

槟榔自动切片机图像识别及切片轨迹方法研究

黄良沛^{1,2}, 何友缘¹, 杨天龙^{2,3}

(1. 湖南科技大学 机电工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学机械设备健康维护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201;

3. 湖南科技大学深海深地矿产资源开发技术与装备教育部工程研究中心, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 槟榔外轮廓识别和切片轨迹确定是实现槟榔自动切片的关键, 为此提出一种基于S单分量图像来识别槟榔外轮廓, 通过切片长度和高度阈值并结合权重评分选取最优切片轨迹的方法。首先将红-绿-蓝(Red-Green-Blue, RGB)颜色空间的彩色图像进行滤波处理再转换至色调-饱和度-明度(hue-saturation-value, HSV)颜色空间, 分离出S单分量图像, 进行大津算法(nobuyuki otsu, Otsu)图像阈值分割; 再结合形态学操作和漫水填充算法去除二值图中干扰噪点, 最后绘制槟榔外轮廓、最小外接矩形和计算切片轨迹。实验结果表明, 该图像处理方法能完整地获得槟榔轮廓, 耗时少准确率高, 按照切片轨迹对槟榔果进行切割测量后, 平均误差为0.3 mm, 证明了切片轨迹算法的可行性。

关键词: 槟榔切片; S单分量图; OTSU 图像分割; 漫水填充算法; 切片轨迹算法

中图分类号: TP391.413; TP18 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)05-0135-06

Research on Image Recognition and Slice Trajectory Method for Betel-nut Automatic Slicing

HUANG Liang-pei^{1,2}, HE You-yuan¹, YANG Tian-long^{2,3}

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201 China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201 China;

3. Engineering Research Center of Mineral Resources Development Technology and Equipment for Deep Sea and Deep Earth, Ministry of Education, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201 China)

Abstract: The recognition of betel-nut contour and the determination of slice trajectory are the key to realize automatic betel-nut slicing. Therefore, a method based on S single component image to identify the outer contour of betel-nut is proposed, and the optimal slice trajectory is selected through slice length and height threshold combined with weight score. First, it filters the red-green-blue (RGB) color image and convert it to hue-saturation-value (HSV) color space, separates the S single component image, performs nobuyuki otsu (Otsu) image threshold segmentation processing. Then combined with morphological operations and flood filling algorithm to remove interference noise in the binary image. Finally it draws outer contours, minimums bounding rectangles and slices trajectories. The experimental results show that the image processing method can completely obtain betel-nut contour with less time and high accuracy, after cutting the betel-nut according to the slicing trajectory, the average error is 0.3 millimeter, it proves the feasibility of slicing trajectory algorithm.

Keywords: betel-nut slicing; S single component image; OTSU image millimeter segmentation; flood filling algorithm; slicing trajectory algorithm

0 引言

在食品槟榔制作流程中, 切割槟榔片是一个关键步骤, 它的技术水平直接决定了槟榔产品的外观和品质。

*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52075163); 湖南省自然科学基金与湘潭市科技局联合资助项目(2021JJ50117); 湖南省自然科学基金与株洲市科技局联合资助项目(2021JJ50008); 湘潭市科技计划重点项目(CG-ZD20211007)

收稿日期: 2023-08-07

目前, 在槟榔切片工序中仍然以人工手持刀具进行剖切的方式为主, 效率低下、费时费力。市场上出现了部分基于机械定位的槟榔切片机。其中陈阳等^[1]设计了一台由料斗、托盘、组合刀盘、冲头组合而成的机械结构, 利用气缸带动冲头进行上下冲压动作对槟榔进行切片。张西成等^[2]介绍了一种由组合式转筒和上下组合刀具相结合的设备, 能够对槟榔进行均匀切片和去核。黄新恒^[3]设计了一种槟榔等分切片的机器。由上述研究成果可知, 现有

的设备对于槟榔都采用类似于V形槽或类似槟榔轮廓的凹槽等方法来实现定位。由于槟榔个体差异极大,定位不准确容易引起槟榔偏切或者漏切等现象。引入机器视觉技术可以有效地解决由于槟榔外形差异引起的定位不准的问题。

