

基于 Canny 边缘检测的红枣识别算法研究

陈利利¹ 李斌¹ 梁晓晴¹

CHEN Lili LI Bin LIANG Xiaoqing

摘要

随着农业科技的发展,色选机成为红枣生产过程中的一个重要环节。但在红枣色选的过程中往往会因为物料光遮挡、粘连、边缘发黑和枣蒂等原因导致识别不准、成品质量不够高。由于 Canny 边缘检测具有抗噪性强并且对梯度幅值进行非极大值抑制的优势,提出一种基于 Canny 边缘检测的红枣识别算法,先对红枣图像用 Canny 算子进行边缘检测并去除异色像素,再将图像由 RGB 转换为 HSV 颜色空间识别并用气阀分选。实验证明,所提出的算法能有效解决红枣在色选过程中由于边缘异色导致的识别误差问题。

关键词

Canny 算子;边缘检测;红枣;色选;机器识别

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.03.006

0 引言

我国是红枣的主要生产国,在产量较高的新疆等地,高效地产生品质好、色泽统一的产品是助力乡村振兴的重要途径之一。传统的红枣加工主要靠人工分选,不仅效率低、强度大,还会直接接触红枣表面影响食品安全^[1-2]。红枣的色选主要是剔除产品中的异物以及发黄、破皮和发黑的坏枣。但作为一种色选物料有其自身的特殊性,相比于大米、小麦等谷物,红枣的表面较粗糙、有褶皱,并且物料较大,主要分为骏枣和灰枣两种。在色选过程中,会更容易存在识别误差,导致误选错选。

近年来,随着机器视觉的发展以及在各领域的应用^[3-4],基于图像识别的色选技术也快速发展^[5-6],色选机已在大米、小麦、茶叶、红枣等农作物生产中大大提高了生产品质^[7]和效率。智能色选机广泛应用于分拣领域^[8-9],其中张雪松等人提出一种基于单片机的红枣分选技术,利用红枣遮挡光电传感器的光源时所引起的传感器输出电平的变化来控制计时,从而进行分级^[10]。仲小英提出采用 DSP 和 ARM 相结合的视觉处理对红枣进行分选控制^[11],杜绪伟等将 Canny 算子用于图像边缘检测,将检测与识别结合取得较好的效果^[12]。他们的探索经验为红枣的分选提供了新的思路。但是这些算法都没有从颜色上对红枣进行识别并分选,本文

在先前研究实践的基础上进行尝试,利用 Canny 算子优势对红枣图像进行边缘检测并去除部分影响像素,再将图像转换为 HSV 空间,利用 H 、 S 和 V 分量对图像进行颜色识别并判断红枣位置,发出吹阀信号。实验结果表明,此算法可有效改善物料边缘问题。

1 Canny 算子

Canny 算子是一种以低错误率、高定位性和最小响应为目标的边缘检测算法,相对其他边缘检测算法来说,其识别图像边缘的准确度要高一些,具体步骤如下^[13-14]。

(1) 高斯滤波,为了降低噪声的影响,首先对图像进行滤波处理,再利用卷积核模板对图像运算,这里选用高斯滤波器,高斯分布函数为:

$$S(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中: σ 为滤波器参数。将原始图像 $I(x, y)$ 和 $S(x, y)$ 进行卷积运算,得到图像 $H(x, y)$:

$$H(x, y) = S(x, y) \times I(x, y) \quad (2)$$

(2) 计算梯度幅值和方向,梯度幅值可以看出像素本身的变化强度,而梯度方向则呈现了像素强度变化的方向。计算公式为:

$$w_x(i, j) = [I(i, j+1) - I(i, j) + I(i+1, j+1) - I(i+1, j)] / 2 \quad (3)$$

$$w_y(i, j) = [I(i, j) - I(i+1, j) + I(i, j+1) - I(i+1, j+1)] / 2 \quad (4)$$

$$w(i, j) = \sqrt{w_x^2(i, j) + w_y^2(i, j)} \quad (5)$$

$$\theta(i, j) = \arctan \frac{w_x(i, j)}{w_y(i, j)} \quad (6)$$

1. 安徽开放大学 安徽合肥 230022

[基金项目] 安徽省高校人文社科研究重点项目(项目编号: 2022AH052674); 安徽省质量工程高等继续教育改革重点项目(项目编号: 2022jxy015); 校老年教育研究一般项目(项目编号: LNJY2022YB03)

