

基于机器视觉的鲍鱼风味片残次品在线检测方法

Online visual detection method of defective Baoyu-flavor-slices based on mechanical vision

向宇航

周聪玲

王永强

XIANG Yu-hang ZHOU Cong-ling WANG Yong-qiang

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

摘要:目的:解决鲍鱼风味片在生产过程中出现的边缘残损、内部气孔以及皮料厚度不均匀等外观缺陷自动化检测问题。方法:提出了一种基于机器视觉的在线检测方法。利用机械梳理装置将鲍鱼风味片整理成单层阵列排布;采集图像后,选择图像分割、灰度值拉伸、轮廓边缘提取等方法进行图像处理;利用外轮廓圆形度特征完成边缘残损检测,通过测量皮料厚度完成皮厚异常检测,通过计算气孔面积,完成气孔检测。结果:该在线检测方法对边缘完整度缺陷的检出率为 100%,皮厚度异常缺陷检出率为 100%,气孔缺陷的检出率为 98.65%。结论:该方法具有较好的应用性,能够实现鲍鱼风味片残次品的在线检测。

关键词: 鲍鱼风味片; 机器视觉; 残损检测; 皮料厚度; 气孔

Abstract: **Objective:** To solve the problem of appearance defects of Baoyu-flavor-slices, such as edge damage, internal porosity and uneven wrapper thickness in the production process. **Methods:** An on-line detection method based on machine vision was proposed. The Baoyu-Flavor-Slices were arranged into a single layer array by mechanical carding device. After image acquisition, image segmentation, gray value stretching and contour edge extraction were selected for image processing. Edge damage detection was completed by using the feature of outer contour roundness, abnormal wrapper thickness detection was accomplished by measuring wrapper thickness, by calculating the porosity area, the porosity detection was completed. **Results:** The detection rate of this on-line detection method was 100% on edge integrity defect, 100% on abnormal thickness defect and 98.65%

on porosity defect. **Conclusion:** The method has feasible application and can realize the online detection of defective products of Baoyu-flavor-slices.

Keywords: Baoyu-flavor-slices; machine vision; damage detection; thickness; porosity

鲍鱼风味片是皮料、馅料按一定比例加工灌注而成的鱼糜制品^[1]。在生产过程中设备的状态以及操作工艺对产品质量影响较大,常有残次品产生(鲍鱼风味片合格品与各类残次品如图 1 所示)。目前针对残次品的筛选,仍采用人工方式,效率低、成本高,极易出现漏检、误检。机器视觉检测技术是一种无损检测技术,适用于对产品的形状、颜色、纹理的检测,具有检测效率高,非接触的特点。针对食品类非精密产品的缺陷检测已有大量研究,张震^[2]通过建立果蔬的面积和圆度模型的方法实现了果蔬的分选;吴陈陈等^[3]通过提取青豆黑色像素的占比并进行圆形度分析,完成了青豆的残次品筛选;梁宁^[4]针对

