

基于机器视觉的百香果品质多指标 在线检测与分选

Online detection and sorting of passion fruit quality based on
machine vision using multi-indicator

褚璇 洪嘉隆 冯耿鑫 姚振权 马稚昱

CHU Xuan HONG Jialong FENG Gengxin YAO Zhenquan MA Zhiyu

(仲恺农业工程学院机电工程学院, 广东 广州 510225)

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering,
Guangzhou, Guangdong 510225, China)

摘要:[目的]提高百香果品质分级的精细化与智能化水平。[方法]利用 OpenCV 与轻量化神经网络(MobileNetV3_large_ssl)对百香果的果径、成熟度与皱缩情况进行了检测。通过最小外接矩形的短边测量果径;在 HSV 颜色空间中,分析 H 分量值在特定范围内($H \in [0, 10] \cup [156, 180], [11, 25], [26, 34], [125, 155]$)的像素占比来判别果实的成熟度;建立 MobileNetV3_large_ssl 轻量化神经网络模型,用于判别果皮的皱缩情况。基于对果径、成熟度与皱缩情况 3 个指标的检测结果,进一步采用评级量表法构建了果实品质综合评价模型,并开发了在线检测及分选系统。该系统利用 KNN 背景减去模型从传送带上运动的百香果视频流中提取目标并去除果柄,采用区间取帧法从视频中捕获单张图像,依据多指标综合评价模型对百香果品质进行分级,并通过分选机构的拨爪将百香果拨至相应的等级通道。[结果]测试结果显示,系统分选与人工分选的整体吻合度为 97.02%,特级吻合度为 95.51%,一级吻合度为 97.84%,二级吻合度为 100.00%。[结论]该系统可用于不同等级百香果品质的在线检测与分选。

关键词:采后处理;百香果;图像处理;目标检测;神经网络;分选

Abstract: [Objective] Refining the accuracy and intelligence of passion fruit quality assessment. [Methods] The study used the

capabilities of OpenCV along with a compact neural network architecture, MobileNetV3_large_ssl, to accurately determine the fruit's diameter, ripeness, and the degree of its wrinkling. The diameter measurement was achieved by analyzing the short side of the fruit's minimum bounding rectangle. The ripeness assessment was based on the pixel ratio of H component values within specific ranges ($H \in [0, 10] \cup [156, 180], [11, 25], [26, 34], [125, 155]$) in the HSV color space. Furthermore, the study developed a MobileNetV3_large_ssl model to evaluate the wrinkling of the fruit's skin. Leveraging these three key indicators, a comprehensive fruit quality evaluation model was established using a rating scale approach, and an online detection and sorting system was subsequently developed. This system employed KNN background subtraction to extract the fruits target, excludes stems, and used interval frame sampling method to capture single image for each fruit from the video. The comprehensive evaluation model was utilized to assess the quality of passion fruits, which were then sorted into their appropriate grade channels through a sorting mechanism. [Results] The test results indicated a high degree of consistency between the system's sorting and manual sorting, with an overall accuracy of 97.02%. The consistency rates for top-grade fruits, first-grade, and second-grade fruits were 95.51%, 97.84%, and 100%, respectively. [Conclusion] This system could be used for online detection and sorting of passion in different quality grades.

Keywords: postharvest handling; passion fruit; image processing; object recognition; neural network; sorting

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:32102087);广州市基础研究计划基础与应用基础研究项目(编号:SL2023A04J0125)

作者简介:褚璇,女,仲恺农业工程学院讲师,博士。

通信作者:马稚昱(1974—),女,仲恺农业工程学院教授,博士。
E-mail: mazhiyu@zhku.edu.cn

收稿日期:2023-07-25 **改回日期:**2024-03-16

百香果因其能散发出 10 多种水果的浓郁香味而得名。其含粗蛋白质、粗脂肪、糖、多种维生素及人体所需的 17 种氨基酸^[1]。除了食用,百香果还兼具药用价值^[2],

具有降脂降压、止咳化痰、清热降火等功效,备受广大消费者的青睐。将百香果品质进行分级,对提高其商品价值与市场竞争力具有重要意义。目前,百香果的分级主要依靠果实大小或质量等单一指标分选,或通过人工评判进行综合分级。

机器视觉技术具有无损、实时、准确等特点,在多种农产品在线检测与分级中已得到广泛应用。田芳等^[3]设计了基于机器视觉的马铃薯黑心病检测机构,配合透射光源系统实现了马铃薯内部黑心病的判别,患病识别率高达96%。彭彦昆等^[4]设计了苹果外部缺陷全表面在线检测分选装置,通过4个相机采集不同角度下的苹果图像,结合图像处理算法检测任意位置的苹果缺陷的真实面积,实现苹果外部缺陷的检测与分级评价,评级准确率达95%。李浪等^[5]搭建了双通道柑橘计算机视觉分级系统,利用工业相机配合翻滚机构均匀采集柑橘完整表面的信息,实现基于柑橘色泽的分级分选。Fan等^[6]采用基于卷积神经网络(CNN)的深度学习架构配合计算机视觉模块,在一个四行分选装置上实现缺陷苹果的检测,精度达到92%,每个苹果的处理时间<72 ms。Pise等^[7]利用机器视觉技术结合机器学习算法有效识别了不同成熟度及表皮缺陷的芒果,实现了4个等级芒果的划分。Arakeria等^[8]通过图像分析果实的成熟度与表面缺陷,实现了番茄的自动分级。但基于综合指标的百香果分级分选的研究依然较少。

