

# 基于机器视觉的谷糙分界线检测方法

## Paddy-brown rice boundary detection method based on machine vision

刘浩<sup>1</sup> 范吉军<sup>1</sup> 余南辉<sup>2</sup> 刘晓鹏<sup>2</sup> 周劲<sup>1</sup> 牟恽<sup>1</sup>

LIU Hao<sup>1</sup> FAN Jijun<sup>1</sup> YU Nanhui<sup>2</sup> LIU Xiaopeng<sup>2</sup> ZHOU Jin<sup>1</sup> MOU Yi<sup>1</sup>

(1. 武汉轻工大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430023; 2. 武汉轻工大学机械工程学院, 湖北 武汉 430023)

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430023, China; 2. School of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430023, China)

**摘要:**目的: 精准识别谷糙分界线。方法: 提出一种基于直线边缘检测的谷糙分界线识别方法。该方法对不同颜色特征的谷糙分离图像进行模型匹配, 将不同匹配结果的图像采用对应的灰度化处理方式; 并利用直线边缘检测算法对该边缘进行灰度波动变换、差分处理得到目标位置。结果: 相较于传统的边缘检测方法, 该方法将误差范围控制在 5% 以内, 大幅提高了识别精度。结论: 该方法的识别误差相对较小, 适合用于谷糙分界线的识别应用。

**关键词:** 分界线; 谷糙分离; 边缘检测; 机器视觉

**Abstract: Objective:** To detect and locate the boundary line between paddy and brown rice in separation equipment. **Methods:** A method based on straight-line edge detection was proposed by performing model matching with different color features. Converted the resulting images to grayscale and applied the linear edge detection algorithm to locate the target position. **Results:** Our approach reduced the error to within 5% and significantly improved recognition accuracy compared to traditional methods. **Conclusion:** Proposed method has a small recognition error, making it suitable for identifying the boundary between paddy and brown rice.

**Keywords:** boundary; paddy separation; edge detection; machine vision

稻米加工过程一般需要经过原粮清理、砻谷、谷糙混合物分离、碾米等步骤, 而谷糙混合物分离的优劣直接影响到稻米的加工效率, 因此优化谷糙分离工艺是提高稻

**基金项目:** 湖北省重点研发计划(编号: 2023BBB018); 湖北省重点研发计划(编号: 2022BBA0047); 湖北省技术创新专项(编号: 2022BEC054)

**作者简介:** 刘浩, 男, 武汉轻工大学在读硕士研究生。

**通信作者:** 范吉军(1971—), 男, 武汉轻工大学副教授, 博士。

E-mail: 35554789@qq.com

**收稿日期:** 2023-05-16 **改回日期:** 2023-11-02

米加工效率的重要手段<sup>[1-3]</sup>。谷糙分离是根据稻谷和糙米的粒度、密度和分层特性进行分离的<sup>[4]</sup>, 这样会在稻谷与谷糙混合物之间形成一条谷糙分界线。分料装置能够将稻谷与谷糙混合物分隔开, 进而完成分离。目前对谷糙分界线位置的获取主要依靠人眼识别的方式, 并根据识别后的分界线位置手动控制分料装置(分料板)的移动。然而, 主观判断所带来的误差会影响分离效率。

随着中国技术装备水平不断提升, 稻米加工产业对精深加工的需求逐渐提高, 很多稻米生产与加工环节正在进行智能化改造<sup>[5-6]</sup>。然而, 现有的研究主要集中在谷糙分离装置的结构设计及机械参数上<sup>[7]</sup>。近几年机器视觉技术在国内外发展迅猛, 已被广泛应用于生产领域<sup>[8-11]</sup>。它具有非接触性、精度高等优点, 十分适合扬尘大、噪音强的大米加工现场。

为实现对谷糙分界线的精准识别, 试验拟以谷糙分离状态图像为研究对象, 将机器视觉应用到谷糙分离过程中, 并提出一种基于直线边缘检测的谷糙分界线识别方法, 以期对谷糙分界线的自动化检测提供总体方案, 为分料装置的智能控制提供依据。

## 1 谷糙分界线检测系统总体方案

### 1.1 检测系统的总体框架

检测系统包括计算机、相机、环形照明装置以及连接相机与照明装置的三脚支架。相机为海康公司生产的面阵相机, 型号为 MV-CS050-10GC, 单通道 RGB 相机(分辨率为 2 448 × 2 048), 帧率为 24.2 FPS。镜头为海康公司生产的型号为 MVL-HF0628M, FA 镜头, 最近拍摄距离为 0.1 m。T5-40W 环形荧光灯光源, 灯管直径 16.5 mm, 外径 273 mm。

通过相机拍摄获得位于出料口位置的谷糙分离状态图像, 镜头距拍摄区域 0.8 m, 视野范围为 655 mm × 830 mm; 采取动态采集的方式, 采集图像间隔为 5 FPS; 经打光试验后, 选用黄色面光源, 该颜色光源能够增加黄

