[文章编号] 1003－4684(2025)04-0016-07

基于机器视觉的草莓自动分选系统设计与实验

马志艳[1,2]，王玉斌[1]，陈学海[1,2]

(1 湖北工业大学机械工程学院，湖北 武汉 430068；2 湖北省农机装备智能化工程技术研究中心，湖北 武汉 430068)

[摘 要] 针对国内草莓产量大、保质期短、传统人工分拣效率低等问题，设计一种基于机器视觉的草莓自动分选系统。该系统通过机器视觉获取草莓的颜色特征、质量特征和形状特征，对草莓成熟度、规格和形状进行评分，并采用熵权法得到权重因子，进而得到草莓品质整体评分。同时，为减少草莓掉落损伤，提高分选效率，对传统门形轨迹进行了适用性改进。最后通过实验，验证了系统评级的准确率和改进轨迹的可行性。实验表明：品质分级准确率达到 95.3%；改进的弧线轨迹分选成功率达到 94.5%，平均每个草莓分选耗时 1.22 s。

[关键词] 草莓自动分选；机器视觉；草莓品质模型；椭圆轨迹

[中图分类号] TS255.7 [文献标识码] A

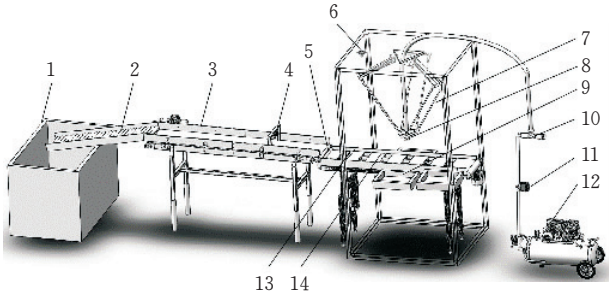
我国草莓年产量已达 300 万 t，居世界首位[1-2]。草莓被采摘后，如何快速、精确地分级分选，成为了一个新难题。而随着工业的发展与进步，将机器视觉与工业机器人相结合，可大大提高分选作业的可靠性和效率[3]。张青等[4]提出了一种基于机器视觉的草莓重量与形状的分级方法，通过建立草莓重量分级模型和支持向量机对草莓重量和果型进行判断。重量分级正确率为 89.5%，形状分级准确率为 96.7%。杨涛等[5]提出基于机器视觉的草莓自动分级方法，对草莓成熟度、重量和形状依次分级，最后进行综合评估。该方法的准确率达到 90% 以上。Oo 等[6]基于风筝几何性质，从草莓果实的二维图像估计草莓果实直径、长度和顶角，将这些参数用作 3 层神经网络的输入数据，得到草莓分类，其分类准确率在 94%～97%。

目前大多数研究停留在草莓自动分级，分级后的草莓分选尚未有明确的研究。本文以丹东草莓为对象，设计了基于机器视觉的草莓自动分选系统，基于图像处理方法提取草莓的颜色、质量以及形状特征，并通过特征对草莓品质进行整体评分，最后控制机械手实现草莓分选实验。

1 草莓分选系统总体方案

1.1 分选装置结构设计

在工业和食品等分拣领域，并联机械手具有结构刚度大、运动精度高、承载能力强、运动惯性小以及优异的动力性能等诸多优点[7-10]。基于以上优点，分选执行机构采用三轴并联 Delta 机械手作为主执行机构，主要部件有传输带上料装置、视觉检测装置、末端吸取装置、机械手运动装置和收集装置(图 1)。



1－水箱；2－滚轴传送带；3－传送带 1；4－摄像头 1；5－滚轴海绵；6－摄像头 2；7－Delta 机械手；8－吸盘；9－收集装置；10－文丘里管；11－电磁阀；12－气泵；13－圆柱海绵；14－传送带 2

图 1 草莓分选装置结构

其中，传送带上料装置包括水浮式自动上料装置、传送带 1 和网格传送带 2。水浮式自动上料装置通过滚轴与水箱的结合，将水面上的草莓输送到传送带 1 上；网格传送带 2 安装柱体海绵，将落在平面上的草莓刷入网格。同时，传送带 1 和传送带 2 通过其高低差和草莓自身惯性，实现草莓自动翻面。视觉检测装置由两个工业单目摄像头构成，通过编码器控制拍摄速度，使其与传送带运输速度相同，实现实时拍摄。末端吸取装置由电磁阀、波纹吸盘、文