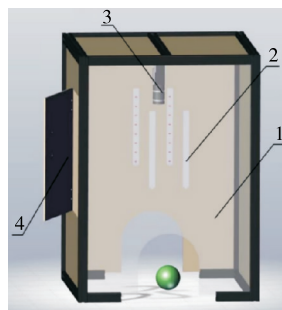
在百香果检测的研究中,多见于对收获时百香果的识别与分类。如唐熔钗^[9]提出基于YOLOv3的百香果成熟度实时检测算法,以提高采摘机器人的精准分类,检测精度达90.6%。黄才贵^[10]也提出一种基于机器视觉的百香果采摘分级机器人的设计方案。Tu等^[11]利用Kinect相机获取田间百香果的RGB-D图像,综合彩色和深度特征,使用R-CNN获取百香果的目标框区域,采用DSIFT算法和LLC,提取RGB各通道成熟度特征,最后利用SVM分类器,将百香果分为青、近青、近成熟、成熟与过熟五类,检测精度为92.71%,成熟度分类精度为91.52%。针对采后百香果的分级分选,代泽繁等^[12]设计了一款简易的百香果分拣包装机模型,利用传统机械方式,根据百香果大小,将百香果分为3个等级并进行包装。Sidehabi等^[13]基于K-Means算法和ANN算法相结合的分类方法,将百香果分为未成熟、接近成熟、成熟三类,精度为90%。Sidehabi等^[14]还设计了一套基于成熟度的百香果分级系统,该系统中夹持式装置夹住百香果并旋转,辅助相机获取百香果360°的图像信息,再根据K-Means算法和MSVM算法将百香果分为3个成熟度等级,单果分级速度为0.941 s,分选正确率为93.3%。以上研究主要基于大小或成熟度等单一指标分级,忽略了皱缩情况等重要的商品性能指标。

研究旨在结合OpenCV传统机器学习方法与深度学习方法(轻量化神经网络,MobileNetV3_large_ssld),实现百香果果径、成熟度与皱缩情况等表征果实品质的关键指标的检测,进一步建立综合这3种指标的百香果品质等级评价模型,并以此为基础搭建基于机器视觉的百香果品质多指标在线检测及分选系统。

1 百香果品质指标检测算法与综合评价模型构建

1.1 图像采集系统的搭建

为确保百香果图像数据的稳定获取并尽量减少外部环境杂光的干扰,搭建了一套图像采集系统,该系统主要包含定制暗箱、工业相机、灯条光源等组件,整体结构布局如图1所示。暗箱尺寸为590 mm×590 mm×800 mm,内部全面覆盖了黑色哑光防反光材料。此外,暗箱侧面设有便于观察和调试的窗口。在暗箱内部四周布置了中性光LED灯条(色温为4 000~4 200 K),为百香果图像数据的获取提供了稳定的光照环境。工业相机(MV-UBS31GC型,深圳迈德威视科技有限公司)安装于暗箱中部正上方,距离样品高度为0.8 m。所拍摄的图像为640像素×480像素,拍摄过程中将增益和曝光时间分别设置为3倍和6 ms。



1. 暗箱 2. LED灯条 3. 工业相机 4. 观测窗

图1 图像采集系统结构示意图

Figure 1 Image acquisition system structure

1.2 百香果目标提取的方法

为了消除背景像素对后续特征指标检测的干扰,需要进一步对百香果目标进行提取,并去除果柄等干扰物体。利用图像采集系统捕获百香果的图像数据,采用了OpenCV中常用的3种背景分割器(mixture of gaussians, MOG2; K-nearest neighbor, KNN; geometric multigrid, GMG)进行对比分析,分割效果如图2所示。结果显示,基于KNN模型的背景差分检测效果最佳。此外,KNN模型的处理速度可达8 ms/帧,能够满足传送带输送过程中对百香果目标的快速、精准提取的需求。

在背景分割过程中,采用基于KNN的非参数监督算法,通过分析历史帧图像像素来建立背景模型。然后,将

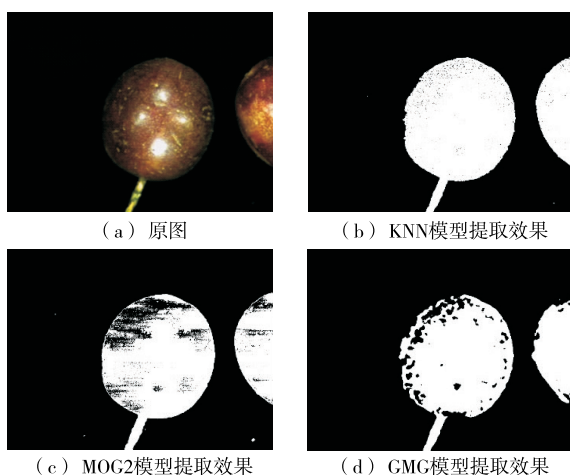


图 2 不同背景分割器提取效果对比

Figure 2 Comparison of extraction effects of different background segments

待测图像中的每个像素与背景模型进行比较并分类。如果该像素与最近的 K 个像素的差异超过所设定的距离阈值,则被标记为前景像素。背景模型的精度取决于建模过程中所使用的历史帧图像数量。为了优化实际分选过程,针对 OpenCV 默认参数进行了调整。经过试验,选择了 500 帧作为历史帧数 (history),并将距离阈值 (dist2Threshold) 设定为 400。