目前,国内外利用机器视觉对槟榔的识别主要聚焦于槟榔的筛选分级领域。其中朱泽敏等^[4]提出了通过以16层权重层的深度卷积神经网络为基础再对轮廓进行边缘检测提取出槟榔内核边界曲线的方案。李振亚^[5]对掩膜区域卷积神经网络(mask region-based convolutional neural network, Mask R-CNN)算法加入了改进的卷积块模型进行判断,提高了槟榔分级的准确率。许月明等^[6]通过提取槟榔表面颜色、纹理和形状等特征后,结合主成分分析和支持向量机(support vector machine, SVM)的方法进行槟榔分级,其识别准确率达到90.38%。在与槟榔类似农产品的图像处理识别方面,相关问题国内外有着丰富的研究。王瑞等^[7]提出了包含10个人工设计的属性以及基于主成分分析的无监督卷积神经网络(principal component analysis network, PCA-Net)的深度学习属性的综合方案,并利用神经网络与支持向量机的组合来实现猕猴桃水果的精确辨识。成功地在自然环境中进行了猕猴桃水果的精准识别。此外,王晓锋及其团队^[8]也对叶子的形态特征进行了分类处理,从而能够迅速识别出二十余种不同类型的植物叶子,整体识别率达到了92%。张青等^[9]则使用低频椭圆傅里叶系数作为特征参数,再用支持向量机对其进行训练,构建了一个草莓形状等级划分模型。

本文主要是采用图像处理技术对基于机器视觉自动切片系统中对槟榔果的识别处理。将槟榔果与输送带进行图像分割,识别并提取出槟榔果的外轮廓进行外形参数计算,获取基于切片长度值和背高值的最优切片轨迹,为自动切片机提供切片所需参数,旨在为提升槟榔切片工艺和突破基于机器视觉的槟榔切片机的关键技术提供参考。

1 图像分割和识别算法

本研究提出了针对槟榔鉴别的算法框架,具体过程可以参考图1。我们先使用工业级摄像头捕捉到的彩色图片进行过滤操作,再把RGB图像转为HSV色彩模式,随后提取出S单一通道图像并应用Otsu方法进行像素阈值划分。再运用图像形态学与漫水填充技术消除划定阈值后二进制图像中的空洞及小型连续区域,从而获得无污染且完整的二进制图像。最后,再用边缘检测算法确定轮廓位置,绘制出外部轮廓线及其最小外接正方形。对于被识别出来的槟榔照片,分别做标记并且计算它的形状特征和切片路径。

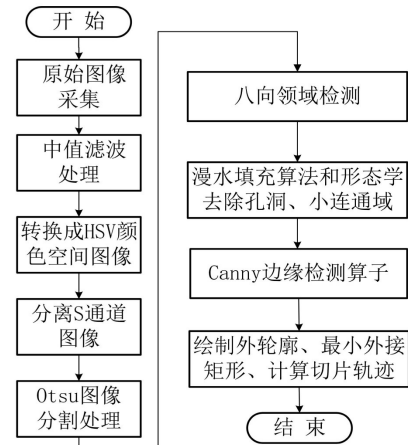
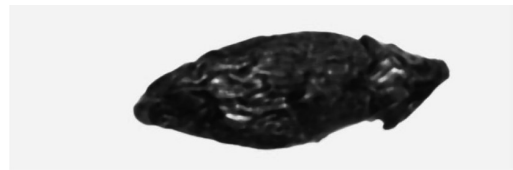


图1 识别算法流程图

1.1 图像中值滤波处理



(a) 原始图像



(b) 中值滤波处理后图像

图2 原始图像与滤波处理图像

由槟榔自动切片机的图像采集系统所采集图像如图2(a)所示。然而,因槟榔果的外观存在高低起伏,导致了照片上的明暗交错,这对于后期的图像处理造成了困扰。因此,需要通过过滤的方式去除这些影响因素。其中,中值滤波作为一种既简便又适用于各种情况的方法,它的核心原理就是使用相邻像素点的平均灰度值替换目标像素点的数值,使周边像素更接近平均真实值以剔除独立的噪音点。具体公式为:

$$\begin{cases} P(i, j) = \text{Median} \{f(i-m, j-m)\} \\ m = 3, 5, 7, \dots \end{cases} \quad (1)$$

