

基于机器视觉的猴头菇品质快速无损检测与分级

张银萍, 朱双杰*, 徐燕, 李魏

(滁州学院生物与食品工程学院, 安徽滁州 239000)

摘要: 传统的猴头菇品质检测与分级主要依靠人工分拣来完成, 其主观性强、精度相差大、效率低, 浪费了大量人力物力资源。鉴于此, 为了实现猴头菇的快速无损等级评估, 该研究引入机器视觉技术, 提出了一种猴头菇品质的快速无损检测与分级方法, 设计一套基于机器视觉的猴头菇品质快速无损检测与智能分级设备, 并通过图像处理和软件设计开发一套猴头菇智能快速无损检测分级系统。通过加色法混色模型 (RGB) 对猴头菇的颜色特征的快速检测与等级的判定; 采用图像阈值分割和 Canny 边缘检测, 实现猴头菇完整度的判定; 使用最小外接圆法对猴头菇的大小进行实时计算, 完成猴头菇直径大小的判别; 基于 Microsoft Visual Studio 2017 平台开发一套猴头菇品质快速无损检测可视化平台。试验证明, 基于机器视觉的猴头菇品质快速无损检测与分级系统检测准确率达到 97.07%, 速度达到人工的 5 倍多。验证了系统的可靠性和可行性, 为食品工业的智能化生产和加工提供了技术支撑, 推动了机器视觉技术在食品行业的应用。

关键词: 机器视觉; 智能分级; 猴头菇; 图像识别; 图像处理

文章编号: 1673-9078(2023)03-239-246

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.3.0467

Rapid Non-destructive Testing and Grading of *Hericum erinaceus* Based on Machine Vision

ZHANG Yinping, ZHU Shuangjie*, XU Yan, LI Wei

(School of Biology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

Abstract: The traditional quality inspection and classification of the edible mushroom *Hericum erinaceus* mainly depend on manual sorting, a process that is highly subjective and inefficient, resulting in uneven accuracy and significant waste of human and material resources. In order to realize the rapid non-destructive grade evaluation of *H. erinaceus*, we incorporated machine vision technology (image processing and software design) into the sorting and grading process. The color characteristics and grade of *H. erinaceus* were quickly detected by applying the additive color mixing model (RGB). Image threshold segmentation and Canny edge detection were used to determine the integrity of the material, and the minimum circumscribed circle method was used to calculate the size of the sample. A visual platform for rapid non-destructive testing of *Hericum erinaceus* quality was developed based on Microsoft Visual Studio 2017 platform. The results of these test confirmed the accuracy (97.07%) of the rapid non-destructive testing and grading system of *Hericum erinaceus* quality based on machine vision, and the process speed was more than five times that of the usual manual process. The reliability and feasibility of the system is verified, which should lead to further development of machine vision technology in the food processing industries.

Key words: machine vision; intelligent classification; *Hericum erinaceus*; image recognition; image processing

引文格式:

张银萍,朱双杰,徐燕,等.基于机器视觉的猴头菇品质快速无损检测与分级[J].现代食品科技,2023,39(3):239-246.

ZHANG Yinping, ZHU Shuangjie, XU Yan, et al. Rapid non-destructive testing and grading of *Hericum erinaceus* based on machine vision [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 239-246.

收稿日期: 2022-04-17

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金项目 (KJ2020B16); 滁州市科技计划项目 (2020ZLN003)

作者简介: 张银萍 (1992-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 智慧农业、机器视觉、农业智能装备、智能控制等, E-mail: 1223203611@qq.com

通讯作者: 朱双杰 (1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品高值化利用与安全控制, E-mail: 3208150938@qq.com

猴头菇是中国传统的食(药)用菌, 具有健脾养胃、安神助眠、预防癌症等功效^[1]。目前, 猴头菇的生产加工过程自动化、智能化程度较低, 猴头菇品质的检测与分级主要还是停留在人工手动检测阶段, 检测速度慢、工作效率低、主观性强等原因都造成了猴头菇检测与分级的准确率不高, 分级的标准也存在不一致现象, 并且在检测的过程中浪费了大量的人力物