[收稿日期] 2023－10－16
[基金项目] 国家重点研发计划(2018YFD0701002-3)
[第一作者] 马志艳(1976－)，男，湖北武汉人，工学博士，湖北工业大学副教授，研究方向为计算机视觉。

丘里管、气泵构成。通过气泵对文丘里管通气，使其混合段产生压强差，使吸盘产生吸力，同时控制电磁阀的开关，实现草莓的吸取与释放。机械手运动装置包括整个并联机械手，由步进电机、减速器、静平台、动平台、主动臂和从动臂构成。收集装置则根据草莓的分级情况进行增加。最后控制模块由上位机和 STM32F103 核心处理器构成，上位机负责图像处理和与开发板通信。RT-Thread 操作系统借助 STM32 核心处理器，实现对三个步进电机的同步控制。

1.2　执行末端方案设计

针对草莓表面易损、形状不规则的特点，选择波纹吸盘作为机械手的末端执行器。采用气泵与文丘里管连接，气泵启动时，电磁阀打开，文丘里管混合段产生压强差，为吸盘提供吸力；电磁阀关闭时，吸盘吸附力消失，释放草莓。其原理如图 2 所示。

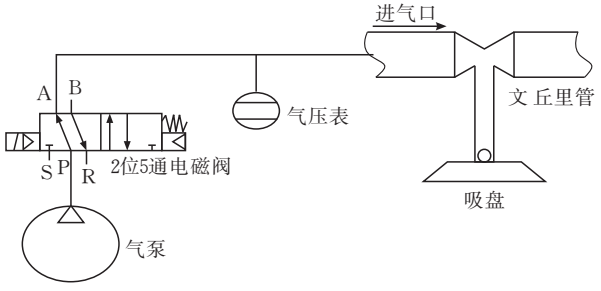


图 2　末端装置原理

以中丹东草莓（大型果）为基准，最大草莓质量不超过 30 g，则最大吸力 $F=0.294$ N。选择型号 FSG 14 的波纹吸盘，已知吸盘直径 15.5 mm，表面积 $S=1.766$ cm^2。由 $P=F/S$ 得到吸取草莓的压强 $P\approx1670$ Pa，即文丘里管混合段处的压强差为 1670 Pa。

根据伯努利方程，计算最佳压强。由于往文丘里管中通入气体，可忽略重力影响，简化伯努利方程如下：

$$P+\frac{1}{2}\times\rho\times v^2=C \tag{1}$$

式中：P 为进气口压强；ρ 为气体密度；v 为气体通气速度；C 为文丘里管混合口压强。

由气泵参数可知，已知气泵通气速度 180 L/min，文丘里管混合段压强＝标准大气压－压强差，即文丘里管混合口压强 99 655 Pa，已知空气密度 1.29 kg/m^3，通过计算得到最小压强为 0.1 MPa。

1.3　控制系统设计

1.3.1　硬件选型　分选系统硬件结构如图 3 所示。硬件核心选用 STM32F103ZET6 控制器（ARM Cortex-M3 内核），搭载 TB5128-3 三轴驱动器实现步进电机高细分控制（步距角 0.072°），配合二位五通电磁阀构建气动执行系统。

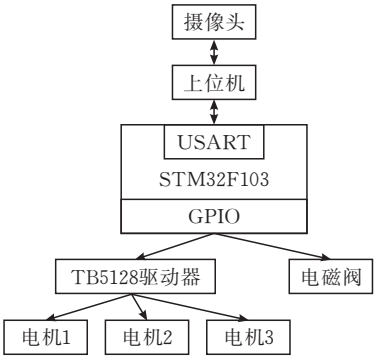


图 3　控制系统硬件结构

1.3.2　控制系统软件设计　上位机控制程序基于 VS2019 编写，主要实现图像采集、图像处理和串口通信功能。首先对图像进行分析并对草莓分级，再通过串口与下位机通信，将分级结果和质心坐标传给下位机。下位机控制程序基于 Keil5 和 STM32CubeMX 联合开发，同时移植 RT-Thread 实时操作系统，通过信号量、互斥量调度线程，采用 PWM 发送脉冲信号，实现 3 个电机的同时控制。

