_{41} \in$

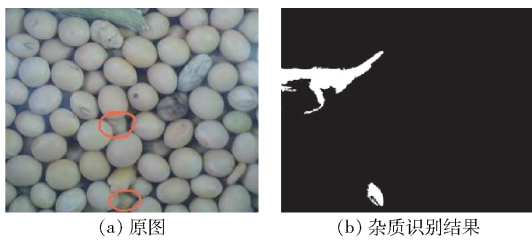


(a) 原图 (b) 破碎籽粒识别结果

图8 破碎籽粒识别效果

Fig. 8 Recognition effect pictures of broken grain

[0.429, 0.623],  $M_{51} \in [0.1297, 0.3031]$  这三个参数值明显区别于完整籽粒、破碎籽粒成分,因此,本文以  $M_{11}$ 、 $M_{41}$ 、 $M_{51}$  这三个参数区间设置杂质颜色阈值,通过遍历图像的各个闭合区域,统计区域内  $R$ 、 $H$ 、 $S$  分量的一阶矩,进行属于杂质区域的提取。图9b是对图9a的大豆原始图像识别杂质的结果,从识别结果来看,原图中的大豆大型茎秆杂质基本都能被识别出来,而且茎秆的基本长度、大小均保存良好。不足之处在于存在部分颜色较深的杂质被标记为背景(圈内)被误剔除。而杂质的查准率为85.19%,查全率为83.69%(表2)。



(a) 原图 (b) 杂质识别结果

图9 杂质识别效果

Fig. 9 Recognition effect pictures of impurity

## 2.2 大豆机械化作业质量在线监测田间测试结果

大豆机械化收获作业质量田间测试数据如图10、11所示,试验过程中,采用本文设计的图像采集装置自动检测大豆机械化收获质量含杂率最大值5.23%,最小值0.34%,均值为2.72%;破碎率最大值5.04%,最小值1.85%,均值为3.06%。人工检测大豆机械化收获质量的含杂率最大值4.62%,最小值2.64%,均值为3.69%;破碎率最大值4.44%,最小值2.98%,均值为3.37%。

大豆机械化收获作业质量田间收获性能的判定结果如表3所示,相比于人工检测,图像自动检测得到的大豆机械化收获作业含杂率和破碎率较小,仅第2行程中自动检测破碎率略高于人工检测结果。根据作业性能判定规则,人工检测和自动检测结果一致,3个作业行程大豆机械化收获作业性能均符合作业要求。由此可见,本文设计的图像采集系统能够作为大豆机械化收获质量实时自动检测有效手段,为提高大豆机械化收获效益提供数据支持。

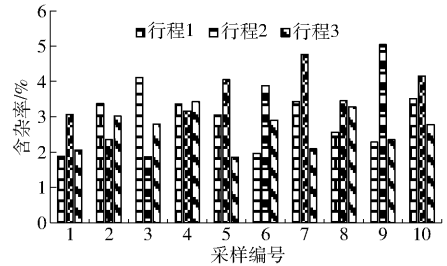
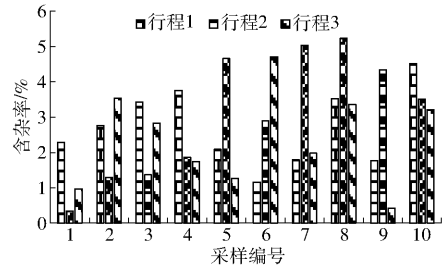


图10 收获作业质量自动检测数据

Fig. 10 Graph of harvest quality automatic detection data

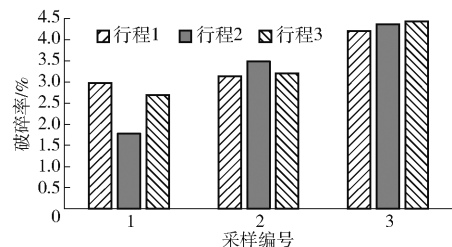
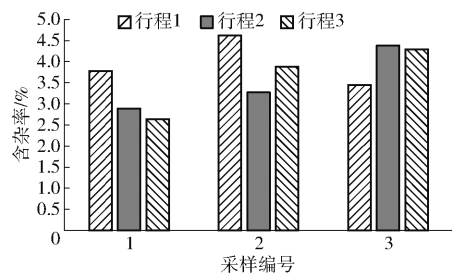


图11 收获作业质量人工检测数据

Fig. 11 Graph of harvest quality manual detection data

表3 田间试验结果

Tab. 3 Field test results

行程 序号	自动测量			人工测量		
	含杂率 均值/%	破碎率 均值/%	判定 结果	含杂率 均值/%	破碎率 均值/%	判定 结果
1	2.71	2.95	合格	3.95	3.44	合格
2	3.05	3.58	合格	3.51	3.21	合格
3	2.40	2.66	合格	3.60	3.45	合格

## 3 结论

(1) 基于机器视觉技术开发了大豆机械化收获图像采集系统,在便携式计算机上利用 Matlab2014a 编写了配套软件,能够实时采集清晰的大豆图像,对大豆样本图像各个成分进行分割和识别,并计算出机械化收获实时的破碎含杂率,为联合收获机作业性能评价和参数调节提供数据支持。