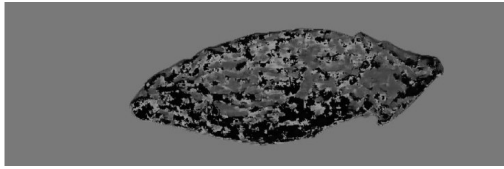
式中: $P(i, j)$ 是处理后图像在点 (i, j) 的灰度值; $f(i, j)$ 是原始图像灰度值。

通过中值滤波处理,我们可以观察到处理后图像,如图2(b)所示。对槟榔果表面的不平滑特性进行了模糊化和平滑处理。这种方式同时保护了图像边缘信息,也降低了后续图像处理的复杂度。

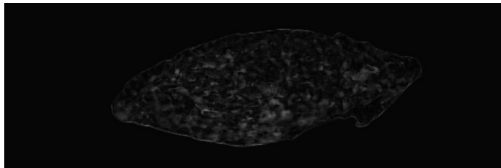
1.2 色彩空间通道转换与分离

在图像处理中,HSV模型以色调、饱和度和亮度三个维度来描述颜色^[10]。因为槟榔果和白色的输送带颜色差

异明显、辨别度高,可以基于HSV颜色模型进行分析。因此,本文基于相机捕获的RGB初始图像,将其转化为HSV颜色空间进行分离和处理。在HSV颜色空间中,各单通道分量图如图3展示,颜色空间转换公式如下:



(a) H分量图



(b) S分量图



(c) V分量图

图3 HSV颜色空间各分量图

$$\begin{cases} m = \text{Max}(r, g, b) \\ n = \text{Min}(r, g, b) \end{cases} \quad (2)$$

$$h = \begin{cases} 0, m = n \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{m-n}, m = r, g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{m-n} + 360^\circ, m = r, g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{m-n} + 120^\circ, m = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{m-n} + 240^\circ, m = b \end{cases} \quad (3)$$

$$s = \begin{cases} 0, m = 0 \\ 1 - \frac{n}{m}, m \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$v = m \quad (5)$$

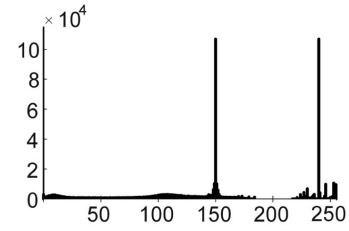
式中: r, g, b 代表RGB模型中的红色分量、绿色分量、蓝色分量; h, s, v 代表HSV模型中色调、饱和度、亮度。

图4是对H、S、V三个单通道分量进行灰度直方图统计,可以看出H、S通道图像相比于V通道图像干扰更小,S通道图像相比H通道图像的两个波峰对应的横坐标差值更大且S通道图像灰度值的集中区域更靠近暗色区域,即背景色为黑色,便于后续的图像分割处理。综合考虑,选择S通道图像为后续处理的基础图像。

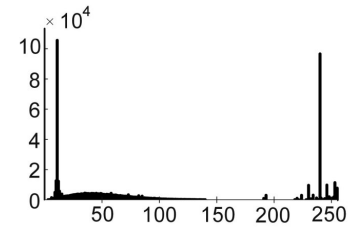
1.3 图像分割与识别

1.3.1 OTSU 阈值分割

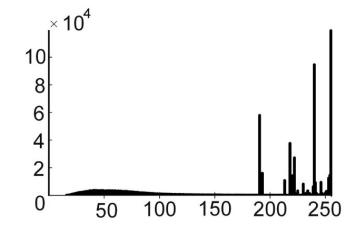
经过上述图像处理,采用Otsu分割算法对S单通道图像进行阈值分割。Otsu算法即大津法又称作最大类间方差法^[11],是一种阈值分割的经典算法。



(a) H分量直方图



(b) S分量直方图



(c) V分量直方图

图4 HSV颜色空间各分量灰度直方图

由于图像背景与前景之间差异越大,其方差就会增大。因此,使得两个不同类的区域的方差越大,二者区域被分割得越准确。这就是使用最大类别间方差原则去确定图像切割点。根据Otsu分割法对S单一颜色图片进行了阈值划分后得到的结果,如图5所示。