力,也是造成猴头菇的价格居高不下的主要原因之一。

随着机器视觉技术的迅速发展,越来越多的科研工作者将其应用于农产品分级领域^[2-4]。机器视觉技术的应用,能够提高农产品分级的准确率、提升分级的效率。目前国内外的学者也在农产品检测与分级研究取得了许多成果。比如, Chopra 等^[5]运用风管光度法机器学习技术设计了水果高效分级系统; Fitri 等^[6]提出了一种图像处理和机器学习相结合的方法对红心火龙果进行分级分类的方法; Mesa 等^[7]通过使用深度学习模型对香蕉进行检测与分级; Behera 等^[8]把图像处理技术应用于西红柿检测,完成了对不同种类的西红柿的分类,并将每一类进行了分级; 李倩倩^[9]把机器视觉技术应用于完成对猕猴桃的分级; 汪威等^[10]设计用机器视觉技术完成对鲜香菇的分级。但以上的研究普遍存在以下不足: (1) 检测的系统 and 过程缺少合适的硬件机械设备的设计, 大部分没有设计一个合适的机械设备减少在检测分级的

过程中对于目标的损坏; (2) 检测的过程过于复杂, 检测和分级的效率不够高、准确度不够高; (3) 针对猴头菇本身的检测与分级的方法未见报道。

鉴于此, 本文拟将机器视觉技术运用于猴头菇的快速无损检测与分级, 设计一套适合于猴头菇快速无损检测与分级的机械设备, 减少检测过程中对猴头菇的损害; 并将猴头菇检测和分级的过程进行可视化设计, 使得整个检测和分级的过程更直观地展现, 便于整个系统的操作。此技术能够克服人工检测效率低、主观性强等缺点, 提高分级的客观性、准确率和速度, 从而提高食用菌生产加工的智能化水平, 对食品行业的生产和加工的智能化发展具有重要的意义。

1 总体设计方案

1.1 整体研究方案

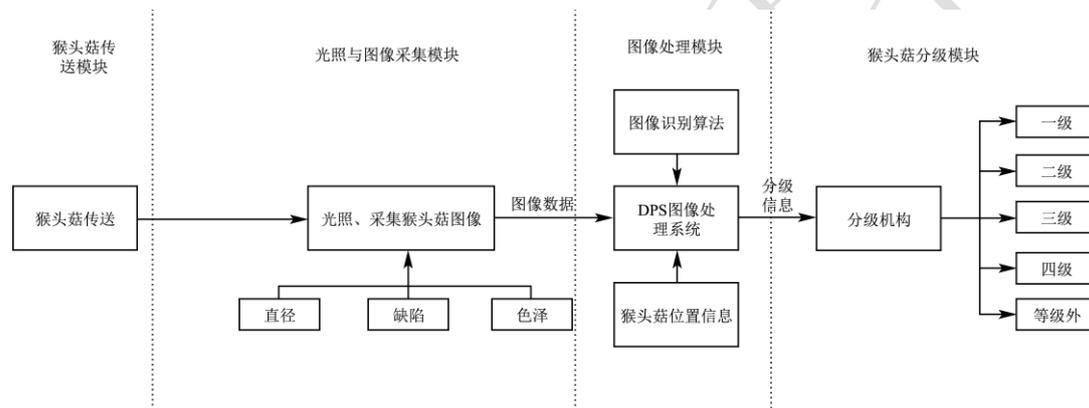


图1 系统整体研究方案

Fig.1 Overall system research scheme

猴头菇无损检测与分级方案如图1所示, 整个系统的工作过程分为四部分。第一步需要解决猴头菇的传送问题, 设计传送模块; 第二步需要完成对猴头菇的图像进行实时采集, 设计了图像采集模块; 第三步需要完成对猴头菇图像的实时处理, 对猴头菇的各项外部特征进行综合分析判断, 完成对猴头菇级别的判定; 第四步根据猴头菇的分级情况, 通过硬件装置对猴头菇进行分级, 设计猴头菇分级模块。

1.2 系统机械结构与工作原理

猴头菇分级系统的机械硬件结构如图2所示, 主要由8个部分组成。猴头菇进入传送通道, 首先通过拨料装置和差速原理, 将猴头菇整齐有序逐一排列在传送带上, 保证图像采集区域最多只有一个猴头菇存在; 接着, 猴头菇被传送到分级模块, 分级模块根据需求设计了五个分级传送通道, 当猴头菇经过可旋转分级装置系统的时候, 根据软件系统的检测和分级结