色稻谷与白黄色糙米的区分度<sup>[12]</sup>;将相机固定在环形照明装置中间,通过数据线与计算机连接。计算机中的软件包括可以运行图像采集、处理、分析于一体的程序,拟采用 MATLAB2017a 分析软件;采用所提出的谷糙分界线识别方法进行分界线检测,得到分界线的位置结果。图像检测系统布局如图 1 所示。

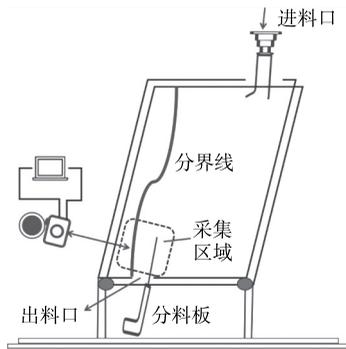


图 1 检测系统图

Figure 1 Inspection system diagram

### 1.2 检测流程

谷糙分界线检测流程主要包括 3 个模块:图像采集模块、预处理模块、检测模块。根据检测系统的总体框架,设置检测流程如图 2 所示。

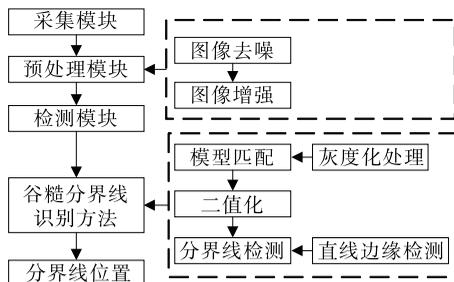


图 2 检测流程图

Figure 2 Flowchart for inspection

## 2 谷糙分界线识别方法

调研发现,由于稻米种类和加工方式的多样性,不同工厂的谷糙分离状态图像呈现不同的颜色分布,同一工厂在不同时间段的图像颜色信息也区别较大,而相同灰度化处理方式并不能满足不同颜色信息的图像。针对此问题,提出一种图像模型匹配的方法,该方法能够预先对图像进行匹配分类,并根据不同的匹配结果完成图像灰度化。

由于谷糙分离装置的分料板是垂直于水平方向的,对谷糙分界线的识别结果需要拟合成直线,结合这一实际特点,提出一种基于滑动窗口的直线边缘检测算法,该算法不仅不需要对边缘进行直线拟合,而且解决了图像中大量伪边缘并存的问题。

### 2.1 图像模型匹配

HSI 颜色模型是基于彩色图像描述的图像处理算法的理想工具,它将彩色信号表示为 3 种属性:色调、色饱和度和亮度,克服了通用 RGB 颜色模型中两者耦合的缺陷<sup>[13]</sup>。在对谷糙分离状态图像的研究中发现,位于图像左侧的稻谷区域颜色信息变化较大,基于传统的 RGB 彩色模型对图像进行灰度化处理的方法并不能很好地适用于所有谷糙分离状态图像。当稻谷与糙米的颜色较为接近时,采用传统灰度化方法的效果并不理想。然而,它们的色饱和度却较易区分,因为稻谷色饱和度更大,糙米经脱壳后黄色变浅,色饱和度变弱,符合视觉规律。因此,可将 HIS 和 RGB 颜色模型结合起来。

在此基础上,提出一种对谷糙分离图像进行模型匹配的方法,首先建立稻谷区域颜色信息的匹配条件,其次在图像左侧稻谷区域内选取待匹配模板 Mask,并对 Mask 进行颜色信息匹配,最后根据匹配结果对图像采用相对应的灰度化处理方式。

图像模型匹配方法具体步骤为:

(1) 建立稻谷区域颜色信息的匹配条件。在图像的左侧区域即稻谷区域内选取一块大小为  $m \times n$  的图像作为待匹配模板 Mask,提取 Mask 内各像素点的三通道颜色分量,利用式(1)对 Mask 进行匹配,并将匹配结果存入矩阵  $M$  中。

$$M(x, y) = \begin{cases} 1, f(x, y, 1) \geq t_1 \cap f(x, y, 2) \geq t_2 \cap f(x, y, 3) \geq t_3 \\ 0, f(x, y, 1) \leq t_4 \cap f(x, y, 2) \leq t_5 \cap f(x, y, 3) \leq t_6 \end{cases}, \quad (1)$$

式中:

$f(x, y, 1), f(x, y, 2), f(x, y, 3)$ ——Mask 内  $(x, y)$  点处的 R、G、B 颜色分量;

$M(x, y)$ ——Mask 在点  $(x, y)$  处的匹配结果;

$\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}$ ——能够区分 Mask 颜色信息的参数集合(集合内元素取值范围为  $0 \sim 255$ )。