在提取百香果目标后,进一步利用形态学闭操作与开操作分别填补百香果区域的空洞和去除果柄等干扰物体。首先,采用 5×5 的卷积核进行形态学闭操作,通过膨胀填充百香果区域的空洞,再通过腐蚀操作使百香果整体区域恢复到原始大小,保证百香果整体轮廓不会被闭操作破坏,处理结果如图 3(a) 所示。针对果柄,其直径约为 20 像素,通过调参,选用了 25×25 的卷积核进行开操作。这一参数设定不仅能够有效去除果柄,而且不会对处理速度产生负面影响。在开操作过程中,首先进行腐蚀操作,以断开果柄与果体的连接,再进行膨胀操作以恢复百香果整体区域至原始大小,处理结果如图 3(b) 和图 3(c) 所示。

1.3 百香果关键指标的检测

1.3.1 果径 百香果的投影呈椭圆形状,其果径可以通过最小外接矩形的较短边进行表征。针对去除果柄后的百香果二值图像,利用 OpenCV 函数库中的 cv2.findContours 和 cv2.drawContours 函数,确定了百香果的轮廓,并获取其最小外接矩形。在原始图像中,百香果轮廓以数字“1”标记,而最小外接矩形以数字“2”标记。测试结果见图 4。

1.3.2 成熟度 百香果的成熟度与果皮颜色密切相关,典型品种的百香果在成熟过程中会呈现出不同程度的

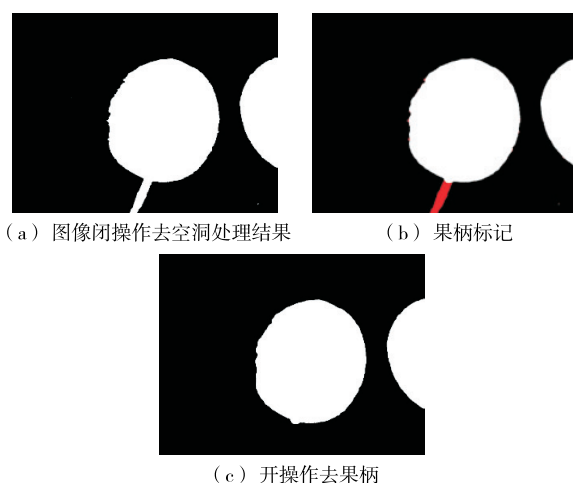
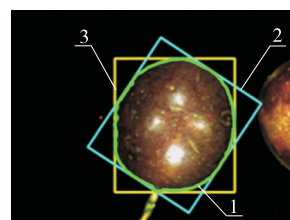


图 3 百香果目标提取与果柄去除

Figure 3 Target extraction and stem removal of passion fruit



1. 百香果轮廓 2. 最小外接矩形 3. 最小正接矩形

图 4 百香果果径测量示意

Figure 4 Diameter measurement for passion fruit

红、橙、黄、紫等颜色。这些着色变化与果实表面颜色在 HSV 色彩空间中的 H(色相)通道密切相关,另外,HSV 色彩空间相较于 RGB 色彩空间更贴近人类视觉特征。因此,采用 HSV 颜色空间下 H 通道的数据,在果实表面统计不同颜色着色面积的占比,以实现成熟度的分析。首先,为减少运算量,依照标记的百香果最小正接矩形(图 3 中标记为“3”)对图片进行裁剪。接着,将图像从 RGB 格式转换为 HSV 格式^[15],具体步骤:

(1) 读取像素点三通道分量值 R 、 G 、 B 。

(2) 对于该像素点, R 、 G 、 B 的数值范围均为 $0 \sim 255$,在进行不同色域转化之前需要先参照式(1)将 R 、 G 、 B 值转换到 $0 \sim 1$,即进行归一化。

$$\begin{cases} R' = R/255 \\ G' = G/255, \\ B' = B/255 \end{cases} \quad (1)$$

式中:

R ——红色分量值;

G ——绿色分量值;

B ——蓝色分量值;

R' ——红色分量的归一化值;

G' ——绿色分量的归一化值;

B' ——蓝色分量的归一化值。

(3) 取最大值和最小值,按式(2)计算其差值。

$$\begin{cases} C_{\max} = \max(R', G', B') \\ C_{\min} = \min(R', G', B') \\ \Delta = C_{\max} - C_{\min} \end{cases} \quad (2)$$

式中:

$C_{\max}$ ——3个颜色分量归一化后的最大值;

$C_{\min}$ ——3个颜色分量归一化后的最小值;

Δ ——最大值与最小值的差值。

(4) V色域转换公式:

$$V = C_{\max}, \quad (3)$$

式中:

V——明度。

(5) S色域转换公式:

$$S = \begin{cases} 0, C_{\max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{\max}}, C_{\max} \neq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

式中:

S——饱和度。

(6) H色域转换公式:

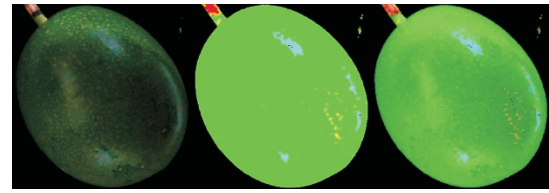
$$H = \begin{cases} 0^\circ, \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{V} \bmod 6 \right), C_{\max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{V} + 2 \right), C_{\max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{V} + 4 \right), C_{\max} = B' \end{cases}, \quad (5)$$

式中:

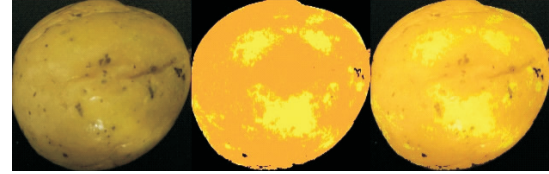
H——色相。

根据 HSV 颜色空间颜色阈值表,红、橙、黄、紫的 H 分量值范围分别为 $[0, 10] \cup [156, 180]$, $[11, 25]$, $[26, 34]$ 和 $[125, 155]$ 。在经过均值滤波去噪处理后,针对 H 通道下像素值进行直方图统计分析,若设定值范围内的像素数占百香果像素总数的比例超过 50%,则可判断该果实为成熟。为了直观显示统计效果,对 H 通道不同颜色区间的像素进行了着色。图 5 展示了未成熟的绿色果实、成熟的黄金百香果和紫果百香果的判别情况。

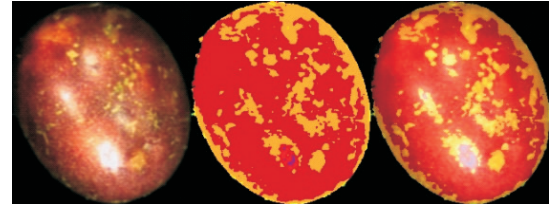
1.3.3 皱缩情况 为评估果皮的皱缩情况,分别以表皮光滑与不同皱缩程度的果实为对象建立百香果皱缩情况的深度学习判别模型。选取 80 个表皮光滑的广西“紫香台农”百香果,获取了不同角度下的图像共计 800 张,作为光滑果实数据集。同时,将果实在室温条件下存放 9 d,以此构建不同皱缩程度的样本。在存放的第 3、5、7、9 天分别拍摄了不同褶皱程度的百香果图像,共计 1 000 张(每个时间节点下拍摄 250 张)。数据集以 7:2:1 的比例划分为训练集、验证集和测试集。选用 MobileNetV3_



(a) 未成熟黄金果着色情况(设定值范围的像素数占比0%)



(b) 成熟黄金果着色情况(设定值范围的像素数占比100%)



(c) 成熟紫果着色情况(设定值范围的像素数占比99%)

图 5 百香果成熟度判别与可视化

Figure 5 Visualization of passion fruit maturity

large_ssld 模型进行果皮皱缩情况的检测。MobileNetV3_large_ssld 模型为百度飞桨平台提供的 MobileNetV3_large 模型结合 ResNeXt101_32x16d_wsl 模型,利用简单的半监督标签知识蒸馏方案(simple semi-supervised label distillation, SSLD)蒸馏得出改进模型^[16-17]。该模型的主要结构如表 1 所示。

对于模型的超参数设置,softmax 输出为 2, batch_size 为 32,学习率为 0.001,训练共计 1 000 轮。在模型训练间,采用随机裁剪、随机水平/垂直翻转及归一化等方式对图像进行一系列的变换和增强,以提高模型的性能和泛化能力。图 6 展示了模型的训练损失函数、训练集和验证集准确率。由图 6(a)与图 6(c)可知,经过多次迭代后,模型在训练集与验证集上均达到稳定状态。

模型建立后,利用测试集 180 张图像进行测试,并通过判别准确率(accuracy)、精度(precision)、召回率(recall)及 F_1 分数对所建模型判别效果进行评价,其计算公式如式(6)~式(9)所示。

$$A = \frac{T_P + T_N}{T_P + T_N + F_P + F_N}, \quad (6)$$

$$P = \frac{T_P}{T_P + F_P}, \quad (7)$$

$$R = \frac{T_P}{T_P + F_N}, \quad (8)$$

$$F_1 = \frac{2 \times P \times R}{P + R}, \quad (9)$$

式中:

表 1 MobileNetV3_large_ssl 模型的主要结构[†]
Table 1 Main structures of MobileNetV3_large_ssl

输入	参数	膨胀参数	输出	压缩与激发	非线性	步长
224 ² ×3	Conv2d	—	16	—	HS	2
112 ² ×16	bneck,3×3	16	16	—	RE	1
112 ² ×16	bneck,3×3	64	24	—	RE	2
56 ² ×24	bneck,3×3	72	24	—	RE	1
56 ² ×24	bneck,5×5	72	40	✓	RE	2
28 ² ×40	bneck,5×5	120	40	✓	RE	1
28 ² ×40	bneck,5×5	120	40	✓	RE	1
28 ² ×40	bneck,3×3	240	80	—	HS	2
14 ² ×80	bneck,3×3	200	80	—	HS	1
14 ² ×80	bneck,3×3	184	80	—	HS	1
14 ² ×80	bneck,3×3	184	80	—	HS	1
14 ² ×80	bneck,3×3	480	112	✓	HS	1
14 ² ×112	bneck,3×3	672	112	✓	HS	1
14 ² ×112	bneck,5×5	672	160	✓	HS	2
7 ² ×160	bneck,5×5	960	160	✓	HS	1
7 ² ×160	bneck,5×5	960	160	✓	HS	1
7 ² ×160	conv2d,1×1	—	960	—	HS	1
7 ² ×960	Pool,7×7	—	—	—	—	1
1 ² ×960	conv2d,1×1,NBN	—	1 280	—	HS	1
1 ² ×1280	conv2d,1×1,NBN	—	k	—	—	1