分选流程（图 4）：启动分选程序，开启气泵，此时电磁阀处于开启状态；上料与首次处理：通过传送带输送草莓，在第一段传送带上完成第一次图像采集，并基于采集图像进行初次分级；草莓翻面后进入第二段传送带，随即开展第二次图像采集与分级操作，同时利用图像数据实现草莓质心定位（分级结果判定以低品质判断作为最终分级结论）；分级完成后，系统通过串口通信将分级草莓的质心坐标发送至下位机，下位机读取并解析缓存区数据后，控制机械手末端执行器移动至草莓质心位置，完成吸取与搬运动作；当末端执行器将草莓搬运至收集装置处时，关闭电磁阀，释放草莓。

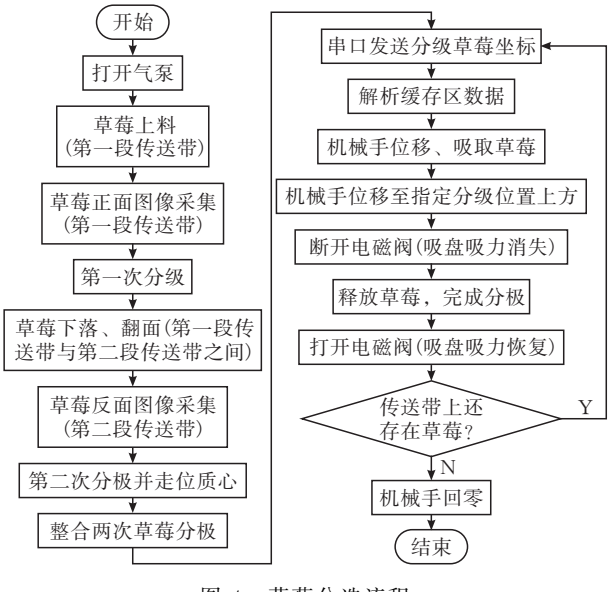


图 4　草莓分选流程

2 基于视觉特征的草莓品质在线分级

2.1 视觉特征

以丹东草莓(大型果)为研究对象,参照中华人民共和国农业行业标准[11](NY/T 1789－2009),利用机器视觉所能提取到的草莓图像参数,从以下特征实现草莓品质分级。

颜色特征。通过提取草莓颜色特征,对草莓缺陷和成熟度进行检测。首先对草莓进行缺陷检测,通过检测草莓缺陷种类和缺陷面积大小,判断草莓是否成熟。然后通过鲜红色着色面积在草莓投影面积中的占比判断草莓成熟度。完成草莓缺陷检测与成熟度检测后,对草莓成熟度进行综合评分,未满足要求的草莓不进入质量特征提取。

质量特征。通过机器视觉,提取草莓投影面积,得到投影面积与质量关系函数,拟合草莓质量。并参照行业标准,将不同质量的草莓分为大、中、小规格,根据不同规格,对其进行第二次评分。

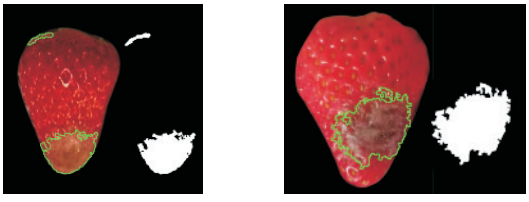
形状特征。通过比较草莓外接矩形长宽之比和草莓投影面积与外接矩形面积之比,判断草莓形状。根据不同的形状特征,对其进行第三次评分。

得到草莓成熟度评分、规格评分和形状评分后,采用熵权法,引入权重因子,对草莓品质进行综合评分,得到草莓品质模型。

2.2 草莓颜色特征提取与成熟度评分

2.2.1 草莓缺陷检测 草莓缺陷一般分为红色的挤压缺陷和黑色的腐败缺陷两种类型。以此为基础,通过颜色特征对草莓图像进行颜色分割,提取缺陷颜色和面积,得到缺陷种类和大小。

首先,对图像进行预处理,将采集得到的图像沿中心部分进行裁剪,保留只有草莓和黑色传送带的部分。然后,通过高斯滤波对其进行去噪。最后,通过 LAB 颜色模型阈值分割得到草莓有效图像。完成草莓图像处理后,通过提取样本草莓 LAB 颜色模型三通道数据[12-14],得到草莓颜色分布直方图,并据此分别得到草莓挤压缺陷和腐败缺陷色阈范围,并对其进行颜色分割(图 5)。