(2) 统计  $M$  内所有像素点的匹配结果,利用式(2)判断 Mask 的分类结果 mode。

$$\text{mode} = \begin{cases} \text{mode1}, \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n M(x, y) < \frac{mn}{2} \\ \text{mode2}, \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^n M(x, y) \geq \frac{mn}{2} \end{cases}. \quad (2)$$

(3) 根据分类结果 mode,对谷糙分离状态图像采用不同的灰度化处理方式。对匹配结果  $\text{mode} = \text{mode1}$  的图像直接采用 RGB 颜色模型的方法进行灰度化;对  $\text{mode} = \text{mode2}$  的图像,需将 RGB 颜色模型转换到 HSI 颜色模型后,再进行灰度化处理。图像的转换公式为:

$$H = \begin{cases} \theta, G > B \\ 2\pi - \theta, G \leq B \end{cases}, \quad (3)$$

$$S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B}, \quad (4)$$

$$I = \frac{R + G + B}{3}, \quad (5)$$

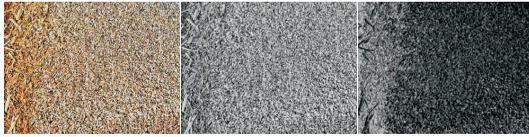
$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{(R - G) + (R + G)}{2 \sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right], \quad (6)$$

式中:

$R, G, B$ ——图像中像素的红色、绿色、蓝色分量;

$H, S, I$ ——图像中像素的色调、饱和度和亮度分量。

mode=mode2 时的灰度化处理效果如图 3 所示。由图 3 可知,由于谷糙分离图像中谷糙混合区仍有少量稻谷分布,图像对比度较低,直接运用 RGB 模型进行灰度化处理后的前景与背景很难区分,不利于图像二值化的阈值选取。通过试验方法,先对图像进行分类匹配,再利用 S 颜色模型进行灰度化处理效果明显,较好地保留了分界线的边缘细节。



(a) 灰度化处理前 (b) 传统灰度化 (c) 试验方法

图 3 灰度化转换结果

Figure 3 Gray conversion results

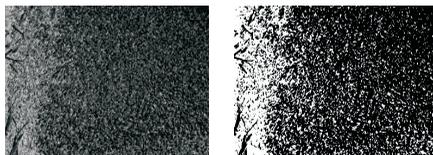
## 2.2 图像二值化

首先对直方图阈值图像分割、半阈值选择图像分割、迭代阈值图像分割、不变阈值图像分割和类间方差自适应阈值分割法进行综合评价。由于最大类间方差分割法耗时最短,根据图像的灰度特性,当类间方差最大时,阈值图像分割的误分类概率最小,一定程度上避免了部分前景被错分为背景的情况<sup>[14]</sup>。将灰度值大于阈值的像素点设置为 255,将灰度值小于阈值的像素点设置为 0。

谷糙分量图像二值化处理结果如图 4 所示。由于谷糙分离过程中稻谷与糙米的粒度、比重不同,稻谷颗粒的数量是从左往右逐渐减少的。从二值化处理后图像的水平方向上不难看出,白色像素点的数量具有从左到右依次递减的趋势,符合谷糙分离图像颜色渐变的特征。

## 2.3 分界线检测

边缘信息是重要的图像特征信息,边缘检测方法研



(a) 二值化处理前 (b) 二值化处理后

白色像素点为稻谷颗粒位置,黑色像素点为糙米颗粒所在位置

图 4 二值化处理结果

Figure 4 Binary processing results

究是图像分析和识别领域中一个十分引人关注的课题<sup>[15]</sup>。其中,Canny算子因其抗干扰性强、计算复杂度低等优点,成为当下边缘检测算法的首选<sup>[16-18]</sup>。谷糙分离图像的全局颜色信息是渐变的,而谷糙分界线的局部颜色信息是突变的。同时,由于二值化后图像右侧会有大量且散乱的白色像素点,直接运用 Canny 边缘检测算法会导致结果中出现许多的伪边缘。目前,在使用 Canny 边缘检测方法前,往往需要对图像进行开闭运算或连通域操作来去除伪边缘,这些操作需要人工选取参数如连通域面积去除的阈值等,参数的不确定性会丢失一部分边缘信息<sup>[19]</sup>,不利于谷糙分界线的精确识别。

结合上述问题与特征,提出一种基于滑动窗口的直线边缘检测算法,该算法结合了谷糙分离状态图像全局渐变、局部突变的颜色信息特征和直线边缘特征,利用滑动窗口对二值化图像矩阵的每列像素信息进行分析筛选,得到目标边缘的位置信息。

(1) 滑动窗口扫描。建立大小为 height×width 的窗口  $C$ 。对图像按水平方向扫描,扫描步长为 1 像素,每次扫描后,通过式(7)对窗口内的所有像素值进行求和。

$$C(i) = \sum_{x=k_1}^{k_2} \sum_{y=1}^m f_2(x, y), \quad (7)$$

式中:

$C(i)$ ——第  $i$  次扫描后窗口内的像素灰度值之和;

$f_2(x, y)$ ——二值化后的图像;

$k_1, k_2$ ——窗口左、右两端的位置。

(2) 对窗口  $C$  进行灰度变换,保留大尺度波峰波谷点后得到窗口  $C_1$ 。为了快速找出  $C$  中突变与渐变部分,先生成  $C$  的灰度波动曲线,再对像素点进行一阶差分。

由于  $C$  的波动曲线并不平滑,直接对  $C$  一阶差分后数值波动较大,不利于准确、快速找出窗口灰度值突变部分。因此参照文献[20-21]中灰度波动变换的方法,先生成  $C$  的灰度波动曲线,然后利用标准差代替人为设定的阈值,自适应地去除曲线中小尺度灰度波动后得到  $C_1$ 。该过程具体描述为:遍历  $C$  中所有的极值点,如果存在  $k_i, k_j$  使得极值点对  $(pe(k_i, C(k_i)), te(k_j, C(k_j)))$  同时满足:

$$\begin{cases} C(k_{\text{peak}}) = \max\{C(k_0), C(k_1), \dots, C(k_i)\} \\ h = C(k_{\text{peak}}) - C(k_j) > \alpha \end{cases}, \quad (8)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C(i) - \text{mean}(C))^2}{n-1}}, \quad (9)$$

式中:

$Pr(k_{\text{peak}}, C(k_{\text{peak}}))$ ——大尺度波峰点。

同理,对波谷点进行搜索。 $C, C_1$  的灰度波动曲线如图 5 所示。通过对  $C$  的波动曲线进行灰度变换,能够去除一部分噪声,在反映灰度波动曲线全局趋势信息的同

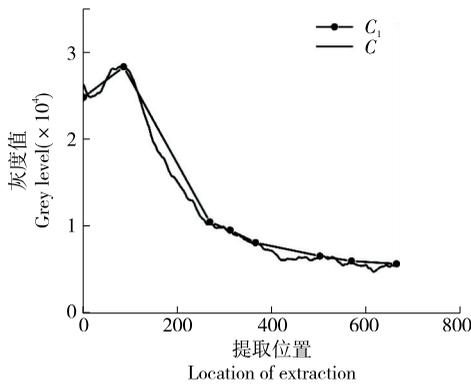


图5 灰度波动变换处理结果

Figure 5 Gray fluctuation transformation processing result

时缩减信息量,具有一定的实时性。

(3) 对窗口  $C_1$  进行第一次筛选得到  $C_2$ 。去除灰度值之和小于均值的窗口后得到  $C_2$ , 即

$$C_2 = \{C_1(i) | C_1(i) > \text{mean}(C_1)\} \quad (10)$$

(4) 对窗口  $C_2$  进行第二次筛选得到  $C_3$ 。对窗口  $C_2$  一阶差分后,保留  $C_2$  中一阶差分最大的窗口  $C_3$ , 即

$$C_3 = \{C_2(i) | \max(\text{diff}(C_2(i)))\} \quad (11)$$

最后,以图像左下角为原点,按照工厂筛板的实际长宽等比例缩小并建立坐标系,通过坐标转换计算出  $C_3$  的位置坐标  $loc$ ,该坐标  $loc$  即为谷糙分界线的实际位置。

### 3 结果与分析

#### 3.1 对比试验结果与分析

以 500 张谷糙分离状态图像为试验样本,每组采样 50 张图像,共 10 组。每组采样间隔设定为 1 h。为了测试该方法的自适应性,该样本包含两种颜色信息差别较大的谷糙分离状态图像(250 组籼米图像和 250 组糯米图像),并与边缘检测算法中的 Canny 算法进行比较,测试该方法的可靠性。

图 6 中,第一行为糯米处理结果,第二行为籼米处理结果。Canny 算法对分界线边缘细节保留较好,能够识别出边缘的轮廓信息,但会出现部分伪边缘,对分界线的定位产生干扰,不利于后续的直线拟合操作。伪边缘的频繁出现,是因为谷糙分离图像中的谷糙混合区仍存在分散的稻谷,二值化图像需去除连通域。然而,连通域分析中固定的阈值如面积阈值,需要根据最终结果手动调整。这种人工操作的不确定性会导致不连续的线段或噪声点,从而导致真正的边缘点的丢失。此外,当图像的目标和背景具有相似的灰度值时,应用 Canny 算法可能会导致过大的背景边界,从而使得所识别分界线的位置右移。