果, 驱动可旋转分级装置旋转从而使猴头菇进入对应的分级传送通道, 完成整个检测分级过程。

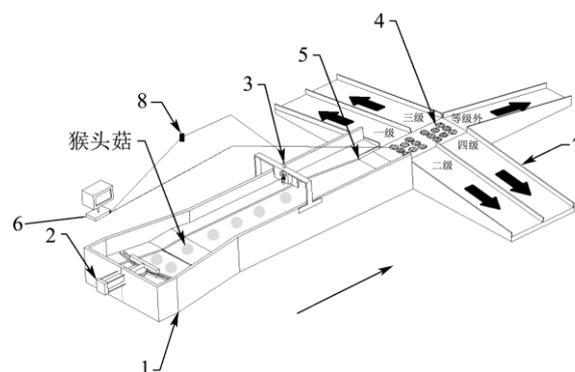


图2 猴头菇分级系统机械结构

Fig.2 Mechanical structure of *Hericium erinaceus* grading system

注: 1.设备整体挡板; 2.拨料装置; 3.图像采集装置; 4.可旋转传送装置系统; 5.传送带; 6.电脑; 7.分级槽; 8.图像采集卡。

2 猴头菇分级算法设计

2.1 等级判定依据

猴头菇的等级主要与其颜色、直径(大小)、形状、完整度等特征有关。试验所用为一种人工养殖的干猴头菇，并将其分为5个等级，判别依据见表1。

2.2 图像采集

猴头菇图像采集系统是由一定的设备构成的，此

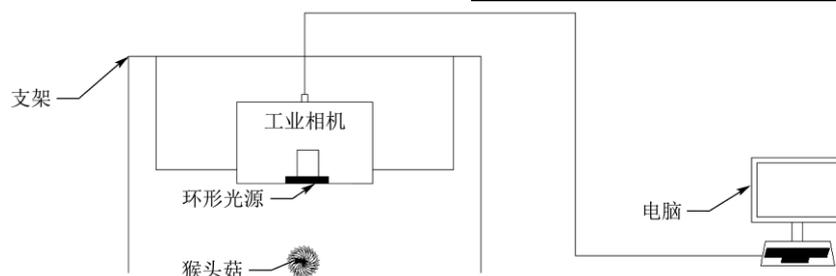


图3 猴头菇图像采集系统

Fig.3 Hericium erinaceus image acquisition system

2.3 图像预处理

为了完成对猴头菇的分级，首先需要完成对猴头菇图像的预处理，图像处理流程如图4所示。



图4 猴头菇图像处理流程

Fig.4 Hericium erinaceus image processing flow

2.3.1 图像灰度化

为了提高系统的计算效率，首先需要进行图像灰度化处理^[11-13]。通过图像的灰度化处理，可以使得图像仅保留亮度信息，效果如图5所示。



图5 灰度化图像前后对比图

Fig.5 Contrast before and after grayscale image

系统的主要作用是采集完整的猴头菇图像，并将其存储至计算机中，如图3所示。

表1 猴头菇等级评判依据

Table 1 Criteria for grade evaluation of Hericium erinaceus

等级	判定标准
一级	淡黄色，整颗呈圆形，无残缺，直径5~6 cm以上
二级	淡黄色，整颗呈圆形，无残缺，直径4~5 cm
三级	深黄色，整颗近似圆形，无残缺，直径3~4 cm
四级	深黄色，整颗近似圆形，略有残缺，直径1~3 cm
等级外	颜色发黑或发白明显、畸形、不完整

2.3.2 图像去噪

由于环境等客观因素的影响，采集到的猴头菇图像往往存在噪声，因此，图像的去噪是非常必要的。通过分析对比各去噪方式^[14]，本系统选用3×3中值滤波去噪模板完成猴头菇图像的去噪操作，如图6所示。

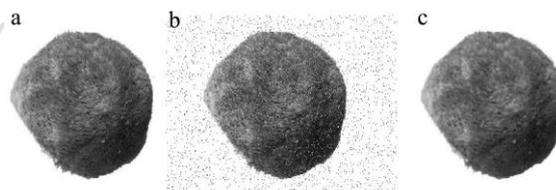


图6 图像去噪前后对比图

Fig.6 Comparison before and after image denoising

注：(a) 原始灰度图像；(b) 加入椒盐噪声图像；(c) 去噪后图像。

2.3.3 图像增强

为了更好地完成对猴头菇的分级操作，本系统选择 imadjust 调节和均衡化相结合图像增强的方法，先完成图像 imadjust 调节再进行均衡化，扩大猴头菇图像像素点的动态范围，细化局部特征，为后续的图像深度处理奠定基础，如图7所示。

2.4 颜色等级的判定

猴头菇的颜色特征是判定猴头菇等级的重要依据之一。综合比较各类颜色特征分析模型，本文采用RGB模型^[15,16]判定猴头菇的颜色特征。从测试集选取二级猴头菇和三级猴头菇样本图片，对不同等级的猴