[†] HS 为 h-swish 激活函数,RE 为 ReLU 激活函数。

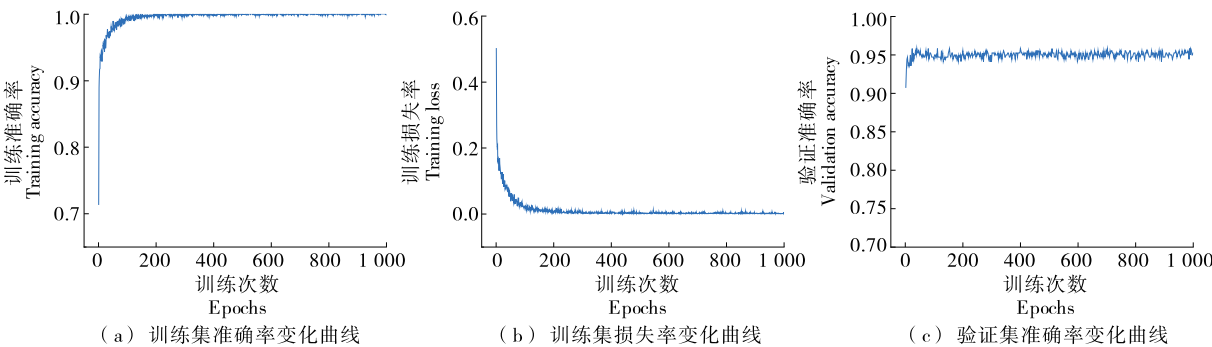


图 6 模型训练过程中特征指数变化曲线

Figure 6 Characteristic index variation curve during model training

A——准确率;
P——精度;
R——召回率;
F₁——F₁ 分数;
T_p——被正确地划分为正例的数量;
F_p——为被错误地划分为正例的数量;
T_N——被正确地划分为负例的数量;
F_N——被错误地划分为负例的数量。
对于测试集样本,模型的判别准确率为 97.78%,精

度为 100.00%,召回率为 94.73%,F₁ 分数为 97.29%。结合混淆矩阵(图 7)可以看出,所建模型对测试集样本的整体判别准确率较高。另外,误判均是将光滑样本判别为了皱缩样本,因此所建模型对百香果是否皱缩有较好的判别效果。
1.4 综合评价打分模型
基于果径、成熟度与皱缩情况的检测,采用评级量表法建立了百香果品质综合评价打分模型。参考《百香果

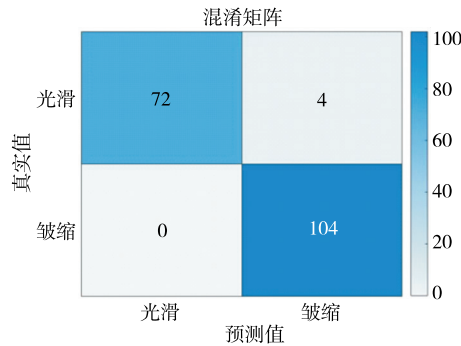


图 7 模型测试结果混淆矩阵

Figure 7 The confusion matrix of testing set

商品果等级规格要求》(DB45/T 2100—2019),分别对这 3 个指标进行记分,具体记分表如表 2 所示。综合考虑百香果在各指标下的得分情况,将总分值 ≥ 6 的划分为特级,分值在 $[5,6)$ 的划分为一级, <5 的划分为二级。

表 2 各指标记分表

Table 2 Score for each indicator

指标	评价依据	记分
果径/cm	≥ 6.0	3
	≥ 5.0 且 < 6.0	2
	≥ 4.0 且 < 5.0	0
成熟度	成熟	3
	不成熟	0
皱缩情况	光滑	1
	皱缩	0

2 分选系统组成及工作原理

2.1 分选系统硬件的搭建

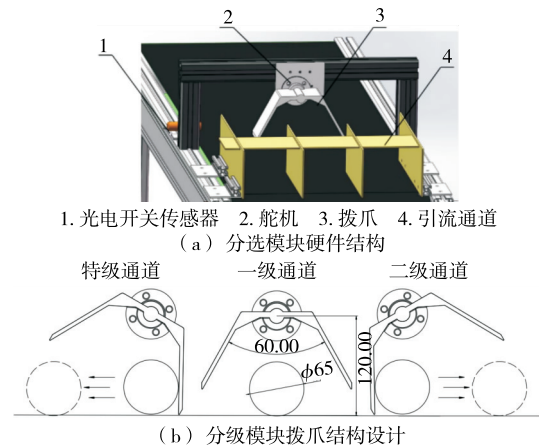
基于百香果的关键指标检测方法与综合打分模型,进一步搭建了百香果品质多指标在线分选系统。该系统要由传送带、视频采集暗箱和分选执行模块等组成,整体结构如图 8 所示。

该系统中的传送带有效长度为 1.5 m,表面粘贴一层黑色吸光布。为配合相机采集,传送带的速度设定为 0.8 m/s。视频采集暗箱位于传送带中部,并固定在其上方。分选执行模块的结构如图 9 所示,主要包括光电传感器、分级拨爪、引流通道和单片机。当光电传感器检测到百香果到达分选机构后,单片机根据分级结果调整控制舵机信号的 PWM 占空比,使舵机按不同方向旋转,将百香果分拨至不同等级的输送通道,而后再调整占空比,使舵机复位,完成一次分选。为确保拨爪转动时给予百香果水平方向力,避免挤压或翘果现象,将拨爪张开角度设置为 60° ,整体旋转角度设置为 $\pm 30^\circ$ 。

在系统运行时,操作员将百香果置于传送带上,传送



图 8 百香果品质多指标在线检测及分级系统
Figure 8 Multi-indicator online detection and grading system for passion fruit quality