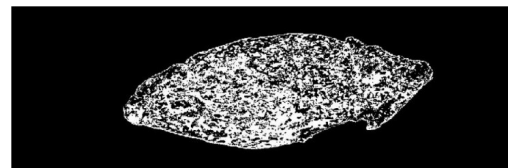


图5 Otsu法阈值分割后图像

1.3.2 去除孔洞及小连通域

漫水填充算法是一种常用的图像填充算法,应用广泛。其原理是选取一个像素作为初始种子点,当邻域内与种子像素值差值在一定范围内时,则为是同一区域,对其进行颜色填充,直到图形边界^[12]。算法涉及的参数主要有3个:初始种子、判定条件、填充颜色。其步骤如下:(1)选择初始种子点;(2)自动搜索种子点的邻域。通过种子点像素与邻域内的像素的绝对差值与设定的阈值相比较,判定是否属于同一连通域;(3)对满足判定条件的连通域进行填充设定的颜色。利用漫水填充算法对图像内部

小连通域进行填充之后,由于槟榔表面凹凸不平,仍然还有小部分孔洞的存在,所以需要利用图像形态学做进一步处理。

本文主要采用封闭计算方法,即将图像首先扩张后接着进行腐蚀处理,这样既可以消除图像中小型空洞并使边缘变得光滑,同时又不影响整体图像区域的大小。从图6中可以看到,融合了漫水填充技术与形态学封闭计算的方法成功消除了图像内的孔洞和小连接区,从而生成了一幅清晰的二进制图像,这有助于进一步提取图像特征与计算。



图6 去除孔洞及小连通域后图像

1.3.3 轮廓识别与提取

在图像处理过程中有多种边缘检测算子可供选择,主要有罗伯茨(Roberts)算子、索贝尔(Sobel)算子、坎尼(Canny)算子等^[13]。由于Canny算子在边缘增强以及边缘检测方面性能较为优异,对图像平滑和图像去噪能力较强。综合考虑,本文采用Canny边缘检测算子对图像进行轮廓边缘的检测,由如图7可知,提取到的图像轮廓边缘清晰且连续。利用开源计算机视觉库(open source computer vision library, Open CV)中相应函数,通过设定轮廓面积阈值和轮廓周长阈值去除多余干扰轮廓,其干扰轮廓主要来源于输送皮带表面上附着的槟榔表皮的糖胶从而形成的斑点轮廓。最终在原图上绘制出提取到的轮廓边缘和槟榔果的最小外接矩形,如图8所示。

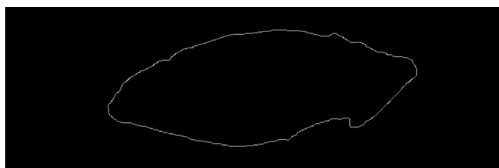


图7 Canny算子边缘检测图像

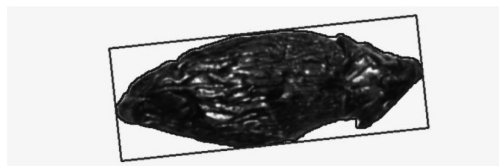


图8 槟榔轮廓识别图像

2 槟榔果切片轨迹选取算法

由于槟榔切片直接影响成品的质量,尤其是槟榔的背高和切片截面长度直接影响成品质量和食用者的口感。故其切片算法主要涉及的参数便是背高上下限值、

切片长度上下限值等。算法步骤如下:

(1) 通过上述图像识别后得到其外接最小矩形,由式(6)–式(10)可计算出槟榔长、宽和中心轴线点G、E坐标。为了成品槟榔保留槟榔头部和尾部,所以对头尾部分别按照占槟榔全长的10%和20%的距离进行平移得到头部分分析线和尾部分分析线,取头部分分析线上槟榔中点,按设定的偏移量,获得A点和D点。取尾部分分析线上槟榔中点,按取点的像素比例,获得C点和B点,如图9所示。

