

周乐帆,李震,金青婷,等.基于机器视觉的柚子自动调向装置的设计与试验[J].华中农业大学学报,2026,45(2):259-268.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.02.027

基于机器视觉的柚子自动调向装置的设计与试验

周乐帆¹,李震^{1,2},金青婷¹,吕石磊^{1,2},冯婉媚^{1,2}

1. 华南农业大学大学电子工程学院(人工智能学院),广州 510642;
2. 国家柑橘产业技术体系机械化研究室,广州 510642

摘要 为实现柚果的全自动调向,以降本增效、解放人力,提出了一种基于机器视觉的自动调向装置。利用相机与红外传感器配合采集图像,采用OpenCV编写图像处理程序判断柚果朝向并简化形状计算调向参数,完成通过调向杆控制柚果平面运动、实现统一朝向离开装置的任务。通过对广东地区沙田柚进行测试,结果显示,在串行与并行2种工作模式下,装置对沙田柚的初始姿态识别准确率及调向的平均成功率分别为93.3%、82.6%和97.4%、87.5%,程序在并行工作模式下柚果调向的平均操作时间为5.20 s。结果表明,该自动调向装置能准确识别柚果的朝向,并高效率进行调向作业。

关键词 柚; 机器视觉; 图像识别; 自动调向

中图分类号 S666; TP391.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)02-0259-10

柚类在我国产地分布广泛,品种丰富多样,其上市期为每年9—11月,年产量可达1 000万t,其中广东梅州柚的年产量亦高达百万吨以上。每年收获的成熟柚果,绝大部分作为鲜果食用,而果皮等部分则作为废弃物丢弃^[1]。近年来,随着柚果加工产品研发的不断深入,其不同领域的实用价值也得到广泛挖掘:如柚皮可衍生合成多孔碳纳米材料^[2];通过一定工艺和技术加工生产饮品、化妆品等^[3-4];柚皮渣等副产物也可在经过合理的处理和转化后制成吸附剂、生物燃料原料等绿色生态产品^[5-6]。

柚果加工过程中最关键的环节是果皮的分离。操作前对每个柚果进行调向,使其朝向一致,能显著提高工作效率,降低时间成本。实现不同尺寸柚果的自动调向,首先需要对柚果的姿态进行检测,并计算出不同尺寸柚果调向需要的实际参数。目前实现柚果姿态统一的主要方法包括:(1)使用滑道机构,根据柚果在机构上运动时的物理属性完成姿态的统一^[7];(2)使用接触节点与旋转机构统一姿态^[8];(3)运用两条呈菱形的斜皮带、调节拉杆和支撑板组成整料单元,使柚果在经过该单元后统一为尖端在后、圆端在前的统一姿态。然而,由于柚皮属海绵

体且厚薄不一、直径相差较大^[9],上述调向方法及设备无法针对不同尺寸和品种的柚果进行自适应调整,在实际生产过程中很难大规模投入使用,因此目前柚果的调向工作主要还是依靠费时费力、效率较低的人工来进行,若使用机器视觉与图像处理算法来计算参数、控制调向设备,可以弥补纯机械结构设备在自适应能力上的不足。

机器视觉已被广泛应用于农业领域,如水果的识别和分类^[10-12]、病虫害检测^[13-15]、产量预测^[16-18]等。机器视觉在调向中的应用亦逐渐受到关注,段玉龙^[19]使用相机采集蔗种的待测图像,识别蔗芽、求出蔗芽质心点,配合控制装置实现对蔗种的调向工作,试验得到蔗种的调向成功率达到94%;郑昕萌^[20]使用YOLOv8算法检测采后甘蓝的根部位置,开展调向和分选卸料工作,结果表明该样机对甘蓝根部识别精准率为98%,调向成功率为92%,调向装置的工作效率为29.86个/min;李超^[21]通过图像识别技术识别大蒜蒜芽,配合气吸式结构对蒜种进行定向,实现了普通大蒜品种机械化立直种植;Li等^[22]使用调向组件对“金乡”和“苍山”大蒜蒜瓣进行定向操作,2种大蒜的定向成功率分别为

收稿日期:2025-02-20

基金项目:国家自然科学基金项目(32271997;31971797);广州市重点研发计划项目(2024B03J1309);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-26)

周乐帆,E-mail:24124204@qq.com

通信作者:李震,E-mail:lizhen@scau.edu.cn

94.6% 和 97.5%，平均调整时间分别为 1.13 s 和 1.24 s。

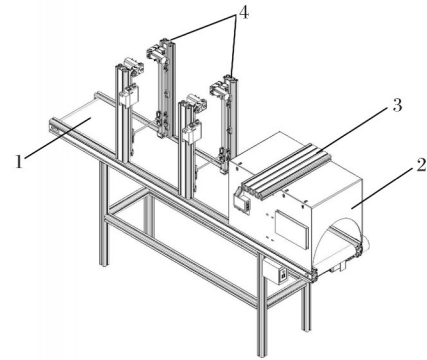
基于上述研究问题,本研究提出一种依托机器视觉的柚果自动调向方法。该方法通过采集柚果图像,判定其朝向、计算调向参数,并结合自动调向装置实现对柚果的调向,旨在精准、高效地完成柚果朝向的识别与调整,为柚类的自动调向提供一种有效的技术解决途径。