式中: $w_x(i, j)$ 和 $w_y(i, j)$ 分别为像素 (i, j) 在 x 、 y 方向的偏导数, $w(i, j)$ 是 (i, j) 处的梯度幅值, $\theta(i, j)$ 是 (i, j) 处的梯度方向。

(3) 非最大值抑制。全局的梯度还不能确定边缘, 要确定边缘, 首先要找出梯度方向的非零点, 然后在这个邻域的中心像素与沿着梯度线的两个像素相比。如果两个相邻像素的梯度值比中心点大, 那么这个非零点不是图像边缘, 将其边缘强度赋值为 0。

(4) 双阈值选取和边缘连接。选取高和低两个阈值, 通过这个方法可以区分图像的真实边缘和伪边缘, 保留图像的真实边缘, 去除虚假边缘, 以达到更好的效果。

2 红枣色选算法介绍

实验中使用 Dalsa 线阵相机采集红枣图像, 像素 2048, 行频 6000 kHz。如图 1 所示, 使用滑动窗口作为缓冲区, 由于色选的实时性要求, 经多次试验, 这里取 80×2048 作为图像采集窗口。色选时利用 FIFO 策略, 计算单独完整红枣的缺陷面积并与阈值比较, 确定是否去除, 再找到红枣中心点并根据阀的位置计算延时 Δ 和 Δ , 执行吹阀操作。根据材料的横向分布确定吹射阀的位置和数量。

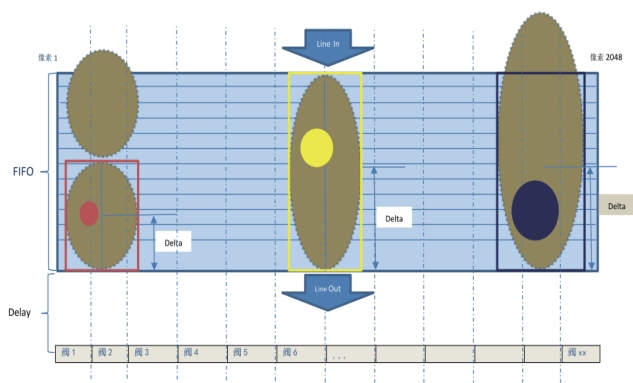


图 1 色选算法示意图

红枣的色选流程如图 5 所示, 详细步骤如下。

Step1: 图像边缘预处理。接收来自 Dalsa 线阵相机的 RGB 数据流, 根据滑动窗口大小采集红枣图像, 利用第 2 节中介绍的 Canny 算子对红枣进行边缘检测、识别并去除部分边缘异色像素。仿真实验结果如图 2~图 4 所示。