头菇色度直方图进行比较, 根据色度直方图效果实现 对猴头菇颜色等级的判定。

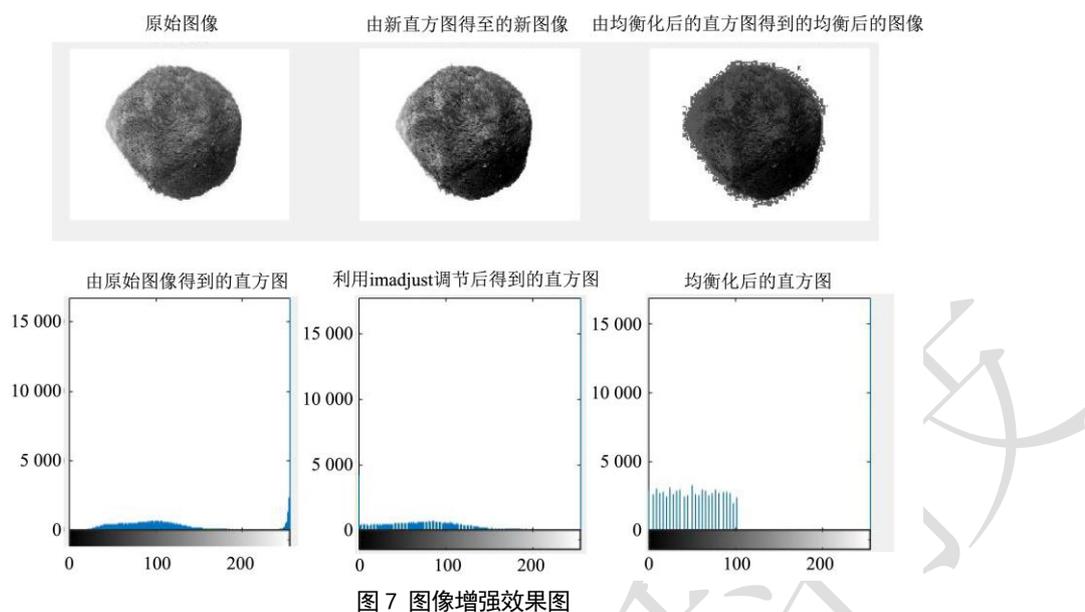


图7 图像增强效果图

Fig.7 Image enhancement rendering

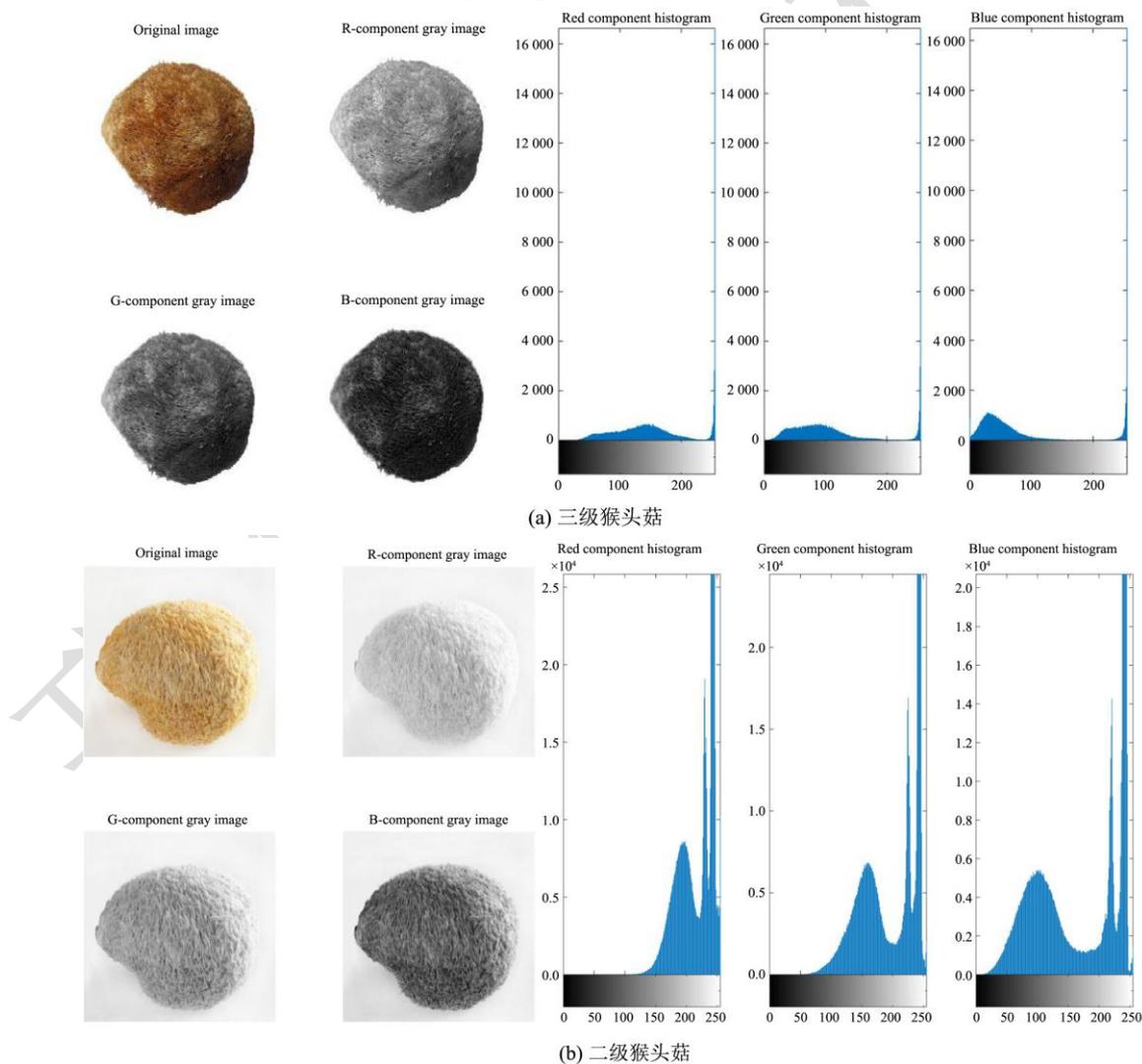


图8 猴头菇图像 RGB 分析

Fig.8 RGB analysis of *Hericium erinaceus* image

图8是图像的RGB分析的效果,不同等级的RGB直方图存在着较大的不同点。综合分析直方图像素点与有色区域像素点比例,根据表1猴头菇的分级标准的颜色特征,在猴头菇无损检测与分级系统图像处理部分的主程序中设置合适的色度阈值,并用 Opencv 自带的 calcHist 函数对所得到的直方图进行计算,可以实现猴头菇颜色范围的估算,准确判别颜色对应的猴头菇等级。

2.5 猴头菇大小与完整度判定

2.5.1 图像分割