1 材料与方 法

1.1 机械结构与工作原理

1)机械结构。自动调向装置的物理结构如图1所示。实验平台主要由传送带、遮光外壳、图像模组和调向模组组成,其中图像模组包括开发板、红外传感器以及USB摄像头,试验程序搭载在开发板上。调向模组包含2组调向组件,每组调向组件由同步带滑块模组、步进电机、调向杆、电机驱动器及串口步进控制器组成,电机安装在同步带顶端,调向杆安装在同步带滑块模组的滑块上,电机驱动器与串口步进控制器组成电机驱动单元,用于接收程序传递的参数,控制调向杆移动。

2)工作原理。调向过程大致可归纳为以下流程:模拟加工环境,限定柚果上料前仅存在2种姿态(尖端在前或圆端在前);柚果运动至红外传感器检

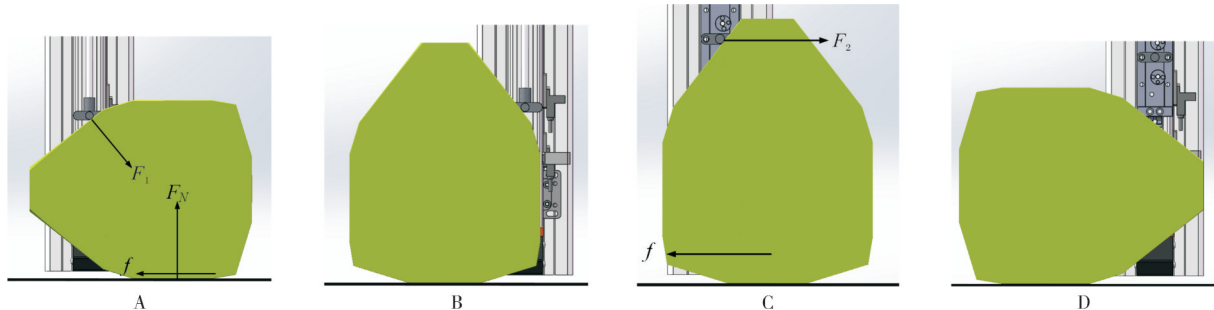


1. 传送带 Conveyor belt; 2. 遮光外壳 Light-shielding shell; 3. 图像模组 Image module; 4. 调向模组 Steering module.

图1 自动调向实验平台结构

Fig. 1 Structure diagram of the automatic steering experiment platform

测区域时,传感器通过GPIO引脚向开发板传递检测信号,开发板控制摄像头拍摄柚果待测图像;柚果运动至调向模组的过程中,程序基于图像处理算法同步识别柚果的初始姿态,当检测到柚果尖端在前时,计算调向参数,控制调向模组工作;尖端在前的柚果到达调向模组时与调向杆接触,在调向杆的作用力和传送带面的摩擦力共同作用下做平面运动,在通过第一调向杆后,调整至竖直姿态;在通过第二调向杆后,统一调整至圆端在前的姿态离开传送带,调向过程如图2所示。



A:第一次调向受力 The first directional change force; B:竖直姿态 Vertical posture; C:第二次调向受力 The second directional change force; D:目标姿态 Target posture.

图2 调向运动过程

Fig. 2 Process of directional movement

1.2 初始姿态识别

为确定柚果进入传送带时的初始姿态,首先要对图像中的柚果进行目标提取,通过轮廓找到柚果的最小外接矩形及重心位置。最后,比较矩形框水平面积平分线及重心所在水平线位置即可识别柚果的初始姿态,判断是否需要调向。

1)形状提取。成熟柚果的表皮呈淡黄或黄绿色,在工业环境下,通过表皮颜色提取柚果形状难度

较低。在计算机视觉中,通常使用RGB颜色空间来描述颜色,即红(R)、绿(G)、蓝(B)3种颜色通道的值。但以此方式很难准确对黄色的深浅和明暗进行量化。相比之下,符合人类对颜色直观感知的HSV颜色空间,即色相(H)、饱和度(S)、亮度(V),是更好的选择^[23-26]。将图像从RGB颜色空间转换至HSV颜色空间时,需符合以下公式:

$$H_1 = \arccos \left\{ \frac{[(R-G)+(R+G)]}{2} \right\} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} H_1, B \leq G \\ 360 - H_1, \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (3)$$

$$V = \frac{\max(R, G, B)}{255} \quad (4)$$

式(1)中, H_1 为色相的初步计算值, 用于后续条件调整, 确定最终的色相值。根据柚果的表皮颜色, 定义 HSV 空间下可提取完整柚果形状的颜色范围, 在此范围内生成一个形状提取掩码, 将其与待测图像进行运算提取出形状完整的柚果, 再进行形态学处理, 进而获得判断姿态所需的二值图像。

2) 姿态识别。由于柚果的形状为顶端尖、底部圆, 且质量主要分布在底部, 因此柚果的重心更靠近底部。计算图像中柚果重心位置, 分析重心与柚果中间位置的关系, 即可确定柚果的初始姿态。

柚果的中间位置由最小外接矩形框确定。程序查找图像中柚果轮廓, 确定外接矩形框左顶点坐标 (x, y) 、矩形框宽度 w 和高度 h , 绘制并计算矩形框纵向中间线坐标值 Y 。再根据以下公式计算出柚果重心的位置:

$$Y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (5)$$

$$M_{00} = \sum_i \sum_j I(i, j) \quad (6)$$

$$M_{01} = \sum_i \sum_j j \cdot I(i, j) \quad (7)$$

式(5)~(7)中, Y_c 为柚果重心的纵坐标值; M_{00} 为柚果的零阶矩, 表示轮廓中所有像素值的总和, 即柚果的面积; M_{01} 为柚果轮廓 y 方向的一阶矩, 表示轮廓中某一像素点的纵坐标和对应像素值的乘积之和。比较 Y 与 Y_c 的值, 即可判断柚果的初始姿态: 若 Y 大于 Y_c , 柚果尖端在前; 若 Y 小于 Y_c , 则圆端在前。