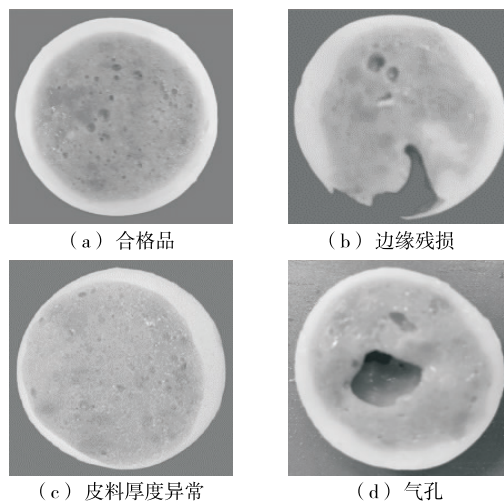


图 1 鲍鱼风味片合格品与各类残次品

Figure 1 Image of Baoyu-flavor-slices

作者简介: 向宇航,男,天津科技大学在读硕士研究生。

通信作者: 周聪玲(1975—),女,天津科技大学副教授,博士。

E-mail: zhouciling@tust.edu.cn

王永强(1965—),男,天津科技大学教授,硕士。

E-mail: 1292267805@qq.com

收稿日期: 2022-03-11 **改回日期:** 2022-09-08

红枣病害与裂纹缺陷提出了缺陷轮廓的最小外接旋转矩形长宽关系的检测算法。但现有方法对鲍鱼风味片的残次品特征检测并不适用。

研究拟采用机器视觉检测技术,通过获取鲍鱼风味片图像,经过图像处理后,提取与缺陷相关的形状特征并进行分析,在线识别合格品与残次品,并自动区分边缘缺损、内部气孔以及皮料厚度异常三类缺陷,旨在为生产管理提供大数据支持,有效降低次品率。

1 检测原理

生产过程中由于鲍鱼风味片产品呈无序堆叠状,不利于单粒图像采集,因此首先要经过硬件梳理装置将堆叠粘连的鲍鱼风味片分离为单粒阵列式排布,然后再进行图像采集、图像处理,完成残次品的检测。硬件装置结构如图 2 所示,其中,根据实际生产效率要求,水平输送带尺寸为 $150\text{ cm} \times 40\text{ cm}$,平稳运行速度为 0.1 m/s ;暗箱尺寸为 $40\text{ cm} \times 20\text{ cm}$;CCD 相机置于视场中央位置,选用 500 W 像素的工业相机,获取图像像素为 $2\,448 \times 2\,048$ 。

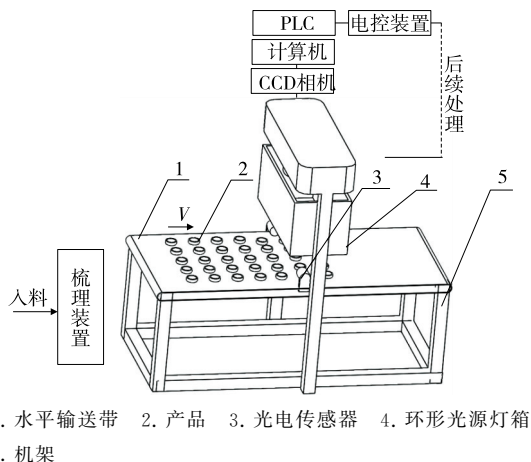


图 2 硬件装置结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of hardware device structure

2 图像处理

2.1 图像分割

所采集的图像中包含有若干个阵列排布的产品,每次对其中一列进行图像处理。为了方便后续处理,将待检测的单行鲍鱼风味片图像分割为若干 ROI 区域^[5],每个区域内仅包含一片完整的产品,ROI 区域分割如图 3 所示。

由于在线采集的图像背景中可能存在水渍、食物残渣等干扰因素,影响鲍鱼风味片产品的边缘提取,试验采用大津法自动阈值分割方法^[6],对 ROI 区域进行背景分割,图 4 为其中某个 ROI 区域的分割结果。

2.2 灰度拉伸

由于鲍鱼风味片的缺陷检测是针对形状特征的,因

此后续的 ROI 区域产品缺陷特征的提取必需精确界定皮料的内边界。然而产品图像中馅料区域与皮料区域灰度值差异不明显,因此通过灰度值拉伸的方法^[7],扩展灰度值范围,使图像的灰度值分布充满整个灰度级范围,以提高边缘提取的准确性。灰度值拉伸前后如图 5 所示。