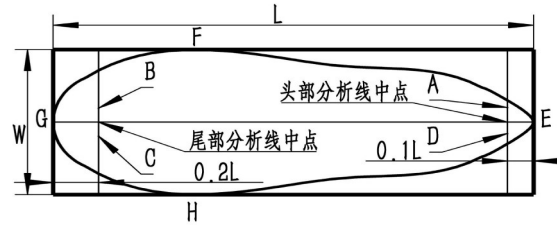


图9 获取头尾分析线上偏移点

$$L = \text{Max} \left(\sqrt{(x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2} \right) \quad (6)$$

$$W = \text{Min} \left(\sqrt{(x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2} \right) \quad (7)$$

$$y_n = f(x_n) \quad (8)$$

$$\begin{cases} x_0 = \text{Min} \left(\frac{x_n + x_m}{2} \right) \\ (x_0, y_0) = (x_0, f(x_0)) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_5 = \text{Max} \left(\frac{x_n + x_m}{2} \right) \\ (x_5, y_5) = (x_5, f(x_5)) \end{cases} \quad (10)$$

式中: L 、 W 分别为外接矩形的长度和宽度; (x_0, y_0) 和 (x_5, y_5) 为外接矩形的轴线两端点G、E坐标; (x_n, y_n) 、 (x_m, y_m) 分别为矩形的四个顶点坐标,且 n 不等于 m ;函数 $f(x)$ 为槟榔外轮廓曲线函数。

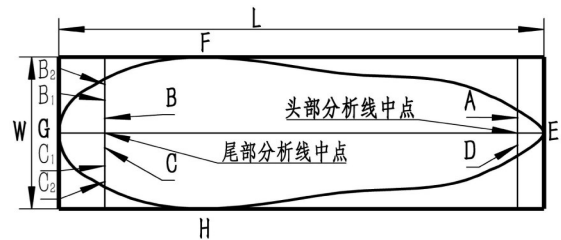


图10 获取B、C偏移点

(2) B点在尾部分分析线上,按设定像素间距生成 B_1 、 B_2 点,直至取到槟榔轮廓线上,C点同理,生成 C_1 、 C_2 点,如图10所示。

(3) 以A点为初始点,分别连接尾部分分析线上的 B_1 、 B_2 ,获得 AB_n 线,由公式11、公式12计算每条 AB_n 线的切线长度和背高值,所有 AB_n 线组成的集合即A集合,同理生成 DC_n 线集合即D集合。如图11、图12所示。

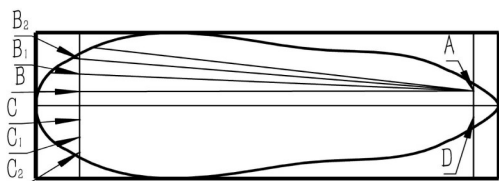


图11 获取A集合线

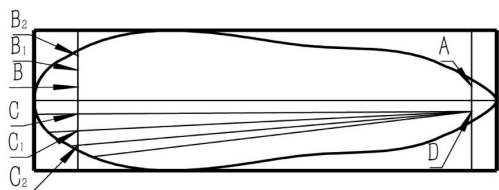


图12 获取D集合线

$$\begin{cases} l = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \\ l \leq \delta \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} h = \frac{|(y_B - y_A)x_F + (x_A - x_B)y_F + (x_B y_A - x_A y_B)|}{\sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_A - x_B)^2}} \\ h \leq \mu \end{cases} \quad (12)$$

式中, l 为切长值; h 为背高值; (x_A, y_A) 为 A 点坐标; (x_B, y_B) 为 B 点坐标; (x_F, y_F) 为 F 点坐标; δ 为切长上限值, μ 为背高上限值。

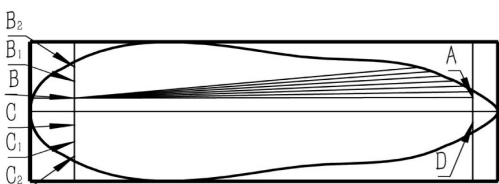


图13 获取B集合线

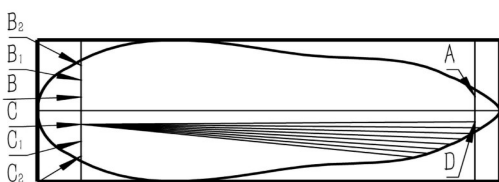


图14 获取C集合线

(4) 以 B 点位圆心, BA 线以间隔为 2° 旋转, 获得 BA 线, 计算 BA 线的切线长度和背高值。当切线长度小于切长下限时, BA 线停止旋转选取, 所有的 BA 线, 组成 BA 线集合。同理, 生成 B_1A 线集合、 B_2A 线集合、 CD 线集合、 C_1D 线集合、 C_2D 线集合。以 B 、 B_1 、 B_2 点旋转的预选线集