若想要判定猴头菇的大小和完整度,就要把猴头菇的图像从其背景中分离出来。首先需要将猴头菇的图像和猴头菇图像背景进行图像分割。综合比较各种图像分割方法,阈值分割的方法更适用于本文的猴头菇图像的分割,即把猴头菇图像的灰度值比阈值 T 高的设为 1,比阈值 T 低的设为 0,从而产生黑色背景区域和白色猴头菇图像区域两个部分^[17-20]。

表达式如下:

$$g(x) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$

式中:

$f(x, y)$ ——原始灰度图像;

T ——阈值;

$g(x)$ ——阈值分割后的图像。

选用两个等级的猴头菇样本进行图像分割,效果如图9所示。

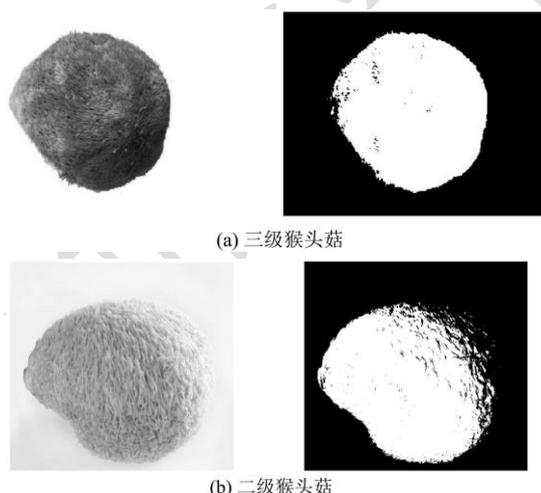


图9 猴头菇图像分割效果

Fig.9 Image segmentation effect of *Hericium erinaceus*

由于猴头菇的分级装置是固定的,当猴头菇传送到图像采集区域时,光源、相机、镜头等与目标猴头菇的距离一直保持一致,外界条件不变。所以,图像的分割不需要考虑客观条件的变化,只需要在系统程