1.3 参数计算与传递

当程序识别到柚果尖端在前, 即向后续程序发送工作指令, 计算调向参数, 并向装置的调向模组传递。根据前文所述调向方式, 柚果的调向参数为调向杆与柚果接触需要下降的高度。

1) 简化模型。在对柚果调向装置的相关研究中, 梁梦瑶^[7]将柚果的尖端和圆端定义为相切的球体, 李延苓等^[8]将柚果定义为一个轴对称体。基于此, 为便于找到调向杆与柚果的接触位置, 本研究将

柚果定义为一个轴对称的旋转体, 尖端和圆端为2个外切的球, 在图像中可看作2个外切的圆。为降低调向杆挤压造成的果肉损伤风险, 将接触位置设置于远离果肉靠近尖端的区域; 同时, 为确保调向过程的稳定性, 接触位置需具备足够的横向支撑宽度以防止柚果侧倾。因此, 选择柚果模型的大小球相切位置进行接触。

在图像中, 以矩形框中线为起点, 下边界为终点, 调取范围内柚果轮廓每一行的像素值, 取值最大行中点, 即为大圆圆心位置, 半径为该行像素值的一半; 通过大圆上顶点及矩形框上边界确定小圆位置, 大小圆心处于同一条竖直线上, 小圆半径为大圆上顶点到矩形框上边界竖直距离的一半。根据大、小圆参数绘制等效圆, 即为柚果的简化模型。

2) 参数计算。如图2所示, 柚果与第1根调向杆接触时为水平姿态, 接触位置到传送带皮带表面的距离可看作图像中接触位置所在行的轮廓边界到远端矩形框竖直边线的距离; 与第2根调向杆接触时为竖直姿态, 此时接触位置与传送带皮带表面之间的距离可看作图像中接触位置与矩形框下边线的距离。设2根杆与柚果接触时距离传送带面的距离为 l_1 和 l_2 , 则 l_1 和 l_2 的计算公式为:

$$l_1 = \frac{w+L}{2} \quad (8)$$

$$l_2 = 2R \quad (9)$$

式(8)~(9)中, L 为图像中两圆切点所在行的像素值, R 为大圆的半径, w 为图像中柚果的外接矩形框宽度, 上述参数值均可在程序中使用指令直接进行调取。

3) 参数转换。上述方法计算得到的调向参数为像素值, 调向模组中的电机运动需要接收的信息为脉冲数, 因此需要建立图像中像素值与电机脉冲数的转换公式。

① 像素值与实际距离的转换。柚果在图像中的像素值与实际宽度的数量关系使用棋盘格与角点检测函数计算。选用的棋盘格如图3A所示, 棋盘格尺寸为 12×9 , 每个棋盘格边长为 20 mm。

角点检测函数需要手动设置待检测棋盘格的尺寸, 以对边界处的角点进行检测, 并输出其坐标。设定棋盘格尺寸为 10×7 , 即水平方向和竖直方向的角点数量分别为 11 个和 8 个, 该函数的角点检测结果如图3B所示。通过计算 2 个角点横坐标的差值, 可得到水平方向的像素值, 将该像素值与实际距离相除, 即可得出像素值与实际距离的转换系数 k_l 。

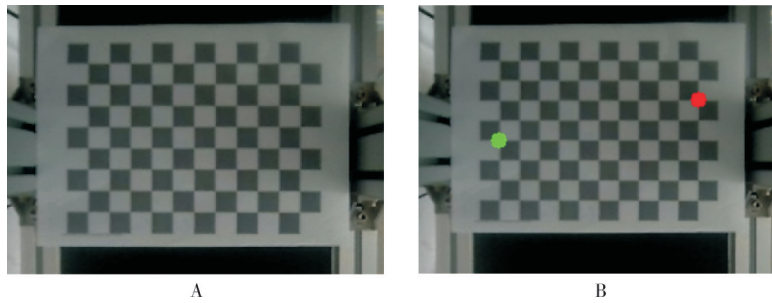


图3 棋盘格图像(A)及程序检测标记的两侧角点(B)

Fig. 3 Checkerboard image and corner points on both sides of the program detection mark

初始状态下,调向杆距离传送带面高度 H 为476 mm,根据 l_1 、 l_2 及 k_f 的值,计算调向参数 h_1 、 h_2 为:

$$h_1 = H - k_f \times l_1 \quad (10)$$

$$h_2 = H - k_f \times l_2 \quad (11)$$

②实际距离与脉冲数的转换。向步进电机发送100次脉冲信号,同步带滑块带动调向杆移动68 mm,得出实际距离与脉冲数的转换系数(k_p)为:

$$k_p = \frac{100}{68} \quad (12)$$

进一步计算出2组电机接收的脉冲数 p_1 和 p_2 为:

$$p_1 = k_p \times h_1 \quad (13)$$

$$p_2 = k_p \times h_2 \quad (14)$$

4)参数传递。程序通过开发板上的RS485串口,使用Modbus-RTU协议与步进串口控制器通信传输脉冲数据,以开发板作为主控设备,每个步进串口控制器作为从设备。

