

基于人工智能的柠檬分选机设计

陈卫丽, 邹颜

(广东交通职业技术学院, 广东 清远 511510)

摘要: 随着农业自动化和智能化的发展, 果蔬分选技术在提高生产效率、保证产品质量和优化供应链管理中发挥着至关重要的作用。设计了一种基于人工智能和深度学习的柠檬分选机, 使用 OpenCV 和 YOLOv8 对柠檬图像进行识别分选, 通过高精度的重量检测、直径检测和外观检测实现了缺陷剔除和柠檬分级功能, 检测准确率超过 99.5%, 分选效率显著提高, 为现代柠檬生产和供应链管理提供了有效的技术支持。

关键词: 农业自动化; YOLOv8; OpenCV; 深度学习; 柠檬分选机

中图分类号: S23; TP391

文献标识码: A

Design of a Lemon Sorting Machine Based on Artificial Intelligence

CHEN Weili, ZOU Yan

(Guangdong Communication Polytechnic, Qingyuan 511510, Guangdong, China)

Abstract: With the development of agricultural automation and intelligence, fruit and vegetable sorting technology plays a crucial role in improving production efficiency, ensuring product quality, and optimizing supply chain management. This article designs a lemon sorting machine based on artificial intelligence and deep learning, using OpenCV and YOLOv8 to recognize and sort lemon images. Through high-precision weight detection, diameter detection and appearance detection, defect removal and lemon grading functions are achieved, with a detection accuracy of over 99.5% and significantly improves sorting efficiency, providing effective technical support for modern lemon production and supply chain management.

Key words: agricultural automation; YOLOv8; OpenCV; deep learning; lemon sorting machine

柠檬作为一种广泛应用于食品、饮料、医药等领域的水果, 其质量高低直接影响最终产品的品质和市场竞争力。传统的柠檬分选主要依赖人工进行重量和外观的检测, 存在效率低下、劳动强度大、检测精度不高等问题^[1]。随着深度学习和计算机视觉技术的发展, 基于深度学习的自动分选设备逐渐成为研究热点, 为果蔬分选提供了新的解决方案。Tu^[2]等设计了一种基于卷积神经网络的机器识别百香果的品质和成熟度, 达到了 92.71% 的算法准确率。Bhargava 等^[3]使用 SVM 分类器技术设计了可以识别四种水果的水果分类系统, 通过水果的颜色、外观和纹理等特征进行分类。Yang 等^[4]使用深度学习技术实现了对苹

果的自动分级, 为后来水果自动分类与管理系统的开发提供了重要的参考价值。杨涛等^[5]开发了一种用于识别猕猴桃表面缺陷的方法, 该方法首先利用 K-means 聚类算法将采集到的猕猴桃表面图像中的缺陷区域分割出来, 随后通过颜色分析进一步确认这些缺陷是否属于次品类别, 最后收集了猕猴桃的形状信息并采用支持向量机 (SVM) 模型对其品质进行评估。

本文旨在设计并实现一款集重量检测、直径检测、外观检测、缺陷剔除和分级功能于一体的基于深度学习的柠檬分选机。采用高精度传感技术和深度学习算法, 确保设备在实际应用中具备高效、精准的分选能力, 检测误差不超过 ± 2 g, 外