(2)采用改进分水岭算法对采集的大豆图像进行分割,遍历图像每个独立的封闭区域,通过设置RGB和HSV颜色空间参数阈值,对封闭区域进行归类,识别出大豆样本中的完整籽粒、破碎籽粒及杂质。完整籽粒查准率为87.26%、查全率为86.17%,破碎籽粒查准率为86.45%、查全率为

79.42%,杂质查准率为85.19%、查全率为83.69%。

(3)利用图像采集与检测系统对谷物联合收获机作业质量性能评定结果与人工检测一致,该系统可以作为谷物联合收获机作业性能评定的有效手段。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘东,齐婉冬,冯燕,等.大豆主要农艺性状的遗传解析[J].大豆科学,2018,37(2):165-172.  
LIU Dong, QI Wandong, FENG Yan, et al. Characterization of the genetic basis of main agronomic traits in soybean[J]. Soybean Science, 2018, 37(2): 165-172. (in Chinese)
- [2] 张振,徐雪高,张璟,等.贸易新形势下国内外大豆产业发展战略取向[J].农业展望,2018,14(10):94-102.  
ZHANG Zhen, XU Xuegao, ZHANG Jing, et al. Strategic orientation of soybean industry at home and abroad under the new situation of trade[J]. Agricultural Outlook, 2018, 14(10):94-102. (in Chinese)
- [3] 陈伟,张美艺,韩嫣,等.大豆机械收获环节损失调查——以黑龙江、内蒙古为例[J].中国农业文摘—农业工程,2017,29(3):16-20.  
CHEN Wei, ZHANG Meiyi, HAN Yan, et al. Investigation on the mechanical harvest loss of soybean: a case study of soybean in Heilongjiang and Inner Mongolia[J]. Agricultural Science and Engineering in China, 2017, 29(3): 16-20. (in Chinese)
- [4] 金诚谦,郭飞扬,徐金山,等.大豆联合收获机作业参数优化[J].农业工程学报,2019,35(13):10-22.  
JIN Chengqian, GUO Feiyang, XU Jinshan, et al. Optimization of working parameters of soybean combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(13):10-22. (in Chinese)
- [5] WOJCIECH B. Oversegmentation avoidance in watershed-based algorithms for color images[C]//Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications & Computer Science, International Conference. IEEE, 2004:169-172.
- [6] 李少昆,王克如,谢瑞芝,等.玉米籽粒机械收获破碎率研究[J].作物杂志,2017(2):76-80.  
LI Shaokun, WANG Keru, XIE Ruizhi, et al. Grain breakage rate of maize by mechanical harvesting in China [J]. Crops, 2017(2):76-80. (in Chinese)
- [7] 权龙哲,辛伯来,奚德君,等.粘连玉米粒群的分水岭分割与粒形的多尺度小波校正算法研究[J].中国科技论文,2016,11(2):80-85.  
QUAN Longzhe, XIN Bolai, XI Dejun, et al. Automatic segmentation method of touching corn kernels in digital image based on improved watershed algorithm [J]. China Science Paper, 2016, 11(2):80-85. (in Chinese)
- [8] 张新伟,易克传,刘向东,等.玉米自动化考种过程的粘连籽粒图像分割[J].中国农业大学学报,2018,23(10):144-151.  
ZHANG Xinwei, YI Kechuan, LIU Xiangdong, et al. Image segmentation of adhesive corn seeds during automatic seed test [J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(10): 144-151. (in Chinese)
- [9] 杨蜀琴,宁纪锋,何东健.基于Harris算子的籽粒尖端识别方法[J].农业机械学报,2011,42(3):166-169.  
YANG Shuqin, NING Jifeng, HE Dongjian, et al. Identification of tipcap of agricultural kernel based on Harris algorithm [J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3):166-169. (in Chinese)
- [10] 黄敏,朱晓,朱启兵,等.基于高光谱图像的玉米种子特征提取与识别[J].光子学报,2012,41(7):868-873.  
HUANG Min, ZHU Xiao, ZHU Qibing, et al. Morphological characteristics of maize seed extraction and identification based on the hyperspectral image [J]. Acta Photonica Sinica, 2012, 41(7):868-873. (in Chinese)
- [11] 万鹏,孙钟雷,宗力.基于计算机视觉的玉米粒形检测方法[J].中国粮油学报,2011(5):114-117.  
WAN Peng, SUN Zhonglei, ZONG Li. Detection method of maize kernel shape based on computer vision [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011(5):114-117. (in Chinese)
- [12] 李秀昊,马旭,李泽华,等.基于特征融合和SVM的稻谷品种识别[J].中国农机化学报,2019,40(7):97-102.  
LI Xiuhao, MA Xu, LI Zehua, et al. Identification of rice variety based on multi-feature fusion and SVM [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(7):97-102. (in Chinese)
- [13] 柴玉华,孙玮磷.基于小波矩的大豆外观品质特征提取方法的研究[J].大豆科学,2016,35(4):679-682.  
CHAI Yuhua, SUN Weilin. Study on the method of extracting the appearance quality of soybean based on wavelet moment [J]. Soybean Science, 2016, 35(4):679-682. (in Chinese)
- [14] 王玉亮,刘贤喜,苏庆堂,等.多对象特征提取和优化神经网络的玉米种子品种识别[J].农业工程学报,2010,26(6):199-204.  
WANG Yuliang, LIU Xianxi, SU Qingtang, et al. Maize seeds varieties identification based on multi-object feature extraction and optimized neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 199-204. (in Chinese)
- [15] 李峥峥.2013年世界农机创新精彩回顾(三)[N].中国农机化导报,2014-02-24(7).
- [16] CARMEN W, WOUTER S, JOSSE D B, et al. Material other than grain and broken grain sensor for combine harvesters[J]. Agricultural Engineering, 2007, 2001: 373-378.
- [17] CARMEN W, BART M, JOSSE D B, et al. Hyperspectral waveband selection for on-line measurement of grain cleanness[J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(1):1-7.
- [18] MAHIRAH J, KAZUYA Y, MUNENORI M, et al. Double lighting machine vision system to monitor harvested paddy grain