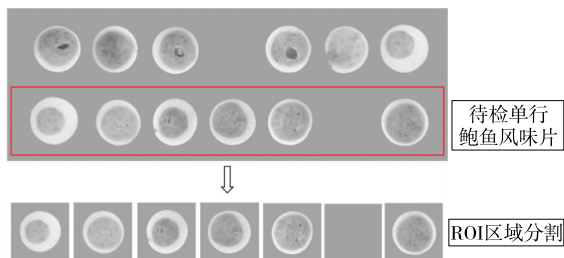


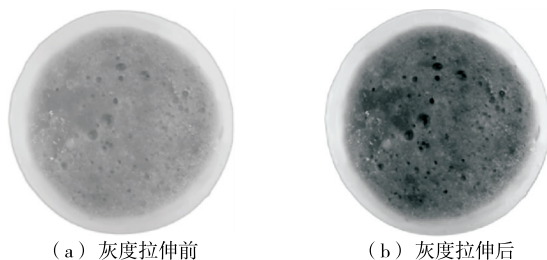
图 3 鲍鱼风味片 ROI 区域分割示意图

Figure 3 ROI region segmentation diagram of Baoyu-flavor-slices



图 4 背景分割

Figure 4 The segmented image



(a) 灰度拉伸前 (b) 灰度拉伸后

图 5 灰度拉伸前后图像

Figure 5 Gray stretch before and after images

2.3 边缘提取

边缘提取的目的在于区分数字图像中亮度变化明显的点来组成目标区域的边缘^[8]。采用 Canny 算子提取边缘特征^[9]。经过高斯滤波器平滑图像、计算梯度的幅值和方向、非极大值抑制、双阈值算法检测和连接边缘等步骤后得到皮料内外轮廓及气孔边缘。合格品及 3 种缺陷产品的边缘提取结果如图 6 所示。

3 残次品特征识别

将产品轮廓的圆弧度、皮料厚度、气孔面积等特征值作为三类缺陷的特征阈值,如存在任意一种缺陷特征,则认定为不合格产品,并根据缺陷特征划分残次品类别,实现缺陷分类。

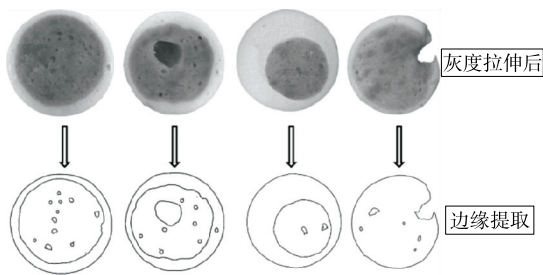


图6 鲍鱼风味片边缘提取结果

Figure 6 Results of edge extraction of Baoyu-flavor-slices

3.1 残损检测

以圆形度作为鲍鱼风味片外观是否存在残损的判断依据,表征鲍鱼风味片外轮廓与标准圆的相似程度^[10],其计算公式见式(1)。

$$C_r = \frac{4\pi S}{P^2}, \quad (1)$$

式中:

S ——鲍鱼风味片面积, mm^2 ;

P ——鲍鱼风味片周长, mm ;

C_r ——圆形度。

如图7所示,相较于正常产品,内凹型残损产品的面积减小,残损处轮廓向内凹陷,周长增加。根据式(1)残损品圆形度 C_r 小于正常产品。

对于残损品边缘为平直切口的产品如图8所示。根据式(1),平直切口残损的鲍鱼风味片圆形度 C_r 与切口对应的圆心角 θ 的关系为:

$$C_r = \frac{4\pi^2 - 2\pi\theta + 2\pi\sin\theta}{(2\pi - \theta + \sqrt{2 - 2\cos\theta})^2}. \quad (2)$$

根据式(2),圆形度与圆心角的曲线关系见图9。如表1所示,平直切口类残损切口弦长对应的圆心角范围为 $80^\circ \sim 120^\circ$,其圆形度在 $(0.91, 0.96)$ 区间,圆形度在合格品圆形度阈值范围内,被判定为合格品。

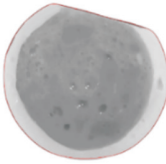
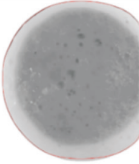
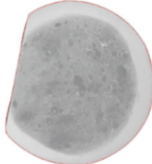
通过对圆形度公式优化,以鲍鱼风味片的最小外接圆的周长代替其实际外轮廓周长,进行圆形度的检测。

$$C_r = \frac{S}{\pi R^2}, \quad (3)$$

式中:

表1 切口型残损鲍鱼风味片圆形度统计

Table 1 Circularity statistics of cut damaged abalone flavor slices

残损样图像				
圆形度	0.96	0.95	0.96	0.96
识别结果	合格	合格	合格	合格

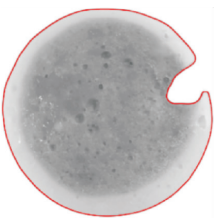


图7 内凹型残损鲍鱼风味片边缘

Figure 7 Damaged edge of Baoyu-flavor-slices

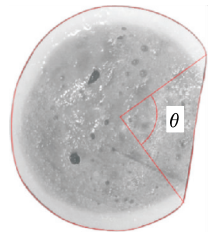


图8 平直切口型残损鲍鱼风味片边缘

Figure 8 Flat cut damaged edge of Baoyu-flavor-slices

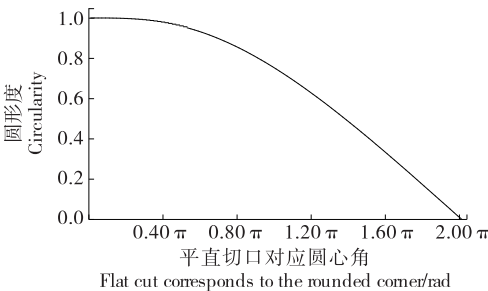


图9 平直切口残损鲍鱼风味片圆形度曲线

Figure 9 Flat cut damaged the circularity curve of Baoyu-flavor-slices

R ——鲍鱼风味片最小外接圆半径, mm 。

3.2 皮料厚度均匀性检测

以鲍鱼风味片最小外接圆的圆心为原点建立直角坐标系,从原点向任意方向发射的射线与内、外轮廓相交,交点间的距离即为此方向上的皮料厚度,如图10(a)所示。 A 、 B 两点间距离即为 θ 角度方向上的皮料厚度,其中,角度 θ 的取值范围为 $0 \sim 2\pi$ 。为了便于计算图像中皮厚,在原图像直角坐标系原点上建立极坐标系^[11],如图10(b)所示,横坐标表示射线旋转角度 θ ,纵坐标表示

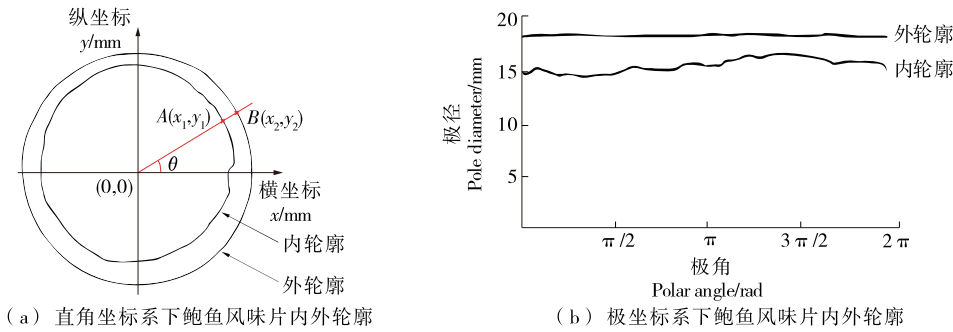


图 10 直角坐标系及极坐标系下鲍鱼风味片内外轮廓

Figure 10 Contour of Baoyu-flavor-slices in rectangular coordinate and polar coordinate system

内外轮廓上的点到原点的距离。皮料内、外轮廓的坐标 (x, y) 在极坐标系下 (ρ, θ) , 其中

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (4)$$

$$\theta = \arctan \frac{y}{x}, \quad (5)$$

式中:

x, y ——直角坐标系下轮廓坐标;