收稿日期: 2025-02-28

作者简介: 陈卫丽, 副教授, 硕士, 研究方向为嵌入式技术、机器人和人工智能应用

观检测准确率高于99.5%，检测精度达到0.01 mm。

1 柠檬分选机硬件结构设计

柠檬分选机硬件结构由滚筒式工作台上料机构、下料流水线、视觉模块、称重模块、1号机械臂和2号机械臂组成。柠檬分选机整体运行流程图如图1所示。

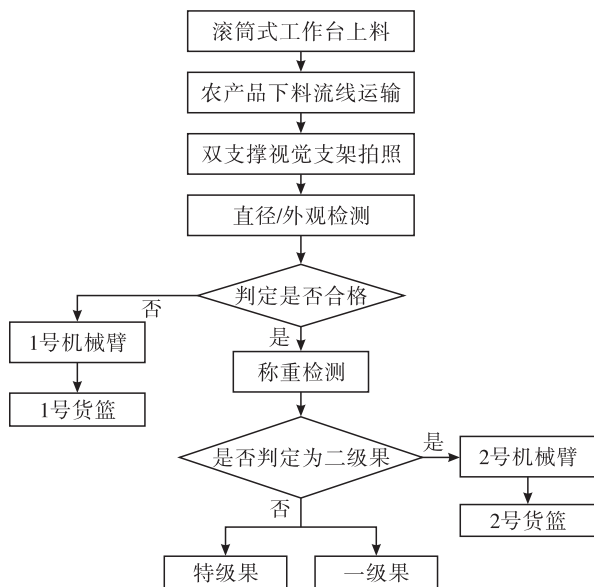


图1 柠檬分选机整体运行流程图

滚筒式工作台结构简单，适合低重量物品输送并能准确定位柠檬。由于柠檬表面光滑，滚筒可以避免柠檬在输送过程中出现滑动或堆积问题。滚筒设计可以有效调节输送速度，避免柠檬在运输过程中受到过大的冲击，可以根据生产线的需要调整滚筒的倾斜角度或方向，优化柠檬的流向。

农产品下料流水线将类圆形的柠檬分隔成一个独立的产品，确保每个柠檬进入检测区域时不会互相干扰。采用流线形设计，分隔效果好，使得每个柠檬能够单独经过分选区域，避免产品之间的拥挤、交叉。易于处理形状不规则的产品，可以灵活适应不同大小和形状的柠檬，减少停机时间，保证每个柠檬按顺序进入下一个环节，有助于后续的精准检测。

视觉模块包括双支撑视觉支架、镜头、相机和光源，见图2。双支撑视觉支架用于固定和调整相机镜头和光源的位置，保证视觉系统的稳定性和图像质量。双支撑设计确保了相机镜头和光源在视觉检测过程中不受震动和外力影响，避免出现图像偏差或焦距错误。通过双侧拍照，视觉系统能够更全面地检查柠檬的外观，如表面缺陷、颜色变化等。双方向拍摄也有助于提高分选

准确性，确保不会遗漏某一侧的缺陷。

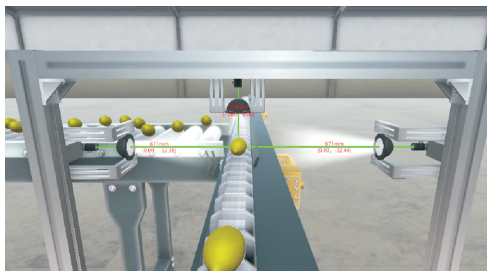


图2 视觉模块示意图

称重模块由高精度称重传感器组成，用于实时测量柠檬的重量。

机械臂模块由两个用于分拣的机械臂和下料机构组成，机械臂根据视觉系统提供的数据识别并精准抓取烂果和二级的柠檬，然后将其从流水线上移除。

1.1 称重模块设计

称重模块由 HY-639-2A 称重传感器、HX711 信号放大调理器、AT89C51 单片机组成。

HY-639-2A 称重传感器的原理是基于应变片技术，把应变片安装在一个弹性体（如金属梁）上。当柠檬放置在传感器表面时，由于重量作用，弹性体会发生微小形变，改变应变片的电阻值，从而产生与重量成比例的电压变化。由于产生的电压变化比较微弱，需要 HX711 信号放大调理器对信号进行处理并把处理后的数据输出给单片机，再由单片机通过串口传给柠檬检测系统。

HX711 信号放大调理器的主要功能是接收从称重传感器来的微弱电压信号，并将其转换为更强的、更稳定的信号，便于进一步处理和分析。信号放大器通常还包括滤波功能，以消除电气噪声和外部干扰，确保信号的准确性。