(a)草莓挤压缺陷 (b)草莓腐败缺陷

图 5 草莓缺陷检测

在人工评价过程中,黑色腐败缺陷会导致草莓直接评判为劣等;棕红色挤压缺陷如果面积较大也将评判为劣等。而对于小面积挤压缺陷的草莓,则会结合其成熟度得分综合评判其等级。

取 40 个因挤压缺陷面积过大而被人工评判为劣等的草莓样本,通过轮廓面积法对其进行缺陷面积检测和数据分析(图 6)。

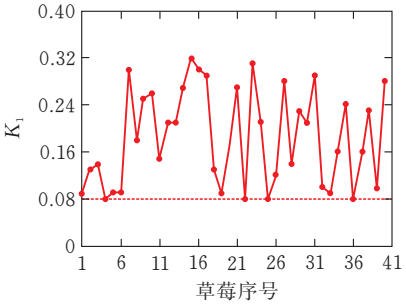
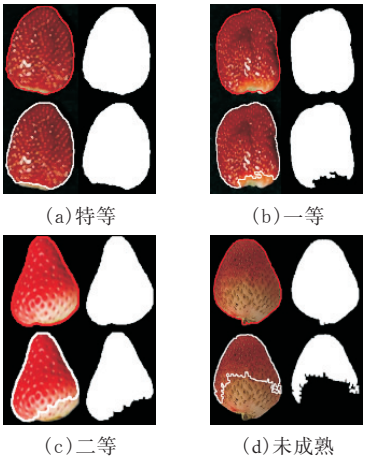


图 6 劣等草莓缺陷面积统计

将缺陷面积与草莓投影面积之比记为 K_1,由图 6 可知,当 $K_1 \geqslant 8\%$ 时,草莓成熟度评判为劣等。当 $K_1 < 8\%$ 时,进入下一步成熟度检测,并根据草莓鲜红面积占比,判断草莓成熟度等级。

2.2.2 草莓成熟度检测 完成草莓图像预处理后,将图像从 BGR 颜色空间转换至 LAB 颜色空间。沿用缺陷色阈提取方法,提取 LAB 颜色空间的 3 通道数据。通过观察多个草莓样本的直方图,依据直方图呈现的阈值范围,初步确定草莓红色阈值的取值区间。

随后,基于色阈算法对草莓图像进行颜色分割,并通过反复调试,直至分割结果完整呈现目标区域。获取草莓鲜红色像素面积后,计算其与草莓整体像素面积的比值 K_2,以此实现对目标草莓成熟度的量化评价。参考相关行业标准,可将草莓成熟度等级 K_2 初始化如下:当 $0.98 < K_2 \leqslant 1$ 时,为特等;$0.9 \leqslant K_2 < 1$ 时,为一等;$0.8 \leqslant K_2 < 0.9$ 时,为二等;$K_2 < 0.8$ 时,为不成熟。其分割效果如图 7 所示,红色线条绘制草莓整体轮廓,白色线条绘制草莓成熟区域轮廓。



(a)特等 (b)一等

(c)二等 (d)未成熟

图 7 基于 LAB 颜色模型的成熟度检测

为进一步优化 LAB 颜色模型的草莓成熟度范围，选取系统分级的各等级草莓样本各 40 个，并对草莓样本进行编号和着色比 K_2 值计算（序号 1－40 为系统分级特等，41－80 号为一等，81－120 号为二等，121－160 号为不成熟），得到各草莓个体 K_2 值分布图（图 8）。在 3 位分级人员不知道系统分级结果的情况下，使其对草莓样品进行人工分级，并统计与系统分级不一致的草莓序号，得到草莓误分表（表 1）。

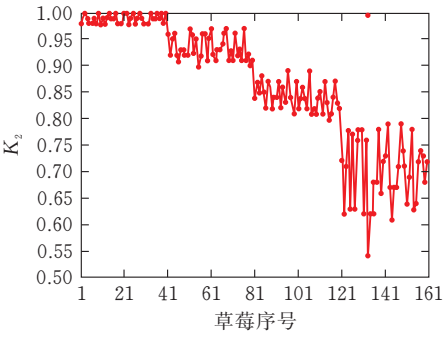


图 8　草莓红色着色范围分布

表 1　人工错分

分级人员	与系统分级不一致的草莓编号			
	特等	一等	二等	不成熟
1	无	41，43，44，51，52，57，58，61，67，68，70，72，76	82，84，87，92，96，100，106，113，118	124，129，130，138，142，148，153
2	无	41，44，51，52，54，57，58，60，61，67，68，72，76	82，84，85，87，92，96，100，103，106，118	124，126，129，130，132，138，142，148，153
3	无	41，43，51，52，57，58，60，61，67，68，72，76	82，84，88，92，96，100，106，113，118	124，128，129，130，132，138，142，148，153