Modbus-RTU协议通讯指令包含地址位、功能位、寄存器地址位、数据位、CRC校验位^[27-29]。CRC校验是一种检测数据是否出现错误的编码技术。程序定义一个校验函数。该函数创建一个预定义CRC计算中间值查找表。每次校验,函数初始化校验码,遍历数据字节。每个字节,先向右移动8位,将当前值和查找表对应值进行异或运算,实时更新校验码。最终值以字节数组形式返回,即对应指令的CRC校验码。

按照通讯码结构,将脉冲数转换为十六进制,按照高低字节排列输入数据位,进行CRC校验,得到完整的数据指令。发送电机转动指令与数据指令至步进串口控制器,控制调向杆下降至指定位置进行调向,调向完成后,再次发送数据及电机反转指令,复位调向杆。

1.4 程序设计关键技术

1)程序模块化。装置工作时,图像模组与图像拍摄程序、调向模组与传递参数程序耦合度高,单个调向周期仅支持1个柚果调向,图像模组与调向模组

不同时工作。此工作模式下,存在资源闲置问题,设备整体使用率低,最终影响柚果调向的效率。为提高整机利用率,将程序按照任务划分为图像捕获、图像处理与参数传递3个独立模块,各模块将处理结果传递至后续模组后,即可继续处理后续图像。

2)引入图像缓冲区。拍摄待测图像期间,传感器持续输出低电平信号,为避免重复处理同一柚果图像,程序设置一个最大帧数为5、遵循先进先出原则的图像帧储存列表,用于暂存和调用拍摄到的图像,并设定了调用间隔。

每次图像暂存后,程序同步获取当前时钟时间。当系统首次获取图像时,直接将其认定为柚果的“待测图像”,执行保存与调用程序,并将该时刻记录为“前次调用时间”;当系统再次获取图像时,记录当前时间,并与“前次调用时间”计算间隔。若间隔达到预设的“调用间隔”,则将此图像作为新的“待测图像”进行处理,并立即将“前次调用时间”更新为当前时刻;若间隔未达到要求,则此帧图像不予调用。

3)引入线程池。图像捕获模块与图像处理模块、图像处理模块与参数传递模块通过线程池联系。线程池可根据需要设置最大工作线程数。

线程池由任务队列和工作线程组成,任务队列存储被提交的任务,工作线程获取并执行任务队列中的任务。当线程数小于设定上限,且任务队列不为空时,线程池可自动创建新的工作线程;若新任务被提交时工作线程数达到最大,则存放在任务队列中等待工作线程空闲。

程序分别创建图像线程池与参数线程池,为避免工作线程执行任务过程中出现资源竞争影响效率,两线程池的最大工作线程数均设置为1。图像捕获模块完成柚果待测图像捕获后提取待测图像的保存路径,与图像处理模块打包成图像处理任务提交至图像线程池任务队列;图像处理模块判断柚果需

要调向并计算出调向参数后,将调向参数与参数传递模块打包成参数传递任务提交至参数线程池。

4)创建独立线程显示图像。为避免显示图像造成程序阻塞,程序创建一条独立线程显示图像,即程序归划为工作线程与图像显示线程。线程间采用交互模式,可以对需要显示的图像进行实时更新,观察各环节处理结果。

综上所述,可整理出单个柚果调向的程序工作流程如图4所示。

2 结果与分析

2.1 试验平台搭建

试验搭建的自动调向装置如图5所示。传送带长2 m,带宽300 mm,速度可在0.08~0.16 m/s范围内调节;摄像头分辨率为1 920像素×1 080像素,最小成像距离为4 cm;传感器有效检测距离为10~15 cm;开发板为树莓派Raspberry Pi 4b,可用内存8 GB;同步带滑块模组总长度580 mm,滑块有效行程400 mm,移动速度为1.5 m/s;步进电机为57步进电机,步进角为1.8°,轴径8 mm;步进电机控制器为DM542C控制器,400细分。初期搭建的实验设备上,图像模组距离调向模组0.6 m,调向模组2组调向组件的杆间距为0.4 m。

为了验证该装置正确调向柚果的有效性和适用性,在实验室使用广东地区种植最为广泛的沙田柚进行代表性测试,沙田柚大小头形状易于辨别,且形状和尺寸的差异明显,可作为测试系统实际性能的理想品种。

2.2 串行模式试验

判断是否调向成功的标准是柚果离开传送带时其大头是否朝前。试验随机选取10个柚果为1组并依次编号,随机确定若干个柚果的姿态为大头朝前,其余柚果的姿态为小头朝前,将其逐个送入调向装置。按照此方式选取3组柚果开展试验,设定传送带的运行速度为0.15 m/s,检测识别的准确率以及调向的成功率,拍摄试验视频,同时记录程序各模块的运行时长。试验程序各阶段的识别结果如图6~图8所示。

以3组试验的识别准确率的平均值、正确调向柚果数和需要调向柚果数的比值分别作为串行试验的识别准确率和调向成功率。由表1可知,在串行模式下,柚果初始姿态识别准确率和调向成功率分别为93.3%、82.6%。部分尖端在前的柚果未被正确识

别,分析原因发现,未被正确识别的柚果可分为两类:一类果实较为饱满,形状接近球形;一类果实由于上料时未处于稳定状态发生了滚动和碰撞,柚果的轴偏移了较大角度。针对上述情况,当程序判定无需调向时,增设提醒窗口:“检测当前柚果无需调向,请检查是否存在误判情况,进行人为干预。”根据提醒对装置上的柚果进行检查,若存在误判,则借助人力对柚果的姿态进行调整。