1.2 视觉模块设计

视觉模块中，要进行工业相机和镜头焦距选型。假设柠檬尺寸为 76 mm × 60 mm，要求检测精度为 0.1 mm，则像素单元物理尺寸计算公式如下。

$$\text{像素单元物理尺寸} = \frac{0.1 \text{ mm}}{3} = 0.033 \text{ 3 mm/像素}$$

根据柠檬尺寸和每个像素的物理尺寸，计算所需的相机分辨率：

图像宽度所需的像素数：

$$\frac{76 \text{ mm}}{0.033 \text{ 3 mm/像素}} \approx 2 \text{ 280 像素}$$

图像高度所需的像素数：

$$\frac{60 \text{ mm}}{0.033 \text{ 3 mm/像素}} \approx 1 \text{ 800 像素}$$

根据计算, 相机所需要的分辨率至少为 2 280 像素×1 800 像素, 500 万像素相机的常见分辨率为 2 590 像素×1 944 像素, 与所需像素相比, 完全能够满足要求, 所以选用 500 万像素相机 (2 590 像素×1 944 像素) 来进行检测。

根据选定的相机分辨率 2 590 像素×1 944 像素, 假设工作距离为 671 mm, 传感器尺寸 5.70 mm×4.28 mm, 计算每个像素的视场尺寸:

水平视场尺寸:

每个像素的水平视场尺寸 = $\frac{5.70\text{ mm}}{2\,590\text{ 像素}} \approx 0.002\,2\text{ mm/像素}$

垂直视场尺寸:

每个像素的垂直视场尺寸 = $\frac{4.28\text{ mm}}{1\,944\text{ 像素}} \approx 0.002\,2\text{ mm/像素}$

通过工作距离和传感器尺寸, 根据焦距计算公式计算焦距如下:

水平焦距 = $\frac{671\text{ mm} \times 5.70\text{ mm}}{76\text{ mm}} = 50.5\text{ mm}$

垂直焦距 = $\frac{671\text{ mm} \times 4.28\text{ mm}}{60\text{ mm}} = 47.9\text{ mm}$

根据计算, 所需焦距为 47.9 ~ 50.5 mm, 因此选择 50 mm 焦距的镜头, 能够在工作距离 671 mm 时满足精度要求。

2 直径检测算法设计

相机安装在支架顶部和左右两侧, 当柠檬经过时, 摄像头垂直对准柠檬拍摄侧面轮廓图像。摄像头捕捉柠檬的侧面图像后, 将图像传给柠檬监测系统, 系统首先对图像进行灰度化处理, 然后使用 RETR_TREE 和 CHAIN_APPROX_SIMPLE 检测算法识别柠檬的轮廓, 最终通过像素距离和标定比例因子计算出柠檬的实际直径。

直径检测算法流程见图 3, 使用 OpenCV 函数读取图像将图像转化为单通道的灰度图, 经过图像预处理进行高斯模糊去除噪声和阈值处理将图像二值化, 再用之前提到的两种关键算法 RETR_TREE 和 CHAIN_APPROX_SIMPLE 检测算法进行轮廓检测, 接着进行轮廓分析与直径计算, 最后显示与输出效果图图片如图 4 所示。根据测试, 检测精度达到了 0.01 mm。