序中设定系统所需的阈值即可。

2.5.2 图像边缘提取

为了判定猴头菇的完整度,需要对猴头菇图像的边缘进行提取,综合比较,本文采用更适合本系统的边缘检测算子 Canny 算子^[21]对猴头菇轮廓区域进行边缘检测。

首先,用高斯平滑滤波器对原图像 $f(x, y)$ 进行处理,处理后的图像为 $g(x, y)$ 。如下式所示:

$$g(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \times f(x, y) \quad (2)$$

式中:

σ ——高斯函数分布的标准差。

其次,分别求解图像 x, y 方向的偏导数,

$$G_x(x, y) \approx \frac{g(x+1, y) - g(x, y) + g(x+1, y+1) - g(x, y+1)}{2} \quad (3)$$

$$G_y(x, y) \approx \frac{g(x, y+1) - g(x, y) + g(x+1, y+1) - g(x+1, y)}{2} \quad (4)$$

梯度幅值:

$$M(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2} \quad (5)$$

方向角:

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \quad (6)$$

式中:

$M(x, y)$ ——图像边缘强度;

$\theta(x, y)$ ——图像的边缘方向。

再次,通过非极大值抑制梯度幅值。

最后,通过双阈值法检测并连接猴头菇分割后的图像边缘。边缘检测效果如图10所示。

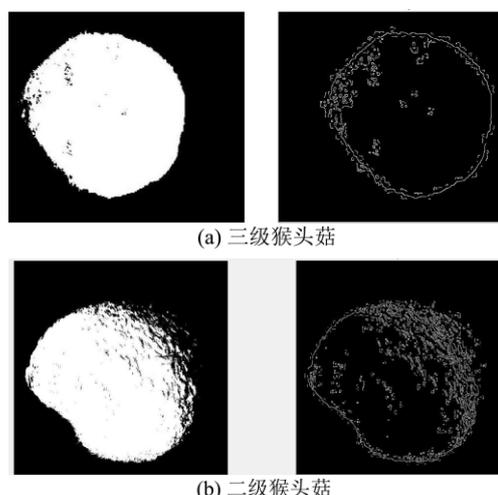


图10 猴头菇 Canny 边缘检测效果

Fig.10 Canny edge detection effect of *Hericium erinaceus*

图10为 Canny 边缘检测后的图像处理效果,为了更好地判断猴头菇的完整度,本系统选用 Opencv

自带的 cv2.arcLength 和 cv2.approxPolyDP 函数进行完整度的判断, cv2.arcLength 得到的是轮廓点形成的曲线围成的图形的周长, cv2.approxPolyDP 将其得到的轮廓点进行筛选, 从而判定猴头菇的形状以得到猴头菇的完整度情况。

为了更好地判断猴头菇的轮廓大小和平均直径, 在图像分割和 Canny 边缘检测的基础上, 本文采用最小外接圆法对其进行判断。猴头菇的形状可以类似地看作圆形, 圆形的直径大小近似看作猴头菇的最大直径。最小外接圆法是在完成形态学图像的基础上, 通过获取猴头菇图像的最小外接圆, 返回半径值, 将半径获取为直径, 即可近似当作猴头菇的最长直径^[22], 并进行自动分级。

其表达式为:

$$R^2 = (X-A)^2 + (Y-B)^2 \quad (7)$$

式中:

R——最小外接圆半径, cm;

A、B——外接圆圆心。

采用猴头菇的质心坐标代替圆心获取猴头菇的最小外接圆, 然后根据外接圆的大小等情况判定猴头菇的实际轮廓大小, 从而判定猴头菇的等级。最小外接圆的图像效果如图 11 所示。

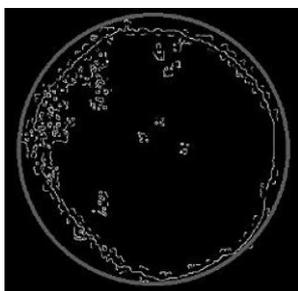


图 11 猴头菇最小外接圆效果图

Fig.11 Effect drawing of minimum circumscribed circle of *Herichium erinaceus*

根据表 1 的猴头菇分级标准, 本系统在颜色、直径(大小)、形状、完整度等特征的判定程序中均设定合理的判定阈值, Opencv 会对多个特征阈值进行综合计算分析, 最后得出整个系统的分级结果。

3 智能分级系统试验与结果

3.1 猴头菇智能分级系统平台搭建

为了更直观地观察到猴头菇的实时分级检测情况, 需要搭建一个猴头菇实时检测分级可视化平台。鉴于此, 本文根据系统的实际需求, 在 MATLAB^[23]中编写算法处理猴头菇图像信息, 通过 Microsoft Visual Studio 2017^[24]搭建猴头菇分级系统可视化平