通过对拍摄的视频分析可知,单个柚果在调向模组的约束作用下调整朝向的平均时间为6 s,调向的平均用时为15 s,表明当前装置工作参数的设置欠缺合理性,需要进行优化。结合表1数据可知,程序中3个模块平均运行时间分别为1.45、0.09、0.48 s,说明柚果自完成图像处理至进行调向的过程所耗时间过长。因此,需要对传送带上各组件的间距进行调整,以缩短柚果在传送带上的非必要运动时长。依据传送带速度,调整图像模组到调向模组的距离为0.45 m,同时设定2组调向组件间的距离为0.2 m,使得程序完成图像采集与处理,并通过串口控制调向杆下落至指定位置时,柚果刚好随传送带运动至调向模组处。调整后再次进行试验,单个柚果进行调向的平均时间缩短至4 s,调向的平均用时缩减至8 s。

2.3 并行模式试验

在串行试验的基础上,进行并行工作模式的试验,对串行工作模式试验的视频及数据进行分析,将本文“1.4”小节提出的程序模块化并行工作流程归纳整合为以下几个阶段:(1)图像采集和处理期;(2)调向准备期;(3)调向期。

为保证柚果在运动处于调向期时不会受到前后次序柚果的干扰,最理想的情况是当某个柚果完成调向时,后一个柚果完成图像的采集和处理,此时的间隔为5 s。在此条件下,若从第1个柚果进入传送带开始计时,每间隔5 s向传送带中放入1个柚果,测试1 min内并行工作模式下完成调向的柚果数量、柚果的识别准确率、调向成功率,同样进行3次测试,以3组试验的识别准确率的平均值、正确调向柚果数和需要调向柚果数的比值分别作为串行试验的识别准确率和调向成功率。由表2可知,并行工作模式下,柚果初始姿态识别准确率和调向成功率分别为97.4%、87.5%,平均调向用时为5.20 s,相比串行模式下平均用时8 s,并行模式工作效率提升35%。

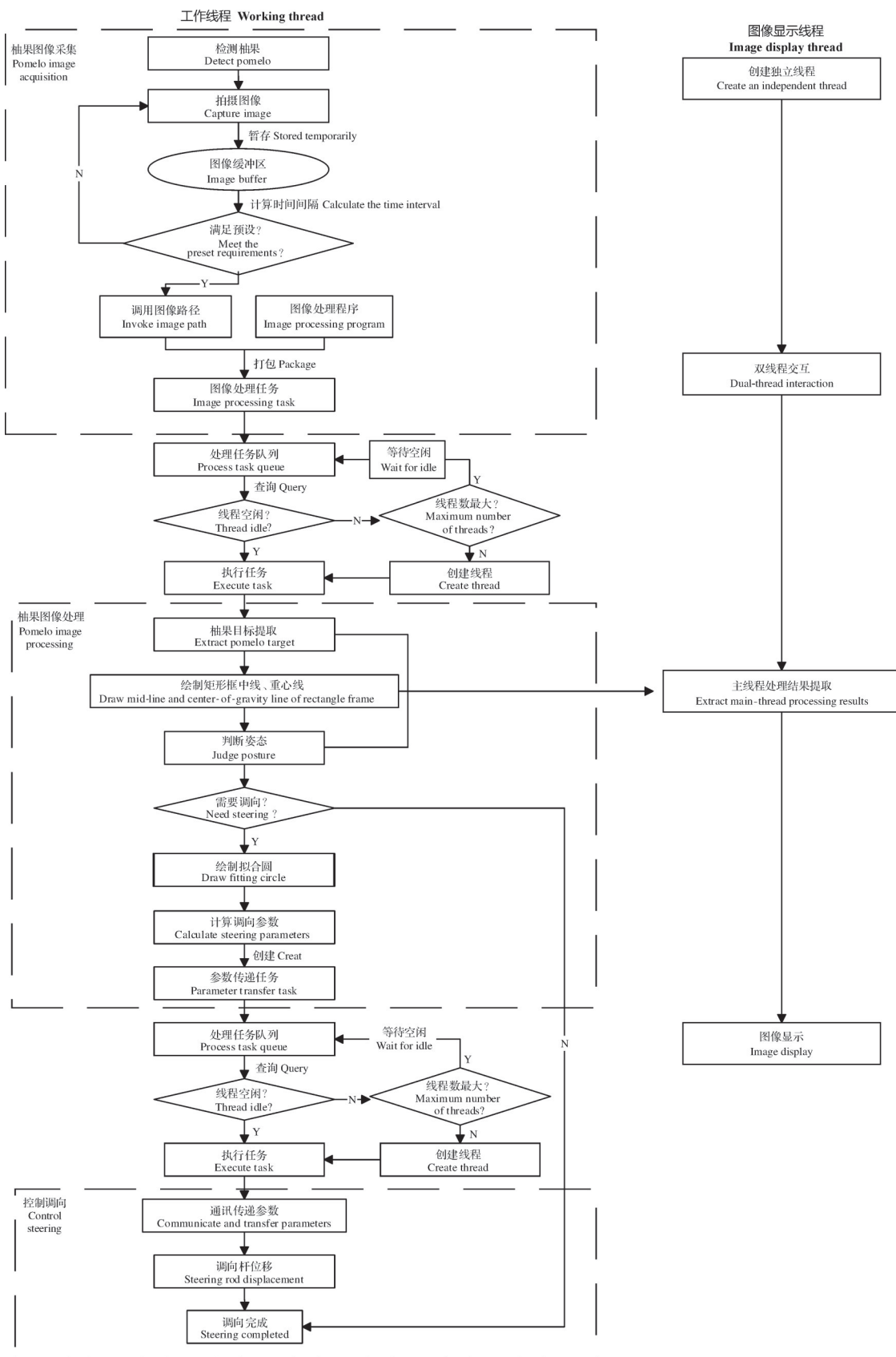


图4 单个柚子调向的程序工作流程图

Fig. 4 Workflow diagram of the program for adjusting the orientation of a single pomelo