由表 1 和图 8 可知，人工分级的特等草莓与系统分级一致，其余等级草莓分级存在偏差。统计误分草莓中出现多次分级不一致的草莓序号，发现一等误分草莓中 41、51、52、57、58、61、67、68、72、76 多次出现，二等误分草莓中 82、84、92、96、100、106、118 多次出现，不成熟误分草莓中 124、129、130、138、142、148、153 多次出现。取各等级误分草莓的最小 K_2 值，一等误分草莓中最小 $K_2=0.96$，二等误分草莓中最小 $K_2=0.87$，不成熟误分草莓中最小 $K_2=0.78$。将其作为草莓成熟度等级判别的新阈值，即可得到优化后的成熟度评分阈值范围（表 2）。

表 2　草莓成熟度范围

草莓成熟度	红色着色面积与整体投影面积之比 K_2
特等	$0.96\leqslant K_2\leqslant 1$
一等	$0.87\leqslant K_2<0.96$
二等	$0.78\leqslant K_2<0.87$
不成熟	$K_2<0.78$

2.2.3　草莓成熟度评分　根据 K_1、K_2 对草莓进行成熟度评分，其评分以 N_1 表示，如表 3 所示。

表 3　草莓成熟度评分

草莓成熟度	K1、K2 范围	评分
特等	$K_1<8\%$ $0.96\leqslant K_2\leqslant 1$	3 分
一等	$K_1<8\%$ $0.87\leqslant K_2<0.96$	2 分
二等	$K_1<8\%$ $0.78\leqslant K_2<0.87$	1 分
不成熟	$K_1<8\%$ $K_2<0.78$	0 分
劣等	$K_1\geqslant 8\%$	0 分

2.3　草莓质量特征提取与规格评分

2.3.1　草莓质量拟合　完成草莓成熟度评分，还需对满足成熟度要求草莓进行规格评分。建立投影面积与质量的关系函数[15-16]，拟合草莓质量。并依照行业标准对草莓进行规格评价。草莓规格行业标准如表 4 所示。

表 4　草莓规格评价

草莓规格	大	中	小
大型果	＞25	25～20	≥15
中型果	＞20	20～15	≥10
小型果	＞15	15～10	≥5

采用精度为 0.1 g 的电子天平对 101 个草莓样本逐一测量，得到各草莓样本质量。然后对样本草莓进行图像采集，通过图像处理得到草莓投影像素面积，并计算得到草莓投影面积。对草莓投影面积 S 和质量 m 进行线性回归，线性关系函数（图 9）：

$$m=4.1007S-14.7601 \tag{2}$$

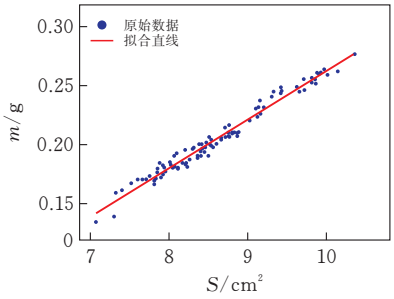


图 9　草莓面积、质量关系

2.3.2　草莓规格评分　通过线性函数对草莓进行质量预测，并对草莓进行规格评分。其规格评分如表 5 所示。

表 5 草莓规格评分

规格	m/g	评分
大	$m>25$	3 分
中	$20\leqslant m\leqslant 25$	2 分
小	$15\leqslant m<20$	1 分

2.4 草莓形状特征提取与外形评分

2.4.1 草莓形状检测 完成草莓规格评分后，对草莓进行形状评分。通过机器视觉，绘制草莓最大外接矩形。将外接矩形长宽比记为 L_1，草莓轮廓面积与矩形面积比记为 L_2。通过 L_1 和 L_2 可大致将草莓分为如图 10 所示 3 种形状。



(a)圆锥形 (b)近长方形 (c)近圆形

图 10 草莓形状

选取人工分选的圆锥形、近长方形和近圆形草莓样本共 90 个，计算其长宽比 L_1 和面积比 L_2，并进行数据统计。采用 K-Medoids 中心点聚类算法对数据进行处理，按草莓形状设置 3 个簇，得到各形状的数据范围如图 11 所示。