试验方法对谷糙分界线识别效果较理想,没有伪边缘的产生。由于试验方法是基于列梯度而不是像素梯度的,能有效减少具有相似灰度值的目标和背景的干扰。

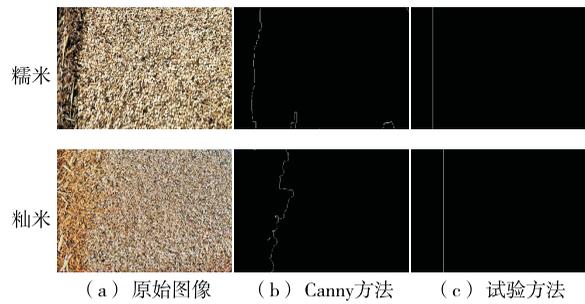


图6 不同算法对比试验结果

Figure 6 Comparison test results of different algorithms

此外,试验方法能直接识别出直线型的谷糙分界线,更大程度上保留了谷糙分界线的边缘信息,增加了试验方法的实时性与准确性。

#### 3.2 位置误差结果与分析

为了在位置结果上验证试验方法得到的谷糙分界线位置的准确性,对人工判断的分界线位置和试验方法所识别的分界线位置进行评估。分别记录每组单幅图像中分界线在分离装置中的实际位置,并设定为分界线的真实值  $loc1$ ,将基于 Canny 方法或基于该方法计算出的谷糙分界线位置设定为测量值  $loc2$ 。因此,按式(12)、式(13)计算谷糙分界线位置的绝对误差  $\partial 1$ (绝对误差不带方向,只比较大小)与相对误差  $\partial 2$ 。

$$\partial 1 = |loc1 - loc2|, \quad (12)$$

$$\partial 2 = \frac{\partial 1}{loc1}. \quad (13)$$

由于组内采样时间和每组采样时间间隔的设定,每组组内图像的灰度信息相似,那么获取的分界线位置也相近。且在对基于 Canny 和试验方法计算出的分界线位置结果初步对比后发现,二者差距较明显。因此,以组为单位对分界线的位置误差进行计算与比较。具体为先求出每组中所有图像的分界线位置的上述两种误差,再求取平均值,以验证试验方法的可行性。

每组谷糙分界线位置的误差见表 1。

由表 1 可知,Canny 算法对分界线识别的相对误差较大,分界线位置的绝对误差为 1.58~2.02 cm,相对误差为 4.52%~5.76%。试验方法处理后分界线的绝对误差为 1.09~1.54 cm,而相对误差为 3.11%~4.39%。综上,相较于 Canny 算法,试验方法能将分界线位置的绝对误差降低约 0.5 cm,将相对误差控制在 5% 以内,一定程度上提高了谷糙分界线位置识别的精确度,说明试验提出的基于直线边缘检测的谷糙分界线识别方法是可行的。

对使用 Canny 边缘检测算法定位并不准确的现象,挑选出试验结果较差的图像,并按步骤测试,作出以下分析:首先,伪边缘的产生是导致分界线定位不准确的主要因素。由于 Canny 边缘检测是基于像素梯度的,相似灰

表 1 谷糙分界线位置的误差结果

Table 1 Error results of paddy-brown rice boundary

组别	Canny 方法		试验方法	
	$\partial 1/cm$	$\partial 2/\%$	$\partial 1/cm$	$\partial 2/\%$
1	1.86	5.32	1.30	3.72
2	1.66	4.74	1.17	3.33
3	1.98	5.65	1.47	4.21
4	2.02	5.76	1.54	4.39
5	1.82	5.20	1.26	3.60
6	1.77	5.07	1.23	3.52
7	1.66	4.74	1.13	3.22
8	1.58	4.52	1.10	3.14
9	1.82	5.19	1.29	3.69
10	1.59	4.53	1.09	3.11
平均值	1.78	5.07	1.26	3.60

度值的稻谷与糙米会导致该边缘检测算法不理想,若基于灰度图像进行边缘检测,则会产生大量伪边缘。因此,试验中采用基于二值化图像进行边缘检测,一定程度上削弱了伪边缘带来的影响。但伪边缘现象依然存在于少部分图像中,使得分界线的位置结果产生较大误差。其次,相似的灰度特征会使分界线区域更加模糊,所识别的分界线并不仅仅是一条线,而是由多条线段构成。最后,对分界线的直线拟合过程又会使误差增大。

试验使用 Matlab-2017a 在 1.9 GHz 的 CPU 上进行仿真,对比了不同算法的平均运行时间。由表 2 可知,Canny 方法的运行时间较短,而试验方法由于增加了图像模型匹配和直线边缘检测的迭代运算,因此运行时间有所增加。试验方法能够检测 1.5 s 之前的图像的谷糙分界线,具有一定的实时性。

3.3 实际生产测试与分析

为验证方法的可行性,进行实际生产的对比试验,将传统方法、Canny 和试验方法进行位置误差对比,并结合实际情况对这些误差规律进行分析。按照获取谷糙分界线的不同方式,共分为 5 个组进行测试。

第 1 组为参照组,作为准确的分界线位置数据,以评估其他组获得的分界线位置,同时对谷糙分界线进行现场观测和视频录制,现场观测时,初步记录分界线位置,并根据录制的视频对记录的分界线位置进行校正。第 2、3 组模拟人工检测不频繁的情况,第 2 组只观测初始位