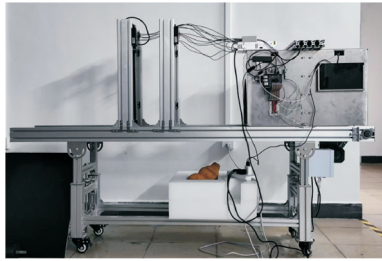
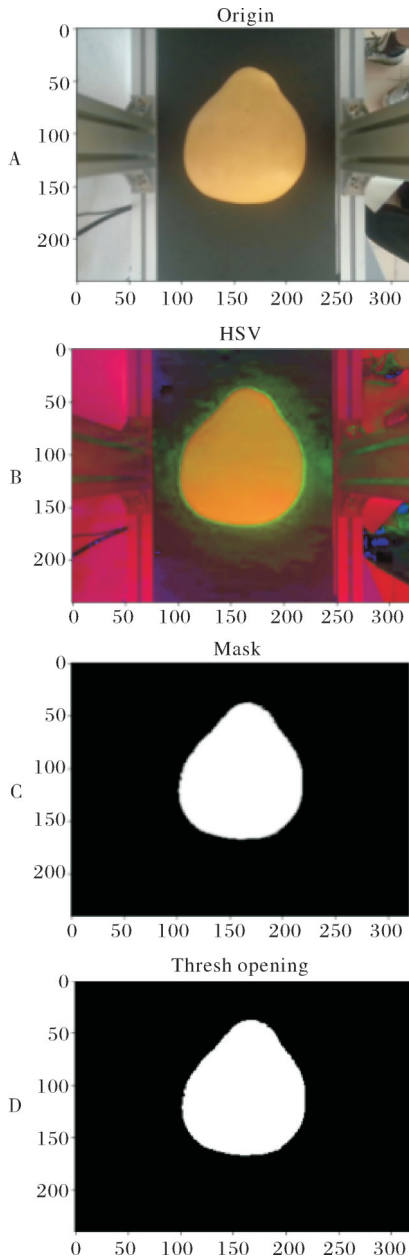


图 5 自动调向试验装置

Fig. 5 Automatic steering test device for pomelo



A: 原始图像 Original image; B: HSV 颜色空间图像 HSV color space image; C: 二值掩码 Binary mask; D 提取图像 Extract the image of the pomelo.

图 6 目标提取结果

Fig. 6 Target extraction result

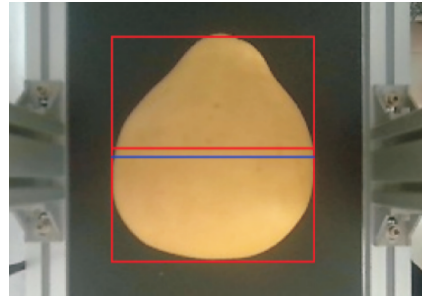


图 7 姿态判断程序处理结果

Fig. 7 Attitude judgment program processing results



图 8 柚果等效圆

Fig. 8 Equivalent circle of pomelo

3 讨论

针对柚类加工行业在调向环节缺乏成熟的自动调向技术方法及设备,调向和上料仍依靠劳动强度大、生产成本低、生产效率低的传统人工来进行的问题,本研究提出了一种利用机器视觉对柚果进行自动调向的方法,装置通过控制程序和机械模块协同,拍摄待测图像;识别初始姿态;计算、传递尺寸参数;控制机械结构进行自动调向作业。

本研究选用广东地区沙田柚为研究对象,以设备对柚果的姿态识别准确率和调向成功率为评价指标,进行串行模式和并行模式试验。在串行模式下,柚果初始姿态识别准确率和调向成功率分别为 93.3%、82.6%,单个柚果调向周期为 8 s,达到装置正常工作标准;为提高工作效率,在串行工作模式的基础上,分析单调向周期内各阶段用时,提出流水线式的并行工作模式,该模式下,初始姿态识别准确率和调向成功率分别为 97.4%、87.5%,平均调向用时为 5.20 s,较串行工作模式工作效率提升 35%,符合工业加工环境下的基本作业需求。

本研究提出的方法虽实现了柚果调向环节的自动控制,有效提高了工作效率,但存在以下不足:装置目前搭载的程序仅使用沙田柚进行了试验与验证,对于其他柚类品种是否适用仍有待验证;需要在