台, 从而可以使得整个检测过程可视化, 方便工作人员控制操作。如图 12 所示。

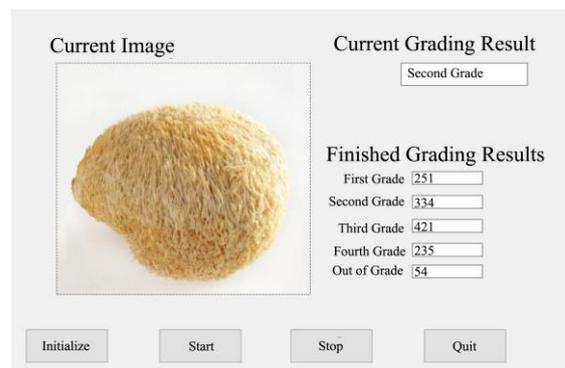


图 12 猴头菇智能分级系统工作界面

Fig.12 Working interface of *Herichium erinaceus* intelligent grading system

如图 12 所示, “Initialize”按钮具有初始化功能, 它可以使系统恢复到“全零”的状态; “Start”为开始按钮, 通过鼠标单击“Start”按钮启动系统工作程序; “Current Grading Result”为当前实时检测的猴头菇等级显示区域, 此区域可以显示当下猴头菇的分级情况; “Finished Grading Results”为已经完成分级工作的猴头菇分级结果, 共分为五个等级, 此区域能够对检测的猴头菇等级及个数累积计数; “Stop”按钮为结束按钮, 鼠标点击此按钮可以结束当前的分级检测工作; “Quit”是退出系统按钮, 如果想要退出整个系统可以点击此按钮。猴头菇分级检测界面的设定, 能够使得整个分级检测过程可视化, 更直观易懂且操作更方便。

3.2 结果与分析

3.2.1 系统分级试验

在测试集里随机挑选 1 500 颗猴头菇对系统进行测试, 为了对比系统分级与人工分级效果, 设置人工分级对照组。试验结果如表 2 所示。

表 2 猴头菇系统分级与人工分级结果对比

Table 2 Comparison of systematic classification and artificial classification of *Herichium erinaceus*

等级	系统分级颗数	人工分级颗数	误差数
一级	211	222	11
二级	569	553	16
三级	395	389	6
四级	237	246	9
等级外	88	90	2

由表 2 可知, 猴头菇智能分级系统的整体分级准确率达 97.07%。同时, 在试验的过程中进行了准确计时, 猴头菇智能分级系统用了 403 s 结束了 1 500 颗猴头菇的分级, 其平均速度达到了 3.72 颗/s; 而对照组,

人工则需要用 2 045 s 完成此项测试, 平均速度仅为 0.73 颗/s。由以上结果可知, 猴头菇智能分级系统分级速度大概为人工的 5 倍多, 又由于手动分级, 后期会越来越疲惫, 分级速度有变慢的趋势, 猴头菇数目越多, 这种变慢的现象越来越明显。

3.2.2 图像处理速度及系统鲁棒性

图像的处理速度直接决定了猴头菇分级系统对猴头菇实时分级和智能检测的速度, 因此系统对图像的处理稳定性与快速性是重要的因素。因此, 在完成分级处理的图像中的每一个等级分别选取猴头菇图像 50 张, 并将它们输入至猴头菇分级系统, 然后计算系统对图像的处理时间, 如表 3 所示。

表 3 猴头菇图像处理时间统计

Table 3 Statistics of image processing time of *Hericium*

<i>erinaceus</i>			
等级	最短耗时/ms	最长耗时/ms	平均耗时/ms
一级	20	49	31
二级	25	51	33
三级	21	50	30
四级	23	53	32
等级外	25	55	33

由表 3 可以看出, 系统在对不同等级的猴头菇图像进行处理时, 在平均耗时上基本相差不大, 其鲁棒性整体较好, 说明系统在工作时, 能够稳定且快速地对猴头菇的图像进行实时处理。

综上, 对猴头菇无损检测与分级系统进行了试验, 试验结果表明, 此系统无论是在分级速度上还是稳定性上和人工分级相比都有较大的优势。机器视觉的应用, 提高了猴头菇分级的智能化水平, 减小了人工分级操作过程对猴头菇的损坏。并且机器检测不存在疲惫现象, 更不存在主观性, 整个分级过程平稳且快速。