(a) 分选模块硬件结构
(b) 分级模块拨爪结构设计
1. 光电开关传感器 2. 舵机 3. 拨爪 4. 引流通道

图 9 分选执行模块结构

Figure 9 Structure of sorting execution module

带将其送至视频采集暗箱。在暗箱中,工业相机拍摄传送带运动的视频,计算机软件根据检测算法自动提取每个百香果移动到相机正下方时的一帧图片,通过图像分析实现果径、成熟度、皱缩情况 3 个指标的检测,并对结果进行存储和显示。同时,百香果继续沿传送带前行。当分选执行模块的传感器检测到该百香果时,单片机向计算机请求分级信号,并根据分级信号控制舵机转动拨爪旋转,将百香果拨至相应通道,实现分级。该系统的工作原理如图 10 所示。

2.2 分选系统软件的开发

设计的检测与分级系统的操作界面如图 11 所示。该界面以计算机为硬件平台(windows 10 系统),基于 PyQt5 平台开发,主要包括控制模块、图像分析、结果显示以及结果存储模块。控制栏中的按钮用于开启与停止相机以及图像分析处理;分级数据显示栏呈现百香果的

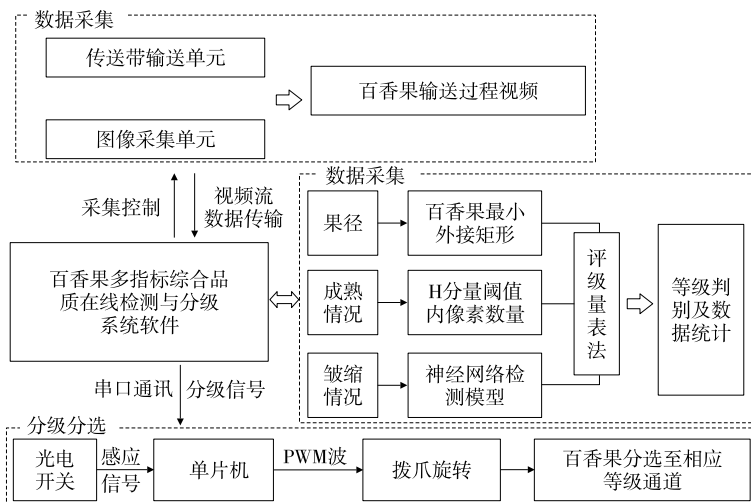
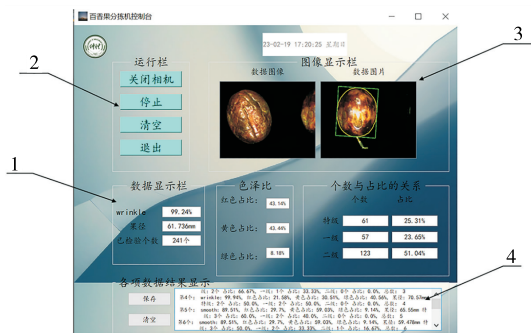


图 10 百香果品质多指标在线检测与分级系统工作原理图

Figure 10 The working principle of the online detection and sorting system for passion fruit quality



1. 控制区域 2. 分级数据显示区域 3. 图像显示区域 4. 数据保存区域

图 11 在线检测与分级系统软件操作界面

Figure 11 Human machine interface of the online detection and grading system

大小、成熟度、皱缩情况和分级情况；图像显示栏实时展示工业相机捕获的视频流和提取的百香果图像；数据保存栏显示每个百香果的分级指标数据，同时可通过按钮点击清空或保存到 Excel 表格中。

在百香果检测过程中，工业相机采集百香果传送带传输的视频。首先，对视频流中的每一帧图像进行百香果目标提取、果柄去除和形心提取处理。接着，利用所提出的区间取帧方法对每个百香果提取一帧图像进行大小、成熟颜色和皱缩程度的分析与定级。区间取帧法的步骤包括：① 设定工业相机拍摄图像中心左右各 50 个像素作为区间；② 计算百香果的形心位置；③ 当百香果形心进入设定的区间时开始计数图像帧数，并提取第 3 帧图像进行后续分析。此外，系统会自动记录每个百香果的序号，以便后续结果统计。图 12 展示了每个百香果提取单帧图像的原理示意图。

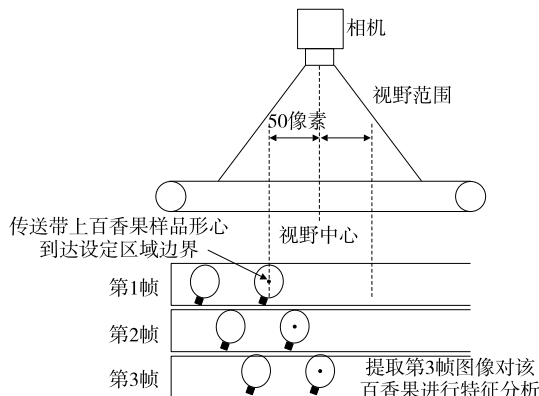


图 12 区间取帧法的工作原理

Figure 12 Principle of interval frame extraction

3 分选效果与性能测试

通过对比装置分选和人工分选的结果，对装置的分级精度和工作性能进行了评估。在试验中，将百香果实逐个置于传送带上，由图像采集系统拍摄传送带输送百香果视频。共包含 235 个果实的图像，包括特级果 89 个、一级果 139 个、二级果 7 个。表 3 列举了装置分级与人工分级结果的混淆矩阵。结果显示，特级果、一级果和二级果的分级准确率分别为 95.51%，97.84%，100.00%，整体分级准确率为 97.02%。