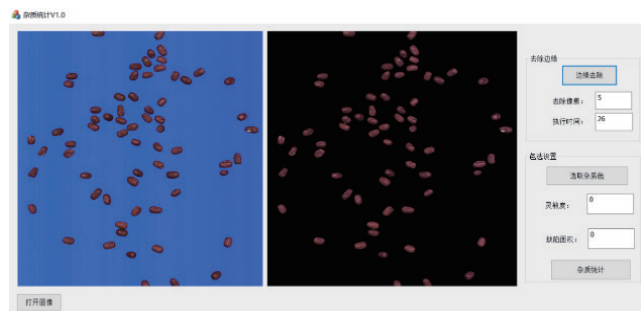


图 2 Canny 算子识别边缘 5 像素仿真实验

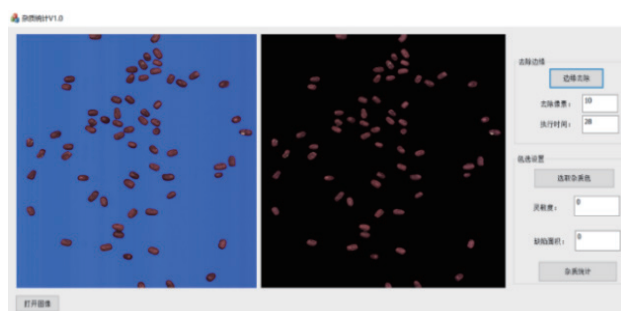


图 3 Canny 算子识别边缘 10 像素仿真实验

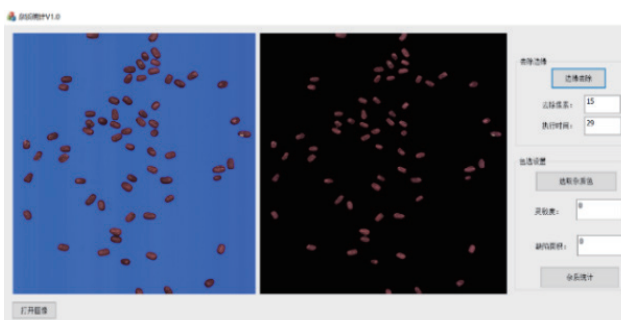


图 4 Canny 算子识别边缘 15 像素仿真实验

由于色选的实时性要求, 经多次实验统计, 边缘检测的时间范围为: $25 \text{ ms} \leq \text{处理时间} \leq 40 \text{ ms}$ 。从计算时间的角度来看, 理论上可以满足实时性要求。由图 2~图 4 可以看出, 去除的边缘异色越多, 丢失的内容就越多。因此, 需要在去除边缘的效果和保留内容之间取得平衡。建议不要超过 10 像素, 这里取边缘 8 像素。这样既能处理边缘粘连、发黑和光遮挡等问题, 又能满足色选的实时性和内容完整性要求。

Step2: 图像转换。人们所熟悉的 BGR 色彩空间是基于三基色而言的, 即红色、绿色和蓝色。而 HSV 色彩空间则是基于色调、饱和度和亮度而言的。色调 (H) 是指光的颜色, 例如彩虹中的赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫分别表示不同的色调。在 OpenCV 中, 色调在区间 $[0, 180]$ 内取值。例如, 代表红色、黄色、绿色和蓝色的色调值分别为 0、30、60 和 120。

设置饱和度 (S) 值色彩的深浅。在 OpenCV 中, 饱和度在区间 $[0, 255]$ 内取值。当饱和度为 0 时, 图像将变为灰度图像。亮度 (V) 指光的明暗。与饱和度相同, 在 OpenCV 中, 亮度在区间 $[0, 255]$ 内取值。亮度值越大, 图像越亮; 当亮度值为 0 时, 图像呈纯黑色。

由于 HSV 颜色空间是基于人眼对色彩的识别, 更符合人眼对颜色模式的定义, 所以在本算法中采用 HSV 色彩空间进行识别色选。将色彩分解为色调、饱和度和亮度, 可以通过调整这三个分量得到所需要的颜色。下面根据公式将采集图像由 RGB 转换为 HSV 颜色空间。

$$h = \begin{cases} 0^0, & \text{if } \max = \min \\ 60^0 \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^0, & \text{if } \max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^0 \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^0, & \text{if } \max = r \text{ and } g < b \\ 60^0 \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^0, & \text{if } \max = g \\ 60^0 \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^0, & \text{if } \max = b \end{cases} \quad (7)$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = 0 \\ \frac{\max-\min}{\max} = 1 - \frac{\min}{\max}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$v = \max \quad (9)$$

Step3: 红枣中心点位置计算。由于备选物料为红枣，并且需要选择的杂质颜色为黑色、黄色、白色等，所以在色选时选定的背景颜色很重要，必须与原料颜色和杂质颜色区分开来。经过大量实验，本算法中采用蓝色作为红枣色选的背景色。如图 5 所示，利用 Dalsa 线阵相机实时采集红枣图像，当采集图像为非背景色时，定义变量记录红枣起始位置 c_1 ，直到再次识别到背景色，记录红枣结束位置 c_2 。根据红枣和背景颜色的区别识别记录红枣左右两侧在图像中的位置 k_1 、 k_2 。根据上下左右记录的位置计算出每个红枣在滑动窗口中的中心点。