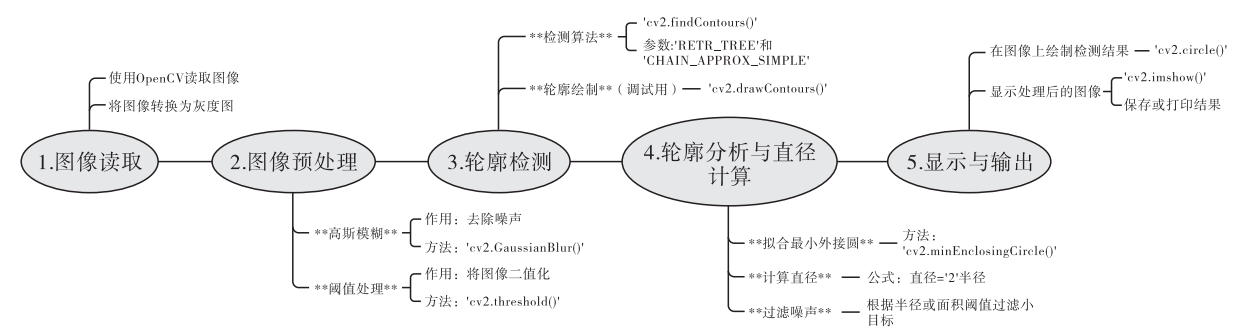


图 3 直径检测流程图

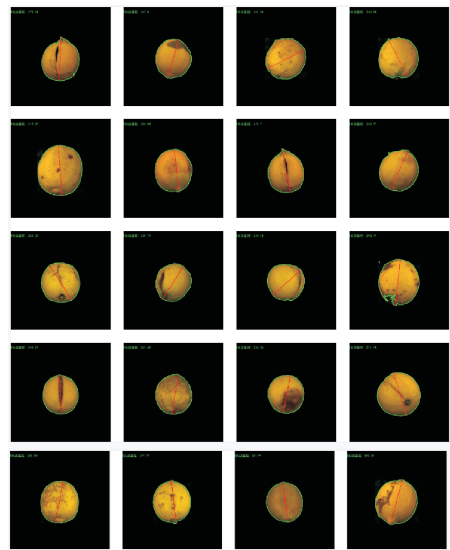


图 4 20 张直径检测结果图

3 外观检测算法设计

使用前文选取的 500 万像素高清工业摄像头, 采集柠檬表面图像。外观检测算法流程如图 5 所示。

3.1 数据集的准备

本模型采集了各种形态原始柠檬图片 2 300 多张, 分别标注为合格、黑斑、裂果和腐烂四种类型。为提高数据质量, 对图像进行了去除噪声图像、模糊图像和重复图像等清洗操作。经过清洗后, 得到 2 000 张高质量的图像作为训练集, 100 张图像作为验证集。

3.2 分类模型的选择

本文采用深度学习模型 YOLOv8 对柠檬的外

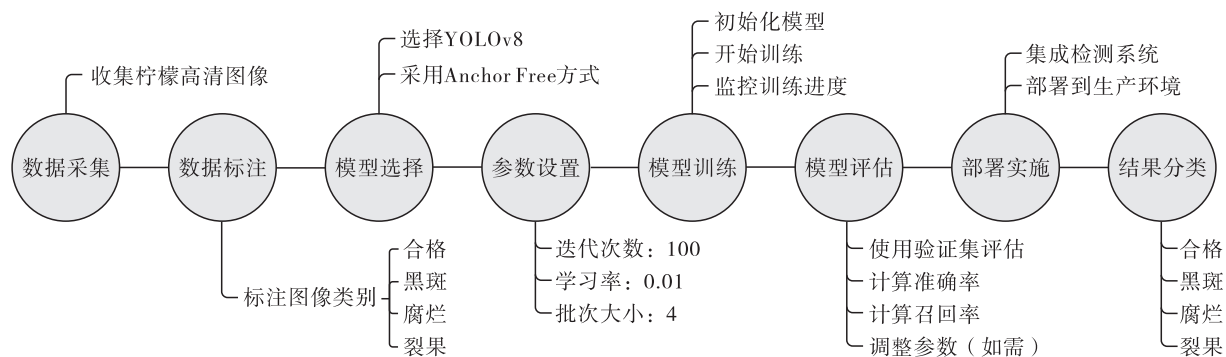


图 5 外观检测算法流程

观图像进行处理和识别, YOLOv8 算法相较于其他算法, 模型参数量小, 具有较高的检测速度和相当可观的检测精度^[6], 在缺陷识别的准确性和处理速度方面显著优于其他技术。

YOLOv8 主要由用于图像输入的 Input 图像输入层、用于图像特征提取的 Backbone 主干网络、进行特征融合的 Neck 层和进行解码的 head 层组成。YOLOv8 采用无锚框 (anchor-free) 的结构, 直接预测目标的中心点和宽高比例, 从而减少了锚框的数量和计算复杂度, 极大地提升了检测速度和准确度^[7], 增强了模型的泛化能力和鲁棒性。