- quality during head-feeding combine harvester operation[J]. *Machines*, 2015, 3(4):352-363.
- [19] MAHIRAH J, KAZUYA Y, MUNENORI M, et al. Monitoring harvested paddy during combine harvesting using a machine vision-Double lighting system[J]. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2017, 10(2):140-149.
- [20] MD ABDUL M, KAZUYA Y, MUNENORI M, et al. Machine vision based soybean quality evaluation[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 140(2):452-460.
- [21] 陈进, 顾琰, 练毅, 等. 基于机器视觉的水稻杂质及破碎籽粒在线识别方法[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(13):187-194.  
CHEN Jin, GU Yan, LIAN Yi, et al. Online recognition method of impurities and broken paddy grains based on machine vision [J]. *Transactions of the CSAE*, 2018, 34(13):187-194. (in Chinese)
- [22] 杨亮, 王卓, 白晓平, 等. 玉米籽粒破碎率在线采样装置设计[J]. *农机化研究*, 2019, 41(6):127-130, 135.  
YANG Liang, WANG Zhuo, BAI Xiaoping, et al. Design of on-line sampling device for maize kernel broken rate [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2019, 41(6):127-130, 135. (in Chinese)
- [23] 王毅, 何宇, 王恺, 等. 巡检机器人获取柑橘树上果实完整表面信息方法研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2020, 51(4):232-240.  
WANG Yi, HE Yu, WANG Kai, et al. Method of getting complete surface information of citrus by inspection robot[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(4):232-240. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20200427&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20200427&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.04.027. (in Chinese)
- [24] LI Bing, XU De, LANG Congyan. Moment invariants for color constant image description[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2010, 19(2):283-287.
- [25] FAZAL M, BAHARUM B. Features analysis for content-based image retrieval based on color moments[J]. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2012, 4(9):1215-1224.
- [26] 郭彩玲, 刘刚. 基于颜色取样的苹果树枝干点云数据提取方法[J/OL]. *农业机械学报*, 2019, 50(10):189-196.  
GUO Cailing, LIU Gang. Point cloud extraction of apple tree canopy branch based on color sampling[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(10):189-196. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20191021&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20191021&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.10.021. (in Chinese)
- [27] 李云红, 张秋铭, 周小计, 等. 基于形态学及区域合并的分水岭图像分割算法[J]. *计算机工程与应用*, 2020, 56(2):190-195.  
LI Yunhong, ZHANG Qiuming, ZHOU Xiaoji, et al. Watershed image segmentation algorithm based on morphology and region merging [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2020, 56(2):190-195. (in Chinese)

(上接第 118 页)

- [17] 王文明. 弹齿滚筒式捡拾装置参数分析和改进设计研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.  
WANG Wenming. Parameter analysis and improving design of spring-finger cylinder pick up collector[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [18] 郁志宏, 王文明, 莫日根毕力格, 等. 弹齿滚筒式捡拾器捡拾性能试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(3):106-112.  
YU Zhihong, WANG Wenming, MORIGENBILIGE, et al. Experiment on performance of spring-finger cylinder pickup collector[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(3):106-112. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20170313&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170313&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.013. (in Chinese)
- [19] 郑智旗, 何进, 王庆杰, 等. 秸秆捡拾粉碎掩埋复式还田机设计与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(7):87-96.  
ZHENG Zhiqi, HE Jin, WANG Qingjie, et al. Design and experiment on straw pickup-chopping and ditch-burying integrated machine[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(7):87-96. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20170711&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170711&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.011. (in Chinese)
- [20] 许涛. 弹齿式花生捡拾装置设计及试验研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.  
XU Tao. Design and experiment study on the spring-finger type of peanut pickup device[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [21] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [22] 关萌. 全喂入花生摘果试验装置与摘果机关键部件研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.  
GUAN Meng. Research on picking methods and key components of full feeding peanut picker[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [23] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [24] 潘丽军, 陈锦权. 试验设计与数据处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008.
- [25] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [26] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与 Design-Expert SPSS 应用[M]. 北京: 科学出版社责任有限公司, 2016.