置,第 3 组为周期观测。第 4、5 组分别为试验方法和 Canny 方法得到的分界线位置,计算机检测周期为 5 s,并采用检测系统框架,测试时间为 1 h。

由图 7 可知,人工检测中的单次检测(组 2,3)已跟不上实际分界线位置的变化(组 1),检测效果不理想。试验方法(组 4)能够实时地检测和跟踪分界线的位置变化,平均位置误差为 1.37 cm。因此,基于图像处理技术的分界线检测方法能够在一定程度上替代人工检测的方法。

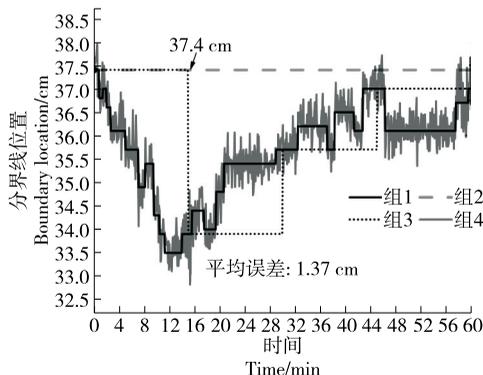


图 7 各组分界线的位置分布

Figure 7 Distribution location of each group of the boundary line

试验方法能够捕捉到实际分界线位置的快速波动变化,这是人工检测所无法达到的。然而,这种波动变化可能会对分料装置的自动控制造成影响。为了避免电机移动后分界线位置又发生变化,需要设定分界线的波动阈值或增加采样时间,以确保稳定的位置变化。

由图 8 可知,Canny 方法的误差主要集中在 -2.4 ~ -1.2 cm,试验方法的误差更小,主要分布在 -1.6 ~ 0.8。两种方法的误差结果主要为负值(测量值 loc1 > 真实值 loc2),即计算出的位置略微偏向实际分界线的右边,而这种现象在 Canny 方法中更加明显。虽然这种趋势可以通过人工测试进行补偿和校正,但仍需要进一步分析其规律。

就实际情况而言,所识别的谷糙分界线的上部分往往向右侧偏离,这是分离装置中的进料速度和筛面谷物厚度等机械参数导致的。为控制出料口的分料装置,人工确定分界线时会更多关注分界线末端部分。因此,建议收缩机器视觉的视野范围,以获得更理想的检测结果。

就算法而言,Canny 方法的局限性在于形态学处理参数需要手动选择。对于具有低对比度的谷糙分离图像,需进行多次腐蚀操作,导致边界向右侧偏移。此外,图像的上部分倾斜边缘会在直线拟合时干扰下部分边缘,导致整个分界线结果偏右。相比之下,试验方法无需直线拟合和形态学处理,并且是基于列灰度梯度和极值点检测分界线,能够减弱伪边缘和噪声的干扰。但在提高算

表 2 计算时间对比

Table 2 Comparison of calculation time s

算法	籼米	糯米
Canny 方法	0.853	0.839
试验方法	1.264	1.035

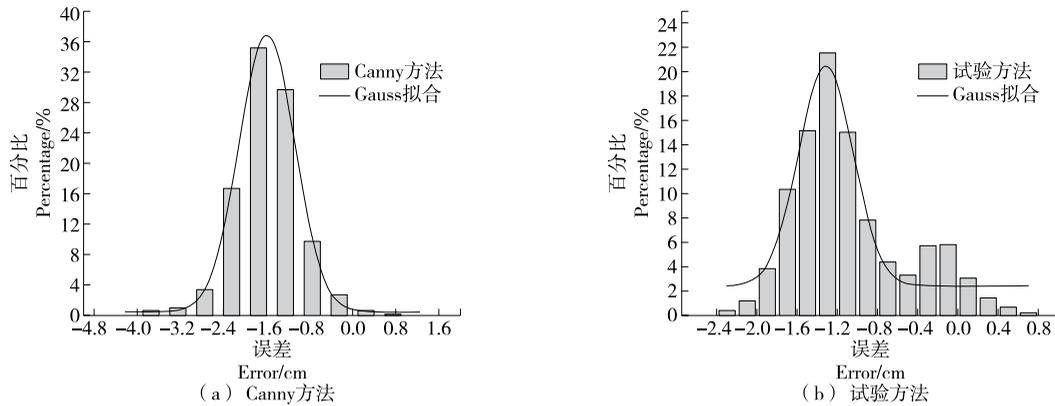


图8 误差频率分布直方图

Figure 8 Histogram of error frequency distribution

法鲁棒性的同时,仍会存在一定的检测精度下降。

模型匹配方法的实质是区分色饱和度较大的图像,并用HSI颜色模型对这些图像进行处理。在相机设备因功能或成本限制无法实现高光谱成像时,这是一个较为实用且简便的方案,同时也能够节约相机的处理时间<sup>[22-23]</sup>。不过,这可能会一定程度地降低识别精度。此外,式(1)中的分类参数 $t$ 是通过试验样本得出的,因此在处理不同的试验样本时可能需要重新调整。对此,可以采样支持向量机的方法进行自动分割,以确定该分类参数。