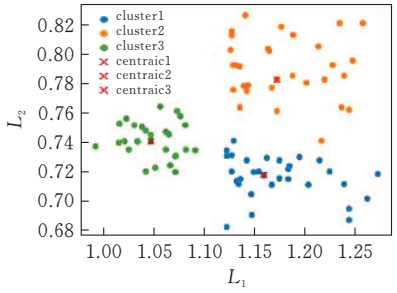


图 11 K-Medoids 聚类结果

2.4.2 草莓形状评分 由图 11 可知，当 $L_1<1.12$ 时，草莓为近圆形。当 $L_1\geqslant 1.12$ 且 $L_2<0.76$ 时，草莓为近圆锥形；当 $L_1\geqslant 1.12$ 且 $L_2\geqslant 0.76$ 时，草莓为近长方形。以此对草莓进行形状判断，并进行形状评分，其评分如表 6 所示。

表 6 草莓形状评分

草莓形状	圆锥形	近长方形	近圆形
形状评分	3 分	2 分	1 分

2.5 草莓品质模型

通过草莓成熟度、草莓规格和草莓形状 3 项评分指标，采用熵权法得到权重因子[17-18]，对草莓品质进行最终评分，其评分以 N 表示。首先通过成熟度、规格和形状评分，得到 27×3 的矩阵，然后对矩阵进行标准化处理、归一化处理、信息熵计算和权重因子计算。最后根据草莓成熟度评分、规格评分、形状评分和权重因子，对草莓品质得分进行计算和评级，其表达式和评级表如下：

$$N=\sum_{j=1}^{a}W_j\cdot X_{ij}\quad a=3,i=1,\cdots,27,j=1,2,3 \tag{2}$$

式中：W_j 为权重因子；X_{ij} 为草莓各评分。

表 7 草莓品质评分

草莓品质	评分	草莓品质	评分
完美	3	中	2.3/2
高	2.67	低	1.67/1.3/1

3 草莓分选实现

3.1 机械手工作空间

工作空间是评估机械手性能的重要指标。以 Delta 机械手的动平台中心点为参考点，所有该点可达到的位置为机械手的工作空间。

通过已知参数（静平台半径 R，动平台半径 r，主动臂杆长 L_a，从动臂杆长 L_b），采用运动学反解，通过机械手旋转角度，得到机械手末端执行器位置。给定合理的转角范围，将其限定在 $-29°$～$80°$ 均匀区间，仿真得到机械手可达工作空间，如图 12 所示。

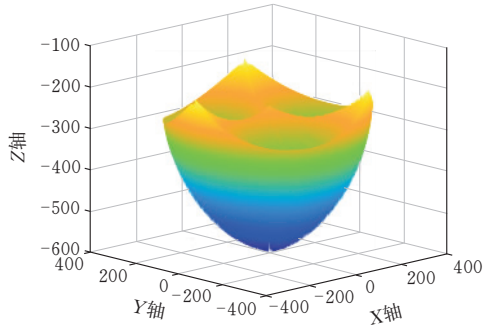
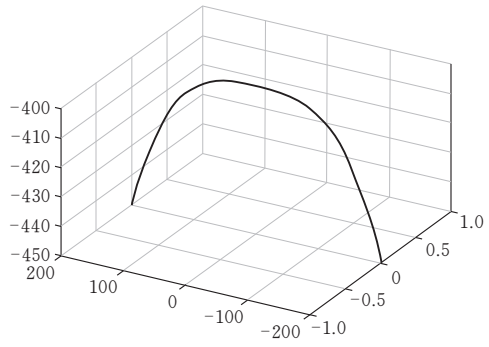


