

烟台农产品AI分选系统研发与产教融合实践

林建君¹ 杜鹃²

1. 烟台职业学院基础教学部, 中国·山东 烟台 264670

2. 烟台第一职业中等专业学校, 中国·山东 烟台 264000

摘要: 针对烟台苹果、樱桃等特色农产品人工分选效率低、标准不一致、人力成本高的产业痛点, 本项目研发一套基于边缘计算的轻量化AI视觉分选系统。通过构建本地农产品图像数据集、优化YOLOv8s与MobileNet融合网络、引入反光抑制与粘连果实分离算法, 实现苹果与樱桃的瑕疵识别、大小分级、着色度判定, 模型识别准确率达到92%以上, 推理延迟控制在100ms以内。系统集成工业相机、边缘计算盒与气动分选装置, 形成从图像采集、智能推理到自动分选的完整产线闭环。项目同步开展产教融合实践, 构建实训案例库、编写实训手册, 将真实工程任务融入人工智能课程教学, 为高职院校培养具备AI落地能力的技术技能人才提供可复制模式。

关键词: 特色农产品; AI分选; 轻量化模型; 边缘计算

Research and Practice of AI Sorting System for Agricultural Products in Yantai and Integration with Education and Industry

Lin Jianjun¹, Du Juan²

1. Basic Teaching Department of Yantai Vocational College, China Shandong Yantai 264670

2. Yantai First Vocational Secondary School, China Shandong Yantai 264000

Abstract: In response to the industry pain points of low efficiency, inconsistent standards, and high labor costs in the manual sorting of characteristic agricultural products such as Yantai apples and cherries, this project has developed a lightweight AI visual sorting system based on edge computing. By constructing a local agricultural product image dataset, optimizing the YOLOv8s and MobileNet fusion network, and introducing anti-reflection suppression and adhered fruit separation algorithms, the system can identify defects, grade size, and determine color intensity of apples and cherries. The model recognition accuracy reaches over 92%, and the inference delay is controlled within 100ms. The system integrates industrial cameras, edge computing boxes, and pneumatic sorting devices to form a complete production line closed loop from image acquisition, intelligent inference to automatic sorting. The project also conducts practical integration with education, building a training case library and writing training manuals, integrating real engineering tasks into the teaching of artificial intelligence courses, providing a replicable model for vocational colleges to cultivate technical skills talents with the ability to implement AI.

Keywords: Special agricultural products; AI sorting; Lightweight model; Edge computing

1 引言

1.1 研究背景

烟台作为“中国苹果之都”, 苹果、樱桃、海参等特色农产品产量大、品质优, 是区域农业经济的重要支柱。当前农产品产后分选仍以人工为主, 存在三大突出问题: 一是效率低下, 人工分选速度约为每分钟20-30个, 难以匹配规模化生产需求; 二是标准不一, 人工判断受主观经验、疲劳程度影响, 分级稳定性差; 三是成本高企, 劳动力成本逐年上升, 中小合作社用工难、用工贵问题突出。随着智慧农业与数字乡村建设推进, 开发低成本、高可靠、易部署的智能分选设备, 成为推动烟台特色农业提质增效

的关键方向。

1.2 研究内容与创新点

本研究以烟台苹果、樱桃为研究对象, 围绕数据集构建、轻量化模型研发、边缘系统集成三大核心内容展开:

采集本地多场景农产品图像, 构建包含反光、沾水、遮挡、粘连等难点样本的高质量标注数据集; 基于YOLOv8s与MobileNet融合架构, 研发轻量化视觉分选模型, 实现瑕疵、大小、着色度多维度同步检测; 开发反光抑制、粘连果实分离算法, 提升复杂场景识别精度; 完成工业相机、边缘计算盒、气动执行装置的软硬件集成, 实现产线级实时分选。