YOLOv8 损失函数由分类损失、回归损失和置信度损失这几部分组成。本文分类损失采用交叉熵损失 (cross-entropy loss) 函数。这一损失项能够确保模型准确地预测出目标的类别标签, 对于多类别分类问题尤为重要。回归损失部分采用的是 distribution focal 损失, 可以在检测过程中快速定位到目标坐标附近。

3.3 参数设置及模型训练

为了获得最佳的实验效果, 本文在训练过程中多次进行学习率调整, 采用 Dropout、权重衰减等正则化方法防止过拟合, 提高模型的鲁棒性。算法参数设置如表 1 所示。

表 1 算法参数设置

最优参数	实验参数	性能	
		识别精度/%	反应速度/fps
rate = 0.01	epochs = 50	85	62.84
	epochs = 100	100	62.85
	epochs = 150	95	60.55
epochs = 100	rate = 0.005	85	52.68
	rate = 0.01	100	62.85
	rate = 0.1	75	69.21

3.4 实验结果

通过优化损失函数和训练策略, 本文采用

YOLOv8 模型最终输出分为 4 类: 合格、黑斑、裂果和腐烂, 算法识别准确率 100%。结合直径检测结果, 综合输出如图 6 所示。实验结果表明, 本文采用的 YOLOv8 模型在缺陷识别的准确性方面显著优于其他技术, 能够准确识别柠檬表面的各类缺陷。这种高精度的检测能力使得 YOLOv8 在工业领域中具有广泛的应用前景。

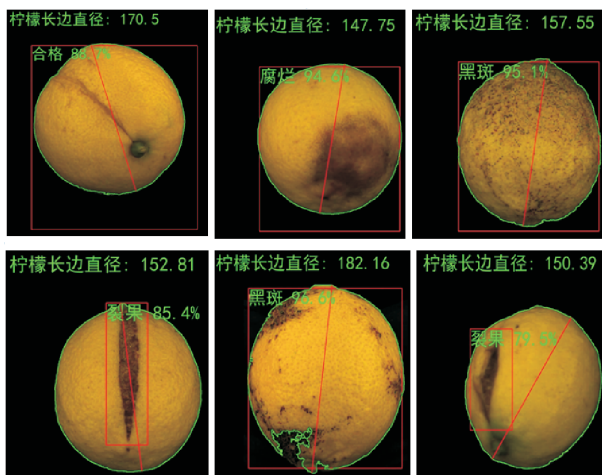


图 6 6 个样本的外观检测结果图

4 分级功能设计

分级功能设计基于国标《柠檬》GB/T 29370—2012, 在符合基本要求的前提下, 根据前文用本系统测得的重量和直径, 将柠檬果实分为特级果、一级果和二级果, 并由 1 号机械臂和 2 号机械臂将其进行分别存放, 标准分级具体如表 2 所示。

表 2 柠檬分级标准表

等级	重量/g	直径/mm	市场定位
特级柠檬	(120, 210]	>55	高端市场首选
一级柠檬	>210	55~60	适合普通零售
一级柠檬	90~120	[45, 55)	
二级柠檬	<90	<45	主要用于加工或果汁制作

(下转第 84 页)

馈课程思政育人成效。改革后的课程实现了从课程建设伊始到综合评价全程浸润课程思政的育人路径,实现了专业教育与思政教育的协同育人,为设计类专业基于非遗文化探索课程思政育人路径提供了参考,切实提升了学生对中华优秀传统文化的自豪感,增强了他们的文化自信。

参考文献:

- [1]教育部.关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL].(2020-06-01)[2024-07-19].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html.
- [2]陈小娟.课程思政视域下非遗文化融入高校影视专业

课堂的策略[J].新闻前哨,2024(12):52-53.