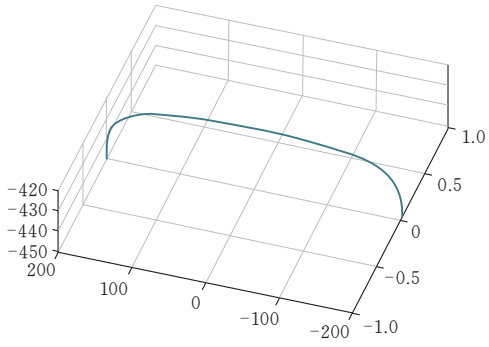
图 12 机械手工作空间

3.2 轨迹选择

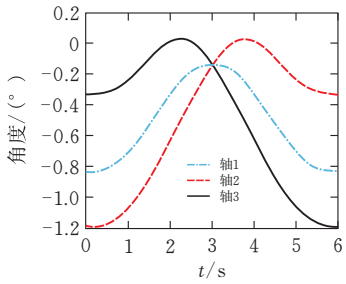
基于传统的 Delta 机械手运动轨迹，采用典型的门字形轨迹，将其运动轨迹分为三段，即：直线上升段＞水平平移段＞直线下降段[19-20]。为了消除门字型的直角过渡段，防止机械手出现抖动，造成精度缺失，采用修正梯形曲线进行优化，得到弧线轨迹，并在弧线轨迹上做出适用性改动，通过仿真软件得到两种轨迹角速度和角位移曲线对比(图 13)。对比两种轨迹可知，两者角位移变化区别不大，都比较平滑。在角速度曲线上，弧线轨迹存在明显波动，改进弧线轨迹曲线的角速度峰值较大，但整体曲线呈现比较平滑。



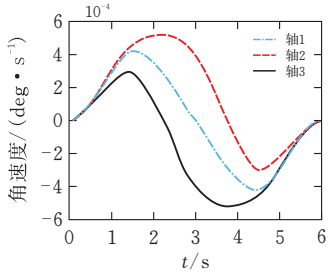
(a)弧线轨迹



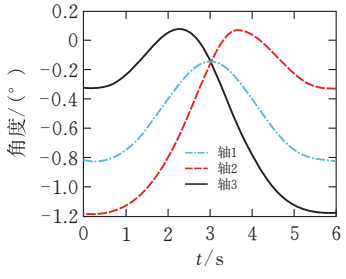
(b)改进弧线轨迹



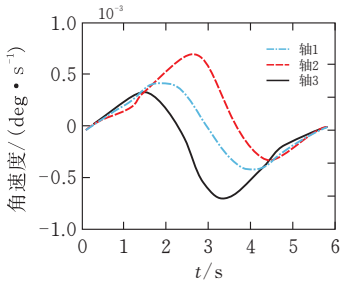
(c)弧线轨迹角位移



(d)弧线轨迹角速度



(e)改进轨迹角位移



(f)改进轨迹角速度

图 13　轨迹对比

4　草莓分选试验

4.1　草莓分级试验

选取质量不等、着色不一的大型果草莓 127 个，根据草莓品质分级模型对其进行分级试验，分级结果如表 8 所示。由表 8 可知，一共有 6 个草莓分级结果与人工分级不一致，各品质分级准确率均在 90%以上，整体准确率为 95.3%。其误分主要原因有草莓翻面失败且另一面恰巧存在缺陷或着色面积不达标，或草莓质量或颜色刚好处于分级界限。

表 8　草莓品质分级结果

草莓品质	完美品质	高品质	中品质	低品质
人工分级	19	44	49	15
系统分级	19	46	46	16
准确率/%	100	95.5	93.9	93.3

4.2　机械手分选试验

为验证改进弧线轨迹的可行性，分别采用两种轨迹对草莓进行分选，分选结果如表 9 所示。试验表明，弧线轨迹的分选成功率为 52.8%，平均每个草莓分选时间为 0.88 s。影响分选成功率的主要原因是起始点草莓吸取失败或吸取不牢，致使分选途中掉落。改进弧线轨迹的分选成功率为 94.5%，平均每个草莓的分选时间为 1.22 s。综合两种轨迹的草莓分选成功率和效率，改进弧线轨迹优于弧线轨迹，具有一定的可行性。

表 9　轨迹分拣对比

草莓品质	草莓数量	弧线轨迹分拣数	优化的弧线轨迹分拣数
完美	19	12/19	18/19
高	46	27/46	45/46
中	46	20/46	43/46
低	16	8/16	14/16

5　结论

1)本文设计的基于机器视觉的草莓自动分选系统，针对草莓品质分级，通过视觉所能提取到的草莓颜色特征、质量特征和形状特征，从草莓缺陷、成熟度、规格和形状综合评价草莓品质，建立草莓品质

模型。

2)实验表明,草莓各品质分级的准确率达到90%以上,草莓整体分级准确率达到95.3%,具有较好的实用性。改进的弧线轨迹分选成功率达到94.5%,平均每颗草莓分选耗时 1.22 s,优于弧线轨迹。

[参 考 文 献]

[1] 王鸣谦,薛莉,赵珺,等. 世界草莓生产及贸易现状[J]. 中国果树,2021(02):104-108.