4 结论

设计了一种基于机器视觉的猴头菇智能分级系统。试验结果表明: 猴头菇智能分级系统能够有效地代替人工分级, 提高了食用菌领域的生产加工智能化水平。为了更好地提高生产效率, 节省人力物力, 下一步还需要提高猴头菇的分级速度和猴头菇的分级准确率, 并且需要对系统中采用的图像处理方法进行改进, 下一步打算将猴头菇的分级准确率提高到 98.5%, 把猴头菇的分级速度提高到 5 颗/s, 并将其推广到食品行业的其他检测和分级领域, 提高食品工业的智能化水平。

参考文献

- [1] 李卫卫, 马红, 尹永刚. 猴头菇工厂化栽培不同培养料配方的效果比较[J]. 食药菌, 2021, 29(1): 67-69.
- [2] 熊金, 彭勇, 余兴华. 机器视觉在烟草薄膜识别中的应用[J]. 科学技术创新, 2021, 25: 44-45.
- [3] 杨再雄, 吴恋, 左建, 等. 基于人工智能的农产水果分级检测技术综述[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(22): 41-43.
- [4] 李志伟, 霍静琦, 葛晟昆. 机器视觉技术在农业智能装备中应用的研究进展[J]. 当代农机, 2021, 7: 5-7.
- [5] Chopra H, Singh H, Bamrah M S, et al. Efficient fruit grading system using spectrophotometry and machine learning approaches [J]. IEEE Sensors Journal, 2021, 21(14): 16162-16169.
- [6] Fitri Z E, Baskara A, Madjid A, et al. Comparison of classification for grading red dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) [J]. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 2022, 11(1): 43-49.
- [7] Mesa A R, Chiang J Y. Multi-input deep learning model with RGB and hyperspectral imaging for banana grading [J]. Agriculture, 2021, 11(8): 687.
- [8] Behera S, Mahapatra A, Rath A, et al. Classification & grading of tomatoes using image processing techniques [J]. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019, 8: 545.
- [9] 李倩倩. 基于计算机视觉的猕猴桃无损检测与自动分级研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020: 23-45.
- [10] 汪威, 刘亚川, 吕斌, 等. 一种去柄鲜香菇视觉分级系统设计 [J]. 食品与机械, 2021, 37(3): 105-111.
- [11] 钱柏英, 刘志刚. 基于视觉体验的双孢蘑菇在线自动分级设计与试验[J]. 中国食用菌, 2021, 40(2): 169-172.
- [12] Hu Shuyu. Research on data acquisition algorithms based on image processing and artificial intelligence [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2020, 34(6): 2054016.
- [13] Roza Dastres, Mohsen Soori. Advanced image processing systems [J]. International Journal of Imaging and Robotics™, 2021, 21(1): 27-44.
- [14] Jifara W, Jiang F, Rho S, et al. Medical image denoising using convolutional neural network: a residual learning approach [J]. The Journal of Supercomputing, 2019, 75(2): 704-718.
- [15] Weinstein B G, Marconi S, Bohlman S, et al. Individual tree-crown detection in RGB imagery using semi-supervised

- deep learning neural networks [J]. Remote Sensing, 2019, 11(11): 1309.
- [16] 陶彦辉,尹君驰,方菲.基于 RGB 颜色模型的番茄识别系统设计[J].机械研究与应用,2015,28(1):159-160, 163.
- [17] Wang Z, Wang E, Zhu Y. Image segmentation evaluation: A survey of methods [J]. Artificial Intelligence Review, 2020, 53(8): 5637-5674.
- [18] Badrinarayanan V, Kendall A, Cipolla R. Segnet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(12): 2481-2495.
- [19] Ghosh S, Das N, Das I, et al. Understanding deep learning techniques for image segmentation [J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2019, 52(4): 1-35.
- [20] NIU Zuodong, LI Handong. Research and analysis of threshold segmentation algorithms in image processing [C]. In Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1237(2): 022122.
- [21] Song Renjie, Zhang Ziqi, Liu Haiyang. Edge connection based Canny edge detection algorithm [J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2017, 27(4): 740-747.
- [22] 姜传文,唐旭晟.一种基于最小外接圆法的圆度误差评定算法[J].机械制造与自动化,2017,46(5):53-58.
- [23] Kshirsagar G, Thakre A N. Plant disease detection in image processing using Matlab [J]. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 2018, 6(4): 113-116.
- [24] Chowdhury K. Mastering Visual Studio 2017 [M]. UK: Packt Publishing Ltd, 2017: 317-335.