ρ ——极径, mm;

θ ——极角, rad。

角度 θ 一定, 内、外轮廓曲线对应 ρ 的差值, 即为鲍鱼风味片的皮料厚度。图 11 为皮料过厚产品的厚度曲线。合格产品皮料厚度在设定的合格区间波动, 当检测产品的皮料厚度超过阈值上限或者低于阈值下限则判定为皮料厚度异常, 为不合格品。

3.3 气孔区域检测

通过边缘轮廓提取鲍鱼风味片中所有的气孔边缘轮廓, 计算闭合轮廓围成的区域面积 $S^{[12]}$ 。计算前文提取气孔轮廓围成的面积, 当所有气孔面积之和 S 小于设定的允许值时, 为合格品; 反之, 判定为不合格品, 如图 12 所示。标记区域表示识别出的气孔区域面积大小, 经计算其面积为 55 mm^2 大于设定值的允许值, 为气孔缺陷不合格品。

4 试验与分析

选取 10 000 片鲍鱼风味片, 其中包括数量相同的合格品、外观残损品、皮料厚度异常品以及气孔残次品, 将

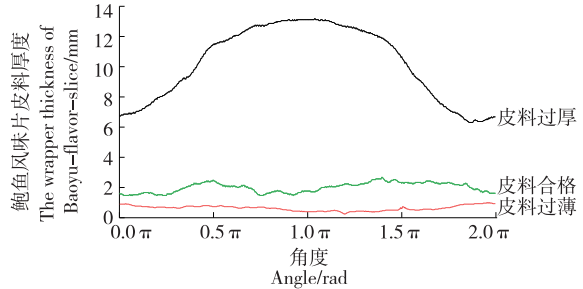


图 11 鲍鱼风味片皮料厚度

Figure 11 The wrapper thickness of Baoyu-flavor-slice

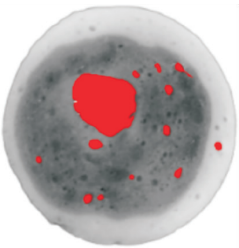


图 12 气孔区域特征检测

Figure 12 Holes area feature detection

样本均分为两组, 其中, 样本组一 5 000 片为阈值选取样本, 样本组二 5 000 片为测试样本。

4.1 阈值选取试验

从样本组一中选取 2 500 个合格样品进行统计, 圆形度频率分布如图 13 所示。分析可知, 合格品鲍鱼风味片圆形度均值 μ 为 0.945, 标准差 σ 为 0.024。根据 3σ 原则, 圆形度阈值选取范围如表 2 所示。通过对比图 13 中

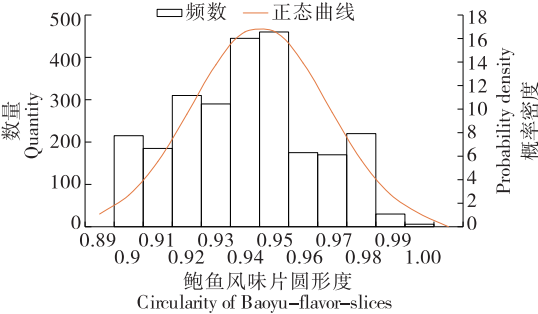


图 13 鲍鱼风味片圆形度统计

Figure 13 Statistical chart of circularity of Baoyu-flavor-slices

表 2 圆形度阈值范围

Table 2 The threshold range of circularity

取值范围	圆形度
$\mu \pm \sigma$	(0.921, 0.969)
$\mu \pm 2\sigma$	(0.897, 0.993)
$\mu \pm 3\sigma$	(0.869, 1.000)