[2] 刘畅,王晓,李宪松,等. 我国草莓生产态势及国内外比较分析[J]. 中国果树,2023(07):136-140.

[3] 王诗宇,林浒,孙一兰,等. 基于机器视觉的机器人分拣系统的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2017(03): 125-129.

[4] 张青,邹湘军,林桂潮,等. 草莓重量和形状图像特征提取与在线分级方法[J]. 系统仿真学报,2019,31(01):7-15.

[5] 杨涛,张云伟,苟爽. 基于机器视觉的草莓自动分级方法研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(03): 146-150.

[6] OO L M, AUNG N Z. A simple and efficient method for automatic strawberry shape and size estimation and classification[J]. Biosystems Engineering, 2018,170:96-107.

[7] 李卫军,刘玉梅,陈绍江,等.基于机器视觉的玉米单倍体自动分选系统[J].农机化研究,2016,38(01):81-85.

[8] 邹旻. 基于机器视觉的工业机器人分拣系统设计与实现[D].广州:广东工业大学,2021.

[9] 郭阔. 三轴并联机器人分拣控制系统的研发[D].大连:大连理工大学,2021.

[10] 周友良,管贻生. 嵌入式技术在工业机器人分拣技术中的应用研究[J]. 电子世界,2021(24):17-18.

[11] 中华人民共和国农业部.NY/T 1789-2009 草莓等级规格[S].2009.

[12] 蒋浩,张初,刘飞,等. 基于高光谱图像多光谱参数的草莓成熟度识别[J]. 光谱学与光谱分析,2016,36(05):1423-1427.

[13] 赵玲,周桂红. 基于颜色特征的草莓成熟度识别技术研究[J]. 河北农业大学学报,2017,40(02):97-101.

[14] 谢志勇,张铁中,赵金英. 基于 Hough 变换的成熟草莓识别技术[J]. 农业机械学报,2007(03):106-109.

[15] MITCHELL PD. Pear fruit growth and the use of diameter to estimate fruit volume and weight[J]. HortScience 1986, 21(04):1003-1005.

[16] OMID M, KHOJASTEHNAZHAND M, TABATABAEEFAR A. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique[J]. Journal of Food Engineering 2010, 100: 315-321.

[17] 程启月. 评测指标权重确定的结构熵权法[J]. 系统工程理论与实践,2010,30(07):1225-1228.

[18] 沈海军,王爱红,徐欢,等. 基于熵权法和灰色关联度法的梨品质区分[J]. 美食研究,2023,40(02):87-92.

[19] 丛明,熊永康,刘冬,等. 一种并联机械手操作空间最优时间轨迹规划方法[J]. 机械设计,2016,33(02):7-13.

[20] 梅江平,臧家炜,乔正宇,等. 三自由度 Delta 并联机械手轨迹规划方法[J]. 机械工程学报,2016,52(19):9-17.

Design and Test of Automatic Strawberry Sorting System Based on Machine Vision

MA Zhiyan[1,2], WANG Yubin[1], CHEN Xuehai[1,2]

(1 *School of Mechanical Engin., Hubei Univ. of Tech.,Wuhan* 430068,*China*;
2 *Hubei Agricultural Machinery Equipment Intelligent Engin.Tech.Research Center,Wuhan* 430068,*China*)

Abstract: In view of the problems of large output, short shelf life and low efficiency of traditional manual sorting in the main strawberry producing areas in China, an automatic strawberry sorting system based on machine vision is designed. The system obtains the color characteristics, quality characteristics and shape characteristics of strawberries through machine vision, scores the ripeness, specification and shape of strawberries, and uses the entropy weight method to obtain the weight factor to obtain the overall score of strawberry quality. At the same time, in order to reduce the damage of strawberry drop and improve the sorting efficiency, the applicability of the traditional elliptical trajectory is improved. Finally, the accuracy of the system rating and the feasibility of improving the trajectory are verified by experiments, and the experiments show that the accuracy of quality grading reaches 95.3%. The improved elliptic trajectory sorting success rate reached 94.5%, and the average time spent on each strawberry sorting was 1.22 s. This study provides a reference for manipulator-based automatic strawberry sorting.

Keywords: automatic strawberry sorting; machine vision; strawberry quality model; elliptic trajector

[责任编校:张 众]