根据《百香果商品果等级规格要求》，特级果中允许不超过 5% 的百香果不满足要求但满足一级要求；一级果中允许不超过 5% 的百香果不满足要求但满足二级要求。由表 3 可知，有 4 个一级果被误判为特级果，误判率为 4.49%；而在一级果中，有 3 个二级果被误判为一级果，误判率为 2.16%。这些误判率均在规定的容许度范围内。

另外，对系统的判别及分析速度进行了验证，图像判

表 3 不同等级百香果检测结果混淆矩阵

Table 3 Confusion matrix of test results for passion fruit of different grades

实际等级	预测等级			准确率/ %	总体准确率/%
	特级	一级	二级		
特级	85	4	0	95.51	97.02
一级	0	136	3	97.84	
二级	0	0	7	100.00	

别分析的平均速度为 199.66 ms/个,分级机构的执行时间为 400 ms/个。该系统初步验证了基于图像分析的检测方法与分级方式在百香果品质分级中的可行性。

4 结论

研究通过结合 OpenCV 传统图像处理与 MobileNetV3_large_sslid 神经网络模型,实现了百香果果径、成熟度、果皮皱缩情况的检测。在此基础上,基于评级量表法建立了果实品质综合评价模型,并开发了百香果品质多指标在线检测及分选系统。该系统利用 KNN 背景扣除算法模型,从传送带上运动的视频流中提取百香果目标,去除果柄,并通过区间取帧法从视频中采集单张图像。根据多指标综合评价模型,实现了百香果品质的分级,并通过分选机构的拨爪将百香果分别拨至相应的等级通道。系统测试结果表明,系统分选与人工分选的整体吻合度达到 97.02%,其中特级吻合度为 95.51%,一级吻合度为 97.84%,二级吻合度为 100.00%。该系统可用于实现不同等级百香果品质的在线检测与分选。在后续研究中,可以通过提高模型推理速度与分级机构执行速度等方法进一步提高分级效率。此外,研究仅对一个品种的百香果进行了验证分析,在后续研究中将增加百香果品种与数量,研究不同光照环境、果实不同摆放位置及不同传送速度等对分选性能的影响,进而提高系统分选的适应性与可靠性。

参考文献

[1] 熊荣园, 蔡韵凝, 魏玲, 等. 响应面法分析柑橘百香果复合果汁的工艺品质[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 106-112.
XIONG R Y, CAI Y N, WEI L, et al. The technology and quality research of citrus passion fruit compound juice by response surface methodology[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 106-112.

[2] 郭靖, 陈于陇, 王萍, 等. 百香果采后特性与保鲜技术研究综述[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 334-340.
GUO J, CHEN Y L, WANG P, et al. Research progress on postharvest characteristics and preservation technology of passion fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(1): 334-340.

[3] 田芳, 彭彦昆, 魏文松, 等. 基于机器视觉的马铃薯黑心病检测

机构设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 287-294.
TIAN F, PENG Y K, WEI W S, et al. Design and experiment of detection mechanism for potato blackheart based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(5): 287-294.

[4] 彭彦昆, 孙晨, 刘乐, 等. 苹果外部缺陷全表面在线检测分选装置研发[J]. 农业工程学报, 2022, 38(23): 266-275.
PENG Y K, SUN C, LIU L, et al. Development of full-surface online detection and sorting device for external defects of apples[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(23): 266-275.

[5] 李浪, 文韬, 代兴勇, 等. 柑橘全表面色泽在线检测与分级系统[J]. 食品与机械, 2022, 38(12): 121-126.
LI L, WEN T, DAI X Y, et al. Online detection and grading system for citrus full-surface color[J]. Food & Machinery, 2022, 38(12): 121-126.

[6] FAN S X, LI J B, ZHANG Y H, et al. On line detection of defective apples using computer vision system combined with deep learning methods[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 286: 110102.

[7] PISE D, UPADHYE G D. Grading of harvested mangoes quality and maturity based on machine learning techniques [C]// 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET). Mumbai: IEEE, 2018: 1-6.

[8] ARAKERIA M P, LAKSHMANA. Computer vision based fruit grading system for quality evaluation of tomato in agriculture industry[J]. Procedia Computer Science, 2016, 79: 426-433.

[9] 唐熔铨. 基于深度学习的百香果成熟度实时检测算法研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2021: 45-48.
TANG R C. Research on real-time detection algorithm of passion fruit maturity via deep learning[D]. Guilin: Gunlin University of Electronic Technology, 2021: 45-48.

[10] 黄才贵. 基于机器视觉的百香果采摘分级机器人平台的设计[J]. 农业技术与装备, 2022(1): 54-56.
HUANG C G. Design of passion fruit picking grading robot platform based on machine vision[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2022(1): 54-56.

[11] TU S Q, XUE Y J, CHAN Z, et al. Detection of passion fruits and maturity classification using red-green-blue depth images [J]. Biosystems Engineering, 2018, 175: 156-167.

[12] 代泽秦, 秦剑锋, 江英杰, 等. 百香果分拣装置的设计与研究[J]. 轻工科技, 2019, 35(10): 39-40, 107.
DAI Z F, QIN J F, JIANG Y J, et al. Design and research of passion fruit sorting device [J]. Light Industry Science and Technology, 2019, 35(10): 39-40, 107.