#### 4 结论

为了更加精确识别谷糙分界线,研究提出了一种基于直线边缘检测的谷糙分界线识别方法。首先根据图像颜色信息分类图像,再进行灰度化处理。随后采用直线边缘检测算法来解决伪边缘并存的问题。结果表明:相较于传统的Canny算法,试验方法不仅能够减小分界线的位置误差,而且在识别谷糙分界线时更加可靠。后续将结合机器视觉和谷糙分离设备的实际工作特点,设计分料装置的自动控制系统,使该系统能够识别谷糙分界线的位置,控制电机实现分料装置的运动,实现提升谷糙分离效率的目标。

#### 参考文献

- [1] 孙宇,徐文,余平,等.加工精度对大米理化特性、糊化特性以及食用品质的影响[J].粮食与油脂,2021,34(8):29-33.  
SUN Y, XU W, YU P, et al. Effects of processing accuracy on physical and chemical properties, pasting characteristics and eating quality of rice[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(8): 29-33.
- [2] 焦悦,黄清,费小吉,等.国外稻谷生产加工现状[J].粮油食品科技,2022,30(2):68-76.  
JIAO Y, HUANG Q, FEI X J, et al. Current status of foreign rice production and processing[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 68-76.
- [3] 安红周,陈会会,尹文婷,等.加工精度对大米食用品质及风味

的影响[J].中国粮油学报,2021,36(1):1-7.

- AN H Z, CHENG H H, YIN W T, et al. Effect of milling degree on the edible quality and flavor of rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 1-7.
- [4] 谢天,亓盛敏,郭亚丽,等.回蓉谷净化技术:大米适度加工关键技术研究(1)[J].粮食与饲料工业,2019(8):1-3.  
XIE T, QI S M, GUO Y L, et al. Purification technology of re-husking paddy research on novel and key technology of rice moderate processing (1)[J]. Cereal & Feed Industry, 2019(8): 1-3.
- [5] 戚超,左毅,陈哲琪,等.基于改进VGG16的大米加工精度分级方法研究[J].农业机械学报,2021,52(5):301-307.  
QI C, ZUO Y, CHEN Z Q, et al. Rice processing accuracy classification method based on improved VGG16 convolution neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(5): 301-307.
- [6] 刘婉茹,张国忠,周勇,等.智能化技术在水稻生产全程机械化中的应用研究与发展趋势[J].华中农业大学学报,2022,41(1):105-122.  
LIU W R, ZHANG G Z, ZHOU Y, et al. Application and development of intelligent technology in the whole mechanization of rice production[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 105-122.
- [7] 陈杨华.谷糙分离实验装置设计[D].武汉:武汉轻工大学,2019:5-25.  
CHEN Y H. Design of experimental equipment for grain separation [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019: 5-25.
- [8] 戴松松,殷勇.基于高光谱信息特征选择的玉米霉变程度Fisher鉴别方法[J].食品与机械,2018,34(3):68-72.  
DAI S S, YIN Y. Fisher discriminant analysis for moldy degrees of maize samples based on the feature selection of hyperspectral data [J]. Food & Machinery, 2018, 34(3): 68-72.
- [9] CHEN S, XIONG J, GUO W, et al. Colored rice quality inspection system using machine vision[J]. J Cereal Sci, 2019, 88: 87-95.
- [10] PATRICIO D I, RIEDER R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic

- review[J]. *Comput Electron Agric*, 2018, 153: 69-81.
- [11] 张书彦, 张文毅, 余山山, 等. 图像处理技术在信息农业中的应用现状及发展趋势[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(22): 9-13.  
ZHANG S Y, ZHANG W Y, YU S S, et al. Application status and development trend of image processing technology in information agriculture[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(22): 9-13.
- [12] 张巧芬, 高健. 机器视觉中照明技术的研究进展[J]. *照明工程学报*, 2011, 22(2): 31-37.  
ZHANG Q F, GAO J. Research progress of lighting technology in machine vision[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2011, 22(2): 31-37.
- [13] 王红雨, 尹华荣, 汪梁, 等. 基于 HSV 颜色空间的快速边缘提取算法[J]. *上海交通大学学报*, 2019, 53(7): 765-772.  
WANG H Y, YIN W R, WANG L, et al. Fast edge extraction algorithm based on HSV color space [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2019, 53(7): 765-772.
- [14] 李华强, 喻擎苍, 方玫. Canny 算子中 Otsu 阈值分割法的运用[J]. *计算机工程与设计*, 2008, 29(9): 2 297-2 299.  
LI H Q, YU Q C, FANG M. Application of Otsu thresholding method on Canny operator[J]. *Computer Engineering and Design*, 2008, 29(9): 2 297-2 299.
- [15] 张红霞, 王灿, 刘鑫, 等. 图像边缘检测算法研究新进展[J]. *计算机工程与应用*, 2018, 54(14): 11-18.  
ZHANG H X, WANG C, LIU X, et al. New progress in image edge detection algorithms[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2018, 54(14): 11-18.
- [16] 李静, 陈桂芬, 丁小奇. 基于改进 Canny 算法的图像边缘检测方法研究[J]. *计算机仿真*, 2021, 38(4): 371-375.  
LI J, CHEN G F, DING X Q. Research on image edge detection method based on improved canny algorithm [J]. *Computer Simulation*, 2021, 38(4): 371-375.
- [17] 王小俊, 刘旭敏, 关永. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法[J]. *计算机工程*, 2012, 38(14): 196-198.  
WANG X J, LIU X M, GUAN Y. Image edge detection algorithm based on improved Canny operator [J]. *Computer Engineering*, 2012, 38(14): 196-198.
- [18] MITTAL M, VERMA A, KAUR I, et al. An efficient edge detection approach to provide better edge connectivity for image analysis[J]. *IEEE*, 2019, 7: 33 240-33 255.
- [19] 胡林, 周国民, 丘耘, 等. 苹果树图像分割算法研究综述[J]. *中国农业科技导报*, 2015, 17(2): 100-108.  
HU L, ZHOU G M, QIU Y, et al. Review on studying image segment algorithms of apple trees [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2015, 17(2): 100-108.
- [20] 魏巍, 申铨京, 千庆姬. 工业检测图像灰度波动变换自适应阈值分割算法[J]. *自动化学报*, 2011, 37(8): 944-953.  
WEI W, SHEN X J, QIAN Q J. An adaptive thresholding algorithm based on grayscale wave transformation for industrial inspection images [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2011, 37(8): 944-953.
- [21] 颜明重, 黄冰逸, 朱大奇. 基于灰度波动的水下图像分割[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2020, 41(9): 1 268-1 273.  
YAN M C, HUANG B Y, ZHU D Q. Underwater image segmentation based on grayscale wave [J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2020, 41(9): 1 268-1 273.
- [22] MEI S, GENG Y, HOU J, et al. Learning hyperspectral images from RGB images via a coarse-to-fine CNN[J]. *Science China (Information Sciences)*, 2022, 65: 1-14.
- [23] 吴永清, 李明, 张波, 等. 高光谱成像技术在谷物品质检测中的应用进展[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(5): 165-173.  
WU Y Q, LI M, ZHANG B, et al. Progress in application of hyperspectral imaging technology in grain quality detection [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(5): 165-173.
- 
- (上接第 107 页)
- [12] 钱若军, 董石麟, 袁行飞. 流固耦合理论的研究进展[J]. *空间结构*, 2008(1): 3-15.  
QIAN R J, DONG S L, YUAN X F. Research progress in fluid-solid coupling theory[J]. *Space Structure*, 2008(1): 3-15.
- [13] 刘厚根, 秦贞国, 吴元兴. 基于 CFD 的机械增压器进、排气口的结构优化[J]. *机械设计*, 2016, 33(7): 49-53.  
LIUH G, QIN Z G, WU Y X. Structural optimization of inlet and exhaust ports of mechanical supercharger based on CFD [J]. *Mechanical Design*, 2016, 33(7): 49-53.
- [14] 陈红意, 赵满全. 干燥箱内温度场和气流场的建模仿真与试验研究[J]. *农机化研究*, 2012, 34(8): 98-101.  
CHEN Y H, ZHAO M Q. Modeling simulation and experimental study of temperature and airflow fields in drying oven [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(8): 98-101.
- [15] 陶向前. 枸杞真空脉动烘干箱结构参数优化及分析[D]. 西安: 西安科技大学, 2020: 22-25.  
TAO X Q. Optimization and analysis of structural parameters of vacuum pulsation drying box for wolfberry [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2020: 22-25.
- [16] 袁宏. 强制对流烤箱流动与结构优化[D]. 杭州: 浙江大学, 2018: 18-20.  
YUAN H. Forced convection oven flow and structural optimization[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018: 18-20.
- [17] 帕坦卡. 传热与流体流动的数值计算[M]. 张政, 译. 北京: 科学出版社, 1984: 125-130.  
PA T A. Numerical calculation of heat transfer and fluid flow[M]. ZHANG Z. Beijing: Science Press, 1984: 125-130.
- [18] 霍二光. 菊花烘干室内气流组织模拟与优化研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016: 31-37.  
HUO E G. Simulation and optimization study of airflow organization in chrysanthemum drying room [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016: 31-37.