表1 串行模式测试结果

Table 1 Results of the serial mode tests

组号 Group	初始姿态 Initial orientation	需要调向 Steering required	正确识别 Correct identification	正确调向 Correct steering	模块用时/s Module time		
					捕获 Capture	处理 Processing	通讯 Communication
1	7 尖端3 圆端 7 tip 3 round	7	9 (90%)	5 (71.4%)	1.48	0.10	0.47
2	7 尖端3 圆端 7 tip 3 round	7	10 (100%)	6 (85.7%)	1.44	0.10	0.47
3	9 尖端1 圆端 9 tip 1 round	9	9 (90%)	8 (88.9%)	1.46	0.17	0.47
结果 Result	23 尖端7 圆端 23 tip 7 round	23	93.3%	82.6%	1.45	0.09	0.48

表2 并行模式测试结果

Table 2 Results of the parallel mode tests

组号 Group	初始姿态 Initial orientation	正确识别 Correct identification	正确调向 Correct steering	平均调向用时/s Average time for orientation adjustment
1	10 尖端2 圆端 10 tip 2 round	12 (100%)	9 (90%)	5.00
2	10 尖端 10 tip	10 (100%)	9 (90%)	6.00
3	12 尖端1 圆端 12 tip 1 round	12 (92.3%)	10 (83.3%)	4.61
结果 Result	32 尖端3 圆端 32 tip 3 round	97.4%	87.5%	5.20

今后的研究工作中优化和更新控制程序以及调向结构,提高识别准确率与调向成功率。

参考文献 References

- [1] 李靛,朱涵彬,李长滨,等. 柚子加工产品应用研究进展[J]. 饮料工业, 2020, 23(5): 70-73. LI J, ZHU H B, LI C B, et al. Research progress of pomelo processing products[J]. Beverage industry, 2020, 23(5): 70-73 (in Chinese with English abstract).
- [2] LIU Z X, YANG Q Z, CAO L, et al. Synthesis and application of porous carbon nanomaterials from pomelo peels: a review[J/OL]. Molecules, 2023, 28(11): 4429 [2025-02-20]. <https://doi.org/10.3390/molecules28114429>.
- [3] 周森林. 混菌发酵柚子柠檬葛根复合果醋的研制及其减脂作用研究[D]. 成都: 成都大学, 2024. ZHOU S L. Research on the preparation and lipid-lowering effect of mixed bacterial fermentation of pomelo, lemon, and kudzu root composite fruit vinegar[D]. Chengdu: Chengdu University, 2024 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张珊. 柚子汁产品质量控制研究[D]. 广州: 暨南大学, 2021. ZHANG S. Quality control of pomelo juice[D]. Guangzhou: Jinnan University, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [5] 秦小婷, 杨超然, 司靖宇, 等. 添加超微粉碎联合发酵制备的高品质柚子副产物膳食纤维的强化酸奶研究[C]//中国食品科学技术学会第二十届年会论文摘要集. 长沙: [s.n.], 2023: 600-601.
- [6] 陈嘉佳. 柚子海绵层可溶性膳食纤维的制备、结构表征及其益生机制研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2023. CHEN J J. Extraction, structural characterization and probiotic mechanism of soluble dietary fiber from the pomelo spongy layer [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [7] 梁梦瑶. 全自动柚子包装生产线调向机的设计与研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2023. LIANG M Y. Design and research of automatic grapefruit packaging line redirection machine [D]. Nanchang: Nanchang University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李延苓, 黄志平, 张国全, 等. 柚子包装前端姿态调整方式的研究[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(4): 34-37. LI Y L, HUANG Z P, ZHANG G Q, et al. Research on the method of controlling front-end attitudes of grapefruit packaging[J]. Packaging and food machinery, 2013, 31(4): 34-37 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李如虎. 全自动柚子包装生产线的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011. LI R H. Research on automatic grapefruit packaging production line [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李春雨, 郭肖琴, 杨晶晶, 等. 基于深度学习的水果图像识别[J]. 中国农机化学报, 2025, 46(1): 198-203. LI C Y, GUO X Q, YANG J J, et al. Fruit image recognition based on deep learning [J]. Journal of Chinese agricultural mechanization,