2 系统总体设计

2.1 总体架构

系统采用分层模块化设计，分为四层：

图像采集层：由 4K 工业相机、偏振滤光装置、环形补光灯组成，适配自然光与传送带动态场景，采集图像分辨率 3840×2160 ；

AI 推理层：基于 RK3588 边缘计算盒部署轻量化模型，负责图像预处理、目标检测、特征提取与结果输出；

分选控制层：由传送带控制器、气动喷吹装置、传感器组成，接收推理结果，完成分级分选动作；

应用交互层：包含本地可视化界面、微信小程序与教学管理模块，分别面向操作员、管理者与教师学生。

2.2 技术路线

项目采用 V 模型开发流程，分六个阶段实施：

可行性论证阶段：完成技术、经济、社会效益评估，验证轻量化模型在边缘设备的推理性能；

需求分析阶段：调研本地合作社分选标准，明确功能与性能指标；

系统设计阶段：完成硬件选型、算法架构设计、模块划分与接口定义；

编码实现阶段：完成模型训练、嵌入式部署、控制程序开发与界面设计；

测试优化阶段：开展功能测试、性能测试、现场实测，优化反光、粘连场景识别效果；

部署应用阶段：完成合作社现场部署、人员培训与教学资源转化。

3 本地农产品数据集构建

3.1 数据采集方案

选取烟台福山区苹果基地、牟平区樱桃园作为采集地点，采用诚浩信息科技提供的 4K 工业相机，设置三大采集场景：

静态场景：自然光、补光条件下果实平放，采集完整果形、表面瑕疵图像；

动态场景：传送带速度 0.3m/s ，模拟实际产线，采集运动状态果实图像；

难点场景：重点采集沾水、虫洞、枝叶遮挡、果实粘连样本，数量不少于 500 例。

3.2 数据标注与增强

采用半自动标注方案，使用 CVAT 工具完成初始标注，人工校验修正，标注维度包含三类：

表面瑕疵：锈斑、碰伤、腐烂，按 ISO8682 分级标准标注；

规格分级：直径精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ，参照 NY/T1793 标准标注；

着色度：RGB 值分区，红域占比 $\geq 70\%$ 定义为一等果。

为解决样本不平衡问题，采用 StyleGAN2 生成反光果皮合成图像，结合翻转、缩放、亮度调整等传统增强方法，最终构建包含 10 万张图像的本地农产品数据集，为模型训练提供高质量数据支撑。

4 轻量化 AI 分选模型研发

4.1 模型选型与优化

针对农产品分选设备边缘部署、实时性强、硬件资源有限的特点，本研究以 YOLOv8s 为基础检测框架，融合 MobileNetV2 轻量化骨干网络，构建轻量高效的视觉检测模型。YOLOv8s 在检测精度、推理速度与模型体积间取得良好平衡，适合工业现场实时检测；MobileNetV2 采用深度可分离卷积与倒残差结构，显著降低参数量与计算量，适配嵌入式边缘设备部署。

模型优化采用三步压缩策略：第一步为通道剪枝，基于 L1 正则化筛选重要卷积通道，移除冗余通道，减少模型参数规模；第二步为知识蒸馏，以 YOLOv8m 大模型为教师模型，引导轻量化学生模型学习高级特征，提升小模型检测精度；第三步为模型量化，采用 INT8 量化技术，将浮点参数转换为整数参数，降低模型存储占用，提升边缘设备推理速度。经三步优化，模型参数量压缩至 2.8M，模型体积控制在 4.6MB，满足边缘设备部署要求。

模型整体结构分为特征提取、特征融合、检测头三部分：骨干网络采用 MobileNetV2，通过深度可分离卷积提取多尺度特征，降低计算开销；颈部网络采用 PANet 特征金字塔结构，融合浅层细节特征与深层语义特征，增强小瑕疵、小尺寸果实的检测能力；检测头采用解耦头设计，将分类任务与回归任务分离，提升检测精度与推理速度，实现瑕疵、大小、着色度多目标同步检测。

4.2 关键算法创新

4.2.1 反光抑制算法

烟台苹果、樱桃表皮光滑、果蜡丰富，自然光或补光条件下易产生高光反光区域，导致瑕疵特征被掩盖，引发漏检、误检问题。本研究基于 HSV 颜色空间特性，构建反射分量分离算法，有效抑制反光干扰。

算法原理：将 RGB 图像转换为 HSV 空间，分离亮度分量 (Value) 与色度分量 (Hue、Saturation)；通过亮度阈值分割，提取高光反光区域；基于漫反射光与反射光成像特性差异，构建反射分量分离公式，为反射分量。通过

去除反射分量、还原漫反射分量,消除高光反光干扰,还原果实真实表面瑕疵特征。实验结果表明,反光抑制算法可将反光场景瑕疵识别准确率提升 8.7%,有效解决反光导致的漏检问题。

4.2.2 损失函数优化

农产品瑕疵样本存在数量少、分布不均衡、形态差异大等特点,小面积、低对比度瑕疵样本易被模型忽略,导致检测精度偏低。本研究采用 Mixup 数据增强 + Focal Loss 损失函数组合策略,解决样本不平衡问题,提升模型对难分瑕疵样本的识别能力。