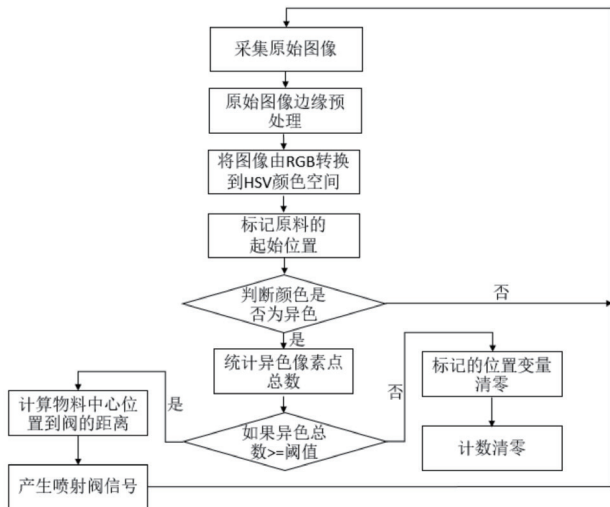


图 5 红枣色选流程图

Step4: 缺陷统计。如图 5 所示，首先根据红枣杂质情况设置缺陷的面积和灵敏度大小。这里的缺陷指的是所有异色像素的总数，灵敏度是指所要取的颜色范围值，可以设置多个异色缺陷的面积和相应的灵敏度，在色选物料是红枣的情况下，在色选时设置了黑色、黄色和破皮的白色等。根据空气阀的位置将滑动窗口划分为对应的通道，这里的空气阀指的是当判定物料为杂质或异色时，就会在相应的时间内启动并利用气量吹出副品和杂质。在每个划分的通道中，根据设置的缺陷颜色阈值以及颜色灵敏度统计开始和结束位置范围内缺陷像素总数，将缺陷总数值与设

置的阈值比较，大于阈值的则发出信号，同时计算枣的中心点位置到吹阀位置的延时，吹气阀延迟时间与 Delta 之和，每个物料的 Delta 不同，根据物料的大小和速度，可以精准地进行色选。

Step5: 红枣色选。在第四步中，经过统计红枣的缺陷面积和位置，计算出了准确延时，再利用倍福控制空气阀的开关，进行红枣的分选。统计变量在物料结束时归零重新计数。由于倍福的控制技术具有可升级性，可以为自动化各个领域提供不同性能等级的综合性系统解决方案，可适用于各种应用场合。TwinCAT 自动化软件在单个软件包里集成了带有 PLC、NC 和 CNC 功能的实时控制系统。所有倍福控制器都采用 TwinCAT 进行编程，并且在传统控制行业，产品性能稳定。因此，这里选择倍福的控制技术，TwinCAT 可以与红枣识别算法结合，更高效地进行色选。

3 实验结果

为了验证算法的有效性，测试地点选择我国最大的红枣生产基地新疆和田，色选机器使用 3 m 长（单向）、600 mm 宽、划分为 18 个滑道、装置有 96 个吹射阀的履带机，采用 2048 像素 × 2048 像素线阵相机，测试原料为骏枣。这里边缘检测取值为 8 像素，对机器进行色选的缺陷面积参数调整，其中黑色取阈值为 20 像素、白色取阈值为 15 像素、黄色取阈值为 20 像素，灵敏度取值为 2。作为对比，分别对含杂 8.52%、13.57% 和 25.30% 的原料使用原始图像 HSV 色选和经过 Canny 边缘检测预处理，再由 HSV 色选两种算法进行多次测试比较，并统计测试结果，如表 1～表 3 所示。

表 1 原料含杂 8.52% 色选结果对比表

原料含杂 8.52%		成品质量 / %	成品占原料百分比 / %	副品含不良品率 / %	副品占原料百分比 / %
原始图像	一道选	97.61	73.38	23.03	26.62
	二道选	—	—	80.21	21.37
Canny 边缘检测预处理	一道选	98.52	87.43	56.00	12.57
	二道选	—	—	91.64	10.45

表 2 原料含杂 13.57% 色选结果对比表

原料含杂 13.57%		成品质量 / %	成品占原料百分比 / %	副品含不良品率 / %	副品占原料百分比 / %
原始图像	一道选	89.75	65.40	9.59	34.60
	二道选	—	—	76.97	19.36
Canny 边缘检测预处理	一道选	97.91	76.65	48.72	23.35
	二道选	—	—	87.88	11.58

表3 原料含杂 25.30% 色选结果对比表

原料含杂 25.30%		成品 质量 /%	成品占原 料百分比 /%	副品含不 良品率 /%	副品占原 料百分比 /%
原始图像	一道选	79.56	54.23	10.62	45.77
	二道选	—	—	60.84	28.52
Canny 边缘 检测预处理	一道选	94.72	68.12	62.79	31.88
	二道选	—	—	80.52	16.73

4 注意事项

根据材料和缺陷的大小不同，计算中心点位置并进一步算出阀延时时间，计算时间误差应控制在微小的范围内，所有计算应在半个采集图片周期内完成，否则会影响延迟时间的准确性，进而影响色选效果。