[13] SIDEHABI S W, SUYUTI A, ARENI I S, et al. Classification on passion fruit's ripeness using K-means clustering and artificial neural network[C]// International Conference on Information and Communications Technology. Yogyakarta: IEEE, 2018: 304-309.

(下转第 142 页)

- LI X J, CHENG H. Study on key technologies for apple grading detection based on decision fusion method[J]. Food & Machinery, 2020, 36(12): 136-140.
- [9] ZHANG Z, LU Y, LU R. Development and evaluation of an apple infield grading and sorting system [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 180: 111588.
- [10] HU G, ZHANG E, ZHOU J, et al. Infield apple detection and grading based on multi-feature fusion[J]. Horticulturae, 2021, 7 (9): 276.
- [11] LEE J H, VO H T, KWON G J, et al. Multi-camera-based sorting system for surface defects of apples [J]. Sensors, 2023, 23 (8): 3 968.
- [12] 彭彦昆, 孙晨, 刘乐, 等. 苹果外部缺陷全表面在线检测分选装置研发[J]. 农业工程学报, 2022, 38(23): 266-275.
- PENG Y K, SUN C, LIU L, et al. Development of full-surface online detection and sorting device for external defects of apples [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(23): 266-275.
- [12] 白强, 高荣华, 赵春江, 等. 基于改进 YOLOv5s 网络的奶牛多尺度行为识别方法[J]. 农业工程学报, 2022, 38(12): 163-172.
- BAI Q, GAO R H, ZHAO C J, et al. Multi-scale behavior recognition method for dairy cows based on improved YOLOv5s network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(12): 163-172.
- [13] YAO J, QI J, ZHANG J, et al. A real-time detection algorithm for kiwifruit defects based on YOLOv5[J]. Electronics, 2021, 10(14): 1 711.
- [14] YUN S, HAN D, OH S J, et al. Cutmix: regularization strategy to train strong classifiers with localizable features[C]// Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. Seoul, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2019: 6 023-6 032.
- [15] 宁远霖, 杨颖, 李振波, 等. 基于改进 YOLOv5 的复杂跨域场景下的猪个体识别与计数 [J]. 农业工程学报, 2022, 38(17): 168-175.
- NING Y L, YANG Y, LI Z B, et al. Recognition and counting of pig individuals in complex cross domain scenarios based on improved YOLOv5 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38 (17): 168-175.
- [16] 查健, 陈先中, 王文财, 等. 基于改进的 YOLOv5s 刨花板表面小目标缺陷检测算法[J/OL]. 计算机工程与应用. (2023-08-14) [2023-12-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20230811.1707.024.html>.
- ZHA J, CHEN X Z, WANG W C, et al. Small target defect detection algorithm of particleboard surface based on improved YOLOv5s[J/OL]. Computer Engineering & Application. (2023-08-14) [2023-12-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20230811.1707.024.html>.
- [17] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need[C]// Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems. New York: ACM, 2017: 6 000-6 010.
- [18] WOO S, PARK J, LEE J Y, et al. CBAM: Convolutional block attention module[C]// Proceedings of the Europe Conference on Computer Vision (ECV). Munich, Germany: Springer, 2018: 3-19.
- [19] 高云茜, 邓三鹏. 基于 YOLOv5-en 算法的草莓采摘机器人目标检测技术[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(10): 178-183, 216.
- GAO Y Q, DENG S P. Object detection technology of strawberry picking robot based on YOLOv5-en algorithm [J]. Experimental Technology & Management, 2023, 40(10): 178-183, 216.
- [20] 王梦妮, 顾寄南, 王化佳, 等. 基于改进 YOLOv5s 模型的茶叶嫩芽识别方法[J]. 农业工程学报, 2023, 39(12): 150-157.
- WANG M N, GU J N, WANG H J, et al. Tea bud recognition method based on improved YOLOv5s model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(12): 150-157.
- [21] 冯运发, 王新彦, 余银海, 等. 基于 HALCON 软件与 HSV 模型的树木检测算法研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 188-192.
- FENG Y F, WANG X Y, SHE Y H, et al. Trees detection algorithm based on HALCON software and HSV model study [J]. Journal of Jiangsu Agricultural Science, 2019, 47(6): 188-192.
- [22] 项辉宇, 薛真, 冷崇杰, 等. 基于 Halcon 的苹果品质视觉检测试验研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 123-126.
- XIANG H Y, XUE Z, LEN C J, et al. Experimental study on visual inspection of apple quality based on Halcon [J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 123-126.
- [16] 陈启, 陈慈发, 邓向武, 等. 基于移动端轻量模型的杂草分类方法研究[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(2): 163-170.
- CHEN Q, CHEN C F, DENG X W, et al. Research on weed classification method based on mobile light weight model [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43 (2): 163-170.
- [17] HOWARD A, SANDLER M, CHEN B, et al. Searching for MobileNetV3 [C]// Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). Seoul: IEEE, 2019: 1 314-1 324.

(上接第 137 页)

- [14] SIDEHABI S W, SUYUTI A, ARENI I S, et al. The development of machine vision system for sorting passion fruit using multiclass support vector machine [J]. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2018, 11(5): 178-184.
- [15] 汪伯军, 郭保银, 黄富饶, 等. 基于 HSV 颜色空间的烟叶烘烤阶段判别模型研究[J]. 南方农机, 2023, 54(13): 5-9.
- WANG B J, GUO B Y, HUANG F R, et al. Study on discrimination model of tobacco curing stage based on HSV color space [J]. South Forum, 2023, 54(13): 5-9.