Mixup 数据增强:通过随机混合两张图像及其标签,生成新的训练样本,扩充少数类瑕疵样本多样性,缓解样本不平衡问题;**Focal Loss 损失函数:**在标准交叉熵损失基础上,引入调制因子,降低简单样本权重、聚焦难分瑕疵样本,提升模型对小面积、低对比度瑕疵的学习能力。实验验证,优化后模型对小瑕疵识别准确率提升 6.2%,整体检测精度显著提高。

4.3 模型训练与验证

本研究依托 PyTorch 2.0 框架开展果品识别模型训练工作,配套硬件搭载 RTX 3090 独立显卡、i9-12900K 处理器,并配置 64GB 大容量内存,保障训练作业平稳运行。实验统一设定图像输入规格为 640×640 ,批次样本数量设置 16 组,初始学习率设定为 0.001。训练过程选用 AdamW 优化器,搭配 0.0005 的权重衰减系数,结合余弦退火策略动态下调学习率,整体迭代训练共计 100 轮。本次实验采用 10 万张自建农产品样本数据,依照 7:2:1 的分配原则拆分,分别组建训练、验证、测试专属数据集,同时通过尺度缩放、归一化及多样化数据扩增方式优化样本质量。

模型迭代训练结束后,通过多项核心指标完成性能综合测评。实测数据表明,模型综合识别精准度为 93.5%,召回率达到 92.8%,平均精度均值稳定在 94.2%;针对反光、果实粘连等复杂工况,识别精度依旧维持在 89.7% 以上。该模型移植至 RK3588 边缘终端后,单帧图像推理耗时仅 42ms,可满足现场实时分选需求。横向对比原始 YOLOv8s 算法,本次改良的轻量化模型优势显著,参数量体缩减 62%,推理效率提升 38%,平均精度同步上涨 2.1%,兼顾识别精度与运行效率,完美适配农产品分选设备线下部署条件。

5 功能测试

本次分别在实验室及合作农户生产场地完成系统全流程功能测验,实测证实该设备可顺利完成苹果、樱桃两类

果品的图像采集、缺陷甄别、尺寸分类以及色泽等级判定等一系列操作。系统支持运行参数自主调节,具备设备故障实时预警、检测数据自动留存能力,各项功能均符合初期设计标准。

从实际运行性能来看,该识别模型整体精准度为 92.8%,设备单分钟可完成 60 件果品分选作业,作业效率相较传统人工方式提高五成,人力投入成本减少 42%,分选判定标准也更为统一。设备连续不间断运行 72 小时状态稳定,未出现故障问题,能够适配果品合作社日常生产场景。

目前这套系统已在烟台两家果品合作组织落地使用,有效化解人工分选存在的各类问题,推动农产品标准化发展,增强本地果品市场竞争力,也为乡村发展提供助力。依托校企联合研发模式,不仅加快了技术落地转化,还强化了市场主体创新实力,同时为职业教学提供实战项目依托,达成多方协同发展的良好局面。

6 结语

本研究研发的“烟台智选”特色农产品 AI 分选系统,针对本地产业需求,构建高质量农产品图像数据集,优化轻量化 AI 模型,解决反光、粘连场景识别难题,完成边缘系统集成与产教融合应用。后续研究将从三方面推进:一是拓展品种适配,将系统应用于海参、葡萄等其他烟台特色农产品;二是优化算法性能,引入深度学习最新技术,进一步提升复杂场景识别精度;三是深化产教融合,构建校企联合实验室,开展常态化技术研发与人才培养合作,助力智慧农业与职业教育高质量发展。

参考文献:

- [1] 张宏鸣,李书琴.基于机器视觉的水果分选技术研究进展[J].农业工程学报,2020,36(12):1-12.
- [2] 刘成良,周俊.轻量化深度学习模型在农业中的应用[J].农业机械学报,2021,52(5):1-18.
- [3] 王景涛,赵春江.边缘计算在智慧农业中的应用现状与趋势[J].中国农业科技导报,2022,24(3):1-9.
- [4] 教育部.职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)[Z].2020.
- [5] 林君.产教融合背景下人工智能专业实训体系构建[J].职业教育研究,2023(2):67-71.

基金项目:“烟台智选”特色农产品 AI 分选系统研发及产教融合应用(HX2025090)。

作者简介:林建君(1994-),女,汉族,山东烟台人,硕士研究生,研究方向:图像数据处理。