- [3]侨乡广记.非遗传承|灰塑:让岭南建筑“会呼吸会杀菌”.[EB/OL].(2016-11-18)[2024-11-21].<https://static.nfapp.southcn.com/content/201611/18/c185560.html>.
- [4]周志国,金萍女,鲍婷婷,等.职业院校“双融双驱”课程思政育人路径探索:基于新时代工匠培育视角[J].职教论坛,2022,38(6):114-121.
- [5]中国社会科学网.抓住思政课教师队伍建设这个关键[EB/OL].(2024-03-18)[2024-11-21].<https://www.chinanews.com/ll/2024/03-18/10182263.shtml>.
- [6]宁培淋.高职“智慧+思政”课堂教学探索与实践:以“建筑智慧施工技术”为例[J].广东交通职业技术学院学报,2023,22(4):80-84.

(上接第72页)

5 结果与讨论

(1) 重量检测精度。系统在多次实验中,重量检测误差均控制在 $\pm 2\text{ g}$ 以内,满足设计要求。高精度的称重传感器和稳定的数据采集系统保证了重量检测的准确性。

(2) 直径检测准确性。通过激光测距传感器和图像处理算法能够准确测量柠檬的长边直径,误差控制在 0.5 mm 以内。高精度传感器和精准的校准方法确保了测量结果的可靠性。

(3) 外观检测性能。采用深度学习算法进行外观检测,检测准确率达到99.9%,检测精度高于 0.01 mm 。通过大量标注数据和优化的深度学习模型,系统能够有效识别各种表面瑕疵,如黑斑、腐烂和裂果等。

(4) 缺陷剔除效率。实现了自动化剔除瑕疵柠檬,剔除准确率达到99.5%,处理速度符合生产线需求。机械臂和传送带系统的高效协作确保了剔除过程的快速和准确性。

(5) 分级效果。根据重量和外观检测结果,准确将柠檬分为不同品质等级。分级系统的高精度和高效率有助于优化库存管理和满足不同市场的品质需求,提高了整体生产效率。

6 结论与展望

本文设计并实现了一款基于深度学习的柠檬分选机,集成了重量检测、直径检测、外观检测、缺陷剔除和柠檬分级等功能。通过采用高精度传感器和深度学习算法,实现了高效、精准的柠檬分选,检测准确率和分选效率均达到了预期目标。

实验结果表明,系统在实际应用中表现出良好的分选效果和稳定性,具备广泛的应用前景。随着深度学习和传感器技术的进一步发展,柠檬分选机的智能化水平将不断提升。可以考虑引入更多的检测参数,如颜色检测、硬度测量等,以进一步提高分选的全面性和精准性。此外,结合物联网技术,实现分选设备的远程监控和数据分析,将有助于优化生产流程和提升管理效率。进一步的研究还可以探索多模态数据融合,提高系统的鲁棒性和适应性,满足更复杂的分选需求。

参考文献:

- [1]李帅.基于深度学习的柠檬自动分级系统设计[D].西安:西安交通大学,2023:1-6.
- [2]TU S, XUE Y, ZHENG C, et al. Detection of passion fruits and maturity classification using Red Green-Blue Depth images [J]. Biosystems engineering, 2018, 175: 156-167.
- [3]BHARGAVA A, BANSAL A. Automatic detection and grading of multiple fruits by machine learning [J]. Food analytical methods, 2020, 13: 751-761.
- [4]YANG M, KUMAR P, BHOLA J, et al. Development of image recognition software based on artificial intelligence algorithm for the efficient sorting of apple fruit [J]. International journal of system assurance engineering and management, 2021: 1-9.
- [5]杨涛,马京晶,雷进.基于表面缺陷识别的猕猴桃分级方法[J].湖北农业科学,2021,60(7):145-148.
- [6]贾岩龙.基于改进YOLOv8的人体皮肤病分类检测算法[J].现代计算机,2024,30(24):1-3.
- [7]李秀滢.基于YOLOv8目标检测器的对抗攻击方案设计[J].信息安全研究,2025,11(3):1-2.