- 2025,46(1):198-203 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李辉,张俊,俞烁辰,等.基于深度学习的类球状水果采摘识别算法研究进展[J].果树学报,2025,42(2):412-426. LI H, ZHANG J, YU S C, et al. Research progress in globular fruit picking recognition algorithm based on deep learning[J]. Journal of fruit science, 2025, 42(2): 412-426 (in Chinese with English abstract).
- [12] YU Y, LIU Y C, LI Y J, et al. Object detection algorithm for citrus fruits based on improved YOLOv5 model[J/OL]. Agriculture, 2024, 14(10): 1798 [2025-02-20]. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101798>.
- [13] 沈希臻,陈儒敏.基于改进YOLOv3的病虫害识别算法研究[J].智能计算机与应用,2025,15(2):85-90. SHEN X Z, CHEN R M. Research on pest identification algorithm based on improved YOLOv3[J]. Intelligent computer and applications, 2025, 15(2): 85-90 (in Chinese with English abstract).
- [14] 吴六爱,许雪珂.基于改进YOLOv10n的轻量化番茄叶片病虫害检测方法[J].智慧农业,2025,7(1):146-155. WU L A, XU X K. Lightweight tomato leaf disease and pest detection method based on improved YOLOv10n[J]. Smart agriculture, 2025, 7(1): 146-155 (in Chinese with English abstract).
- [15] LUO W B. Pest-YOLO: a YOLOv5-based lightweight crop pest detection algorithm[J]. International journal of engineering and technology innovation, 2024, 15(1): 11-25.
- [16] 刘思雨. 纽荷尔脐橙负载量分级和产量气象预测模型构建研究[D]. 重庆:西南大学,2024. LIU S Y. Study on load classification and yield meteorological prediction model of Newhall navel orange [D]. Chongqing: Southwest University, 2024 (in Chinese with English abstract).
- [17] 郭文锋. 基于深度学习的粮食产量预测模型研究[J]. 现代农业科技, 2024(24): 197-200. GUO W F. Research on grain yield prediction model based on deep learning[J]. Modern agricultural science and technology, 2024(24): 197-200.
- [18] 季洪霄,许峰.基于灰色系统模型的水果产量预测[J].科技展望,2015,25(21):235-236. JI H X, XU F. Fruit yield prediction based on grey system model[J]. Science and technology, 2015, 25(21): 235-236 (in Chinese).
- [19] 段玉龙. 蔗种植定向控制系统的设计与研究[D]. 桂林:桂林理工大学,2023. DUAN Y L. Design and research on the directional control system for sugarcane seed planting [D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [20] 郑昕萌. 甘蓝采后修整系统自动调向装置的设计与研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020. ZHENG X M. Design and research of automatic orientation device for post-harvest cabbage trimming system [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李超. 便于图像识别定向技术应用的大蒜气吸式排种器的试验研究[D]. 淄博:山东理工大学,2022. LI C. Experimental study on garlic air-suction seed metering device for image recognition and orientation technology application [D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2022 (in Chinese with English abstract).
- [22] LI Y H, WU Y Q, LI T H, et al. Design and experiment of adjustment device based on machine vision for garlic clove direction [J/OL]. Computers and electronics in agriculture, 2020, 174: 105513 [2025-02-20]. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105513>.
- [23] 陈翔. 基于HSV空间模型的阴影去除方法研究[J]. 信息技术与信息化,2022(4):84-87. CHEN X. Research on shadow removal method based on HSV color space model[J]. Information technology and informatization, 2022(4): 84-87 (in Chinese).
- [24] 李更新,臧传江,赵湘江,等.基于HSV的烤烟叶片青杂检测研究[J].农学学报,2024,14(11):1-6. LI G X, ZANG C J, ZHAO X J, et al. Green impurity detection of flue-cured tobacco leaf based on HSV[J]. Journal of agriculture, 2024, 14(11): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- [25] 刘翠,刘光杰,王政军,等.基于HSV的多特征融合目标跟踪算法[J].计算机仿真,2023,40(1):195-199. LIU C, LIU G J, WANG Z J, et al. Multi-feature fusion target tracking algorithm based on HSV[J]. Computer simulation, 2023, 40(1): 195-199 (in Chinese with English abstract).
- [26] YU C Z, WU W H, ZHENG J, et al. A multi-stage adaptive otsu thresholding algorithm for pore segmentation in rock thin-section images[J/OL]. Earth science informatics, 2025, 18(2): 239 [2025-02-20]. <https://doi.org/10.1007/s12145-025-01716-0>.
- [27] 张子航,张秀珩,李岩.基于Modbus的GCAN PLC与S7-300通讯系统[J].工业控制计算机,2024,37(8):46-48. ZHANG Z H, ZHANG X H, LI Y. GCAN PLC based on Modbus and S7-300 communication system [J]. Industrial control computer, 2024, 37(8): 46-48 (in Chinese with English abstract).
- [28] 史先传,张本阳,卢鸿运,等.基于Modbus RTU协议的多传感器数据采集系统设计[J].仪表技术与传感器,2024(7):46-50. SHI X C, ZHANG B Y, LU H Y, et al. Design of multi-sensor data acquisition system based on modbus RTU protocol[J]. Instrument technique and sensor, 2024(7): 46-50 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张志文. Modbus-RTU通讯协议在油田物联网建设中的研究与应用[J].油气田地面工程,2024,43(10):68-74. ZHANG Z W. Research and application of Modbus-RTU communication protocol in the construction of oilfield Internet of Things [J]. Oil-gas field surface engineering, 2024, 43(10): 68-74 (in Chinese with English abstract).

Design and test of an automatic alignment device for pomelos based on machine vision

ZHOU Lefan¹, LI Zhen^{1,2}, JIN Qingting¹, LÜ Shilei^{1,2}, FENG Wanmei^{1,2}

1. *College of Electronic Engineering (College of Artificial Intelligence), South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;*

2. *Mechanization Research Laboratory of the National Citrus Industry Technology System, Guangzhou 510642, China*

Abstract An automatic alignment device for pomelos based on machine vision was designed to achieve fully automatic alignment of pomelos to reduce costs, increase efficiency, and set free manpower. A camera and infrared sensors were used in conjunction to capture images. OpenCV was used to write an image processing program for determining the alignment of pomelos and simplifying shape calculation of alignment parameters to complete the task of controlling the planar motion of pomelos and achieve a unified alignment to leave the device through the aligning rod. The designed device was tested on *Citrus maxima* (Shatian pomelo) in Guangdong region. The results showed that the device achieved the accuracy rate of initial posture recognition and the average rate of successful alignment for Shaddock pomelo in the serial and parallel operation mode was 93.3% and 82.6%, and 97.4% and 87.5%, respectively. The average operation time for the program to align pomelos in the parallel operation mode was 5.20 s. It is indicated that the automatic alignment device designed for pomelos can accurately identify the pomelos that need to be aligned, and efficiently carry out the task of aligning pomelos. It will provide a feasible solution for automatic alignment of pomelos.

Keywords pomelo ; machine vision ; image recognition ; automatic alignment

(责任编辑:葛晓霞)