的数据,鲍鱼风味片圆形度取 $\mu \pm 3\sigma$,合格品圆形度阈值下限为0.869。

对样本组一中2 500片合格品进行皮料厚度统计,皮料厚度分布如图14所示。合格品鲍鱼风味片皮料厚度均值 μ 为2.5,标准差 σ 为0.59。皮料厚度阈值选取范围如表3所示。通过对比图14中的数据,鲍鱼风味片皮料厚度取 $\mu \pm 3\sigma$,合格品皮料厚度阈值上限为4.3 mm,阈值下限为0.7 mm。

从样本组一中选取1 000气孔缺陷样品进行气孔面积统计试验,气孔特征的像素面积分布如图15所示。根据

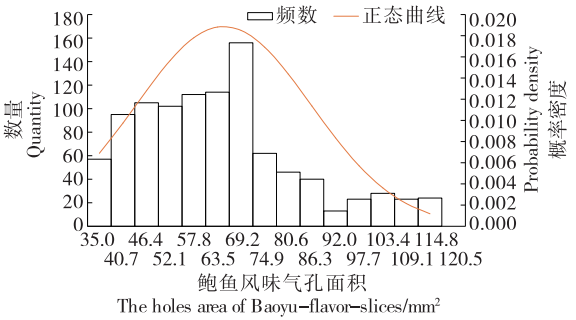


图15 气孔缺陷鲍鱼风味片面积统计

Figure 15 Statistical diagram of holes area of Baoyu-flavor-slices

统计结果设定合格品中允许的气孔面积最大为35 mm²。

4.2 验证实验

采用样本组二中7 000个样品进行验证实验,阈值选取试验的结果为设定值,检测准确率统计如表4所示,残次品识别与分类结果如图16所示。由图16可知,针对鲍鱼风味片的残损、皮料厚度的检测未出现检测错误,针对鲍鱼风味片气孔的检测准确率达98.65%。

表4 残次品检测结果统计

Table 4 Statistics of defective product identification results

类别	实际数量	识别正确数量	准确率/%
合格品	1 000	1 000	100.00
残损	2 000	2 000	100.00
皮料厚度异常	2 000	2 000	100.00
气孔缺陷	2 000	1 973	98.65

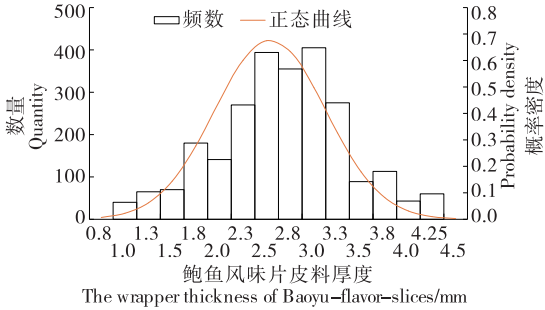


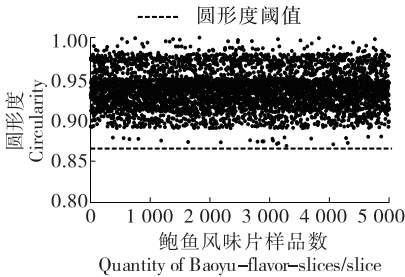
图14 鲍鱼风味片皮料厚度统计

Figure 14 Statistical chart of the wrapper thickness of Baoyu-flavor-slices

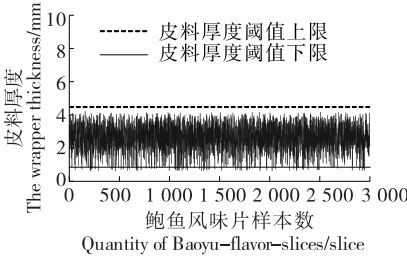
表3 皮料厚度阈值范围

Table 3 Threshold range of wrapper thickness

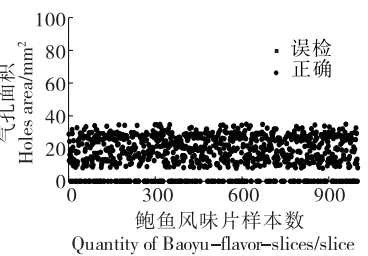
取值范围	皮料厚度/mm
$\mu \pm \sigma$	(1.91,3.09)
$\mu \pm 2\sigma$	(1.32,3.68)
$\mu \pm 3\sigma$	(0.73,4.27)