滑动窗口大小的选择主要根据物料大小以及阀动力，当阀动力较小时可以选择小一些的滑动窗口，而物料较大时如骏枣应选择较大的滑动窗口，两者权衡计算较优的窗口宽度。注意 S 和 V 影响 H 值的有效范围，不同的杂质颜色用不同的分量进行识别，并根据设置的灵敏度统计缺陷色素总数。这个过程实现了颜色选择算法，而精确的定时控制也至关重要，空气阀的开关需要严格按照时间控制，在收到吹阀信号时按规定的时间打开关闭。

色选时的外部环境尽量保持清洁，以防有灰尘或杂质在色选图片采集范围内影响色选，另外色选时由于红枣物料的特殊性，会存在反光的现象，所以在色选时应尽量避免外部光源的干扰。同时，在色选停止时应将相机盖关闭，并定时擦拭相机镜头。

5 结语和展望

随着国家政策对乡村振兴的扶持和机器视觉及其应用的广泛影响，机器色选行业蓬勃发展。红枣作为一种食品，其品质尤为重要。现实中，红枣的发霉、发黑、发黄、含杂等问题，大大影响了红枣的食用安全，因此智能色选机运用于红枣加工色选的必要性也日益显著。本文的算法将原始图像进行 Canny 边缘检测预处理，再利用 HSV 颜色空间进行异色识别。实验证明，本文的算法可以大大提高成品质量，保证红枣的品质安全。红枣是一种比较特殊的物料，其表面不光滑，会存在反光和褶皱的现象，因此要想完全色选出所有的副品，包括红枣分级等，需要更深入地研究色选算法，下一步计划将在红枣的黄皮和干条两种类型色选上进行识别算法的针对性研究，大量收集样本采用训练和深度学习的方式进行识别。相信未来可以研发出更加智能化、高效率、低

成本的色选设备，提高红枣生产的自动化水平，更好地保证产品的优质、安全。

参考文献：

[1] 时小东,肖含磊,张国珍,等.响应面法优化生脱壳苦荞米色选机的工作参数[J].粮食科技与经济,2020,45(8):84-88.

[2] 刘素山,马召.色选机在粮食加工中的应用及故障排除[J].粮食加工,2018,43(2):17-19.

[3] 宋骋.机器视觉技术在农产品色选机上的应用[J].科技创新与应用,2021,11(18):169-171.

[4] 练坤玉,苏芳,王新龙,等.基于 B/S 结构的色选机远程运维系统设计与实现[J].西安工程大学学报,2019,33(3):332-338.

[5] 张德高,刘敏基,谢焕雄.农产品光电色选原理及色选机国内外研究发展现状[J].保鲜与加工,2020,20(3):233-237.

[6] 胡一飞,王焱清,马君,等.色选机在油茶果脱壳清选中的应用[J].湖北工业大学学报,2018,33(5):62-64.

[7] 饶剑,吕自玉.基于机器视觉的类球形水果外部品质分级方法研究[J].科技与创新,2022(5):63-65.

[8] 柴春花,黄智英,李忠,等.红枣纹理分级方法的研究[J].中国农机化学报,2016,37(3):201-204.

[9] 王慧.基于图像边缘检测的红枣分级方法[J].农机化研究,2018,40(10):231-234.

[10] 张雪松.基于线阵 CCD 的红枣分选技术[J].食品与机械,2008,24(3):81-83.

[11] 仲小英.红枣分选系统设计与实验[J].食品工业,2021,42(6):312-314.

[12] 杜绪伟,陈东,马兆昆,等.基于 Canny 算子的改进图像边缘检测算法[J].计算机与数字工程,2022,50(2):410-413.

[13] QIN X. A modified canny edge detector based on weighted least squares[J].Computational statistics,2021,36(1):641-659.

[14] GONG L H, TIAN C, ZOU W P, et al.robust and imperceptible watermarking scheme based on canny edge detection and SVD in the contourlet domain[J].Multimedia tools and applications, 2021,80(1):439-461.

【作者简介】

陈利利（1986—），女，安徽肥西人，硕士，助教，研究方向：图像处理。

李斌（1983—），男，安徽安庆人，硕士，教授，研究方向：数据挖掘。

（收稿日期：2023-12-21）