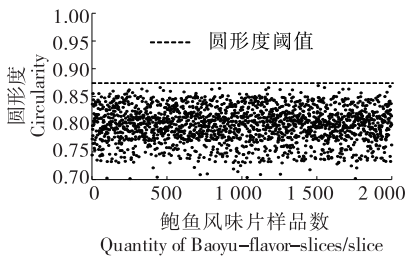
(a) 合格品鲍鱼风味片圆形度特征统计



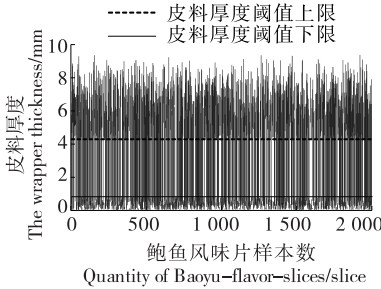
(b) 合格品鲍鱼风味片皮料厚度特征统计



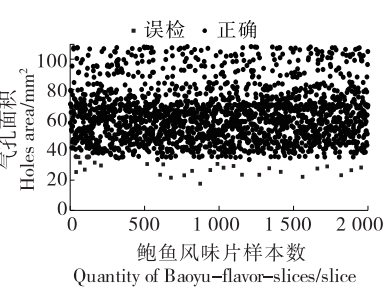
(c) 合格品鲍鱼风味片气孔面积特征统计



(d) 残次品鲍鱼风味片圆形度特征统计



(e) 残次品鲍鱼风味片皮料厚度特征统计

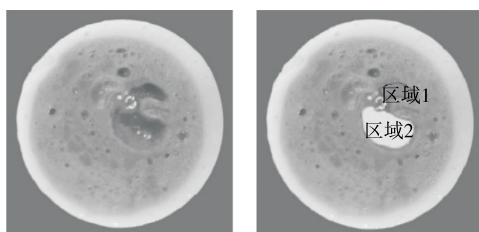


(f) 残次品鲍鱼风味片气孔面积特征统计

图16 鲍鱼风味片合格品与残次品数据统计

Figure 16 Statistical graph of experimental data of Baoyu-flavor-slices

由表 4 可知,对 7 000 片样品进行检测,正确识别 6 973 片,该方法对合格品与残次品的识别准确率达 99.6%,且对于残次品的分类有较高的准确率。对未检测出的气孔缺陷产品进行分析,如图 17 所示。采集的产品图像中存在一个面积较大气孔,为不合格品,受光斑影响鲍鱼风味片单个连通气孔区域被误判为两个独立气孔区域,图 17(b)中区域 1 与区域 2,每个气孔区域像素面积都小于设定阈值,被判定为合格品。此类误检可通过改善光源环境,采用分布更均匀的环形光源以提升检测准确率。



(a) 采集的产品图像 (b) 检测到的气孔区域

图 17 气孔特征误判产品

Figure 17 Holes pixel area qualified product

5 结论

试验提出了基于机器视觉的鲍鱼风味片残次品在线筛选方法,使用 Canny 边缘提取算法提取鲍鱼风味片的轮廓信息,通过分析残次品的特征信息,对产品中存在的不合格品进行识别与分类检测,同时将残次品中的残损品、皮料厚度不均匀产品、气孔缺陷产品进行分类。结果表明,在检测速率 0.1 m/s 的情况下,鲍鱼风味片的残次品识别准确率达 99.6%,残次品分类准确率可达 100%,证明此方法的可行性。在图像处理算法中,特征检测的精度受光照的影响,系统鲁棒性还有待提高,在实际生产应用中需要进一步提升系统稳定性。

参考文献

- [1] 陈竟豪, 苏晗, 马冰迪, 等. 鱼糜制品品质控制技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 200-206.
CHEN J H, SU H, MA B D, et al. Research progress on quality control technology of surimi products[J]. Food Research and Development, 2019, 40(6): 200-206.
- [2] 张震. 基于机器视觉的果蔬分级系统研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2019: 21.
ZHANG Z. Research on fruit and vegetable grading system based on machine vision[D]. Qingdao: Qingdao University, 2019: 21.
- [3] 吴陈陈, 王永强, 周聪玲. 双线阵 CCD 青豆在线筛选系统设计[J]. 食品与机械, 2021, 37(3): 131-136, 167.
WU C C, WANG Y Q, ZHOU C L. Design of green beans online screening system based on double linear CCD [J]. Food & Machinery, 2021, 37(3): 131-136, 167.
- [4] 梁宁. 基于机器视觉的红枣外观品质自动分选装置研制[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019: 30.
LIANG N. Development of automatic sorting device for appearance quality of red dates based on machine vision[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2019: 30.
- [5] 张弛, 唐克伦, 章华钊, 等. 一种基于主动轮廓模型的图像分割新方法[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2021, 40(1): 48-51.
ZHANG C, TANG K L, ZHANG H X, et al. A new image segmentation method based on Active contour Model [J]. Journal of Chengdu University (Natural Science Edition), 2021, 40(1): 48-51.
- [6] 曲滨鹏, 魏晓洁, 缪佳, 等. 图像分割技术在医学图像处理中的应用实践[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(16): 178-180.
QU B P, WEI X J, MIAO J, et al. Application of image segmentation technology in medical image processing[J]. Science and Technology Innovation and Application, 2021, 11(16): 178-180.
- [7] 宗加飞, 王浪, 蒋宁通, 等. 基于计算机视觉的物体尺寸测量方法实现[J]. 湖北科技学院学报, 2021, 41(2): 95-98, 106.
ZONG J F, WANG L, JIANG N T, et al. Object size measurement method based on computer vision[J]. Journal of Hubei University of Science and Technology, 2021, 41(2): 95-98, 106.
- [8] 丁冬艳, 涂宏庆. 最大类间方差法的激光图像轮廓检测[J]. 激光杂志, 2019, 40(10): 95-98.
DING D Y, TU H Q. Laser image contour detection based on maximum interclass variance method[J]. Laser Journal, 2019, 40(10): 95-98.
- [9] 张伟, 周利君, 夏坚. 基于改进 Canny 算子的建筑裂缝边缘提取方法[J]. 福建工程学院学报, 2021, 19(4): 330-334.
ZHANG W, ZHOU L J, XIA J. Building crack edge extraction method based on improved canny operator[J]. Journal of Fujian Institute of Technology, 2021, 19(4): 330-334.
- [10] 任龙龙, 冯涛, 翟传龙, 等. 基于 MATLAB 图像处理的苹果大小、颜色、圆弧度及缺陷度特征融合分级研究[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(7): 90-95.
REN L L, FENG T, ZHAI C L, et al. Fusion classification of apple size, color, roundness and defect degree based on MATLAB image processing[J]. Digital Technology and Application, 2021, 39(7): 90-95.
- [11] 贺潇, 苏彩红, 詹宁宙, 等. 基于 Halcon 的圆形陶瓷片表面缺陷检测方法[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2021, 39(2): 28-32.
HE X, SU C H, ZHAN N Z, et al. Surface defect detection method of circular ceramic sheet based on Halcon[J]. Journal of Foshan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 39(2): 28-32.
- [12] 曹建立, 陈志奎, 王宇新, 等. 高分辨图像区域填充的并行计算方法[J]. 计算机工程, 2021, 47(9): 217-226, 234.
CAO J L, CHEN Z K, WANG Y X, et al. Parallel computing method of region filling for high-resolution images[J]. Computer Engineering, 2021, 47(9): 217-226, 234.