为 B 集合, 以 C 、 C_1 、 C_2 点旋转的预选线集为 C 集合。如图 13、图 14 所示。

(5) 针对背高小于 8 mm 或高于 14 mm 、切长小于 38 mm 或高于 66 mm 的预选线进行剔除, 对余下的预选线集合进行分组, 即 $A+D$ 、 $A+C$ 、 $D+B$ 、 $B+C$ 四种组合集合, 利用权重算法分别对切长值与背高值进行评分, 切长权重评分表和背高权重评分表分别如表 1、表 2 所示。选取其中综合分数最高的两组预选线为切片轨迹线, 进行切片。

表1 切长权重评分表

切线长度/mm	切线长度权重分	切线长度/mm	切线长度权重分
38	100	54	112
40	104	56	110
42	107	58	107
44	110	60	104
46	117	62	100
48	120	64	95
50	118	66	85
52	115		

表2 背高权重评分表

背高/mm	背高权重分	背高/mm	背高权重分
8.0	40	11.5	75
8.5	45	12.0	78
9.0	50	12.5	80
9.5	62	13.0	50
10.0	65	13.5	45
10.5	68	14.0	40
11.0	71		

3 实验与分析

实验程序基于 Microsoft Visual Studio 2010 集成开发环境, 采用 $C\#$ 与 $C++$ 语言混合编程实现, 结合 OpenCV 库进行图像处理。分别对 20 颗不同大小和不同姿态的槟榔果进行识别验证, 其中部分识别结果如图 15 所示。其每个槟榔果的平均识别时间为 0.13 s , 识别成功率为 100% 。

由图 16 可知, 槟榔果切割前的长度为 52.5 mm , 宽度为 25.2 mm 。第一刀切长为 52.46 mm , 背高为 11.45 mm , 切长权重分数、背高权重分数分别为 115 分、 74 分。第二刀的切长为 51.4 mm , 背高为 11.03 mm , 切长权重分数、背高权重分数分别为 112 分、 70 分。



图15 部分槟榔轮廓识别结果

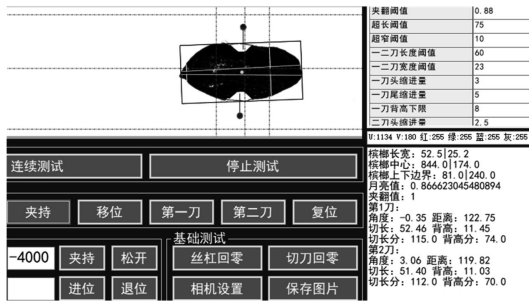
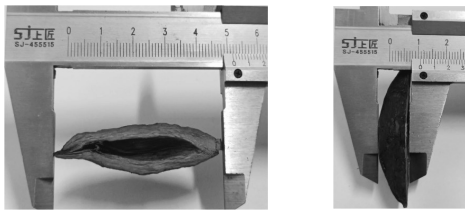


图 16 槟榔切线轨迹识别验证



(a) 切长测量 (b) 背高测量

图 17 测量第一刀切线结果



(a) 切长测量 (b) 背高测量

图 18 测量第二刀切线结果

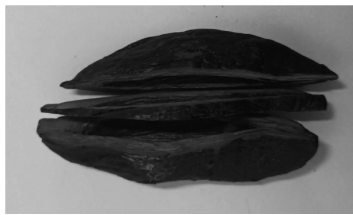


图 19 切割后的槟榔

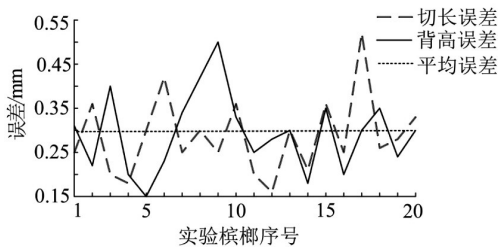


图 20 误差统计曲线

利用图像识别得到的切片轨迹,结合运动控制卡与伺服电机组件,对槟榔果进行切割和测量。如图17、图18、图19所示,第一刀的切长为52.8 mm,背高为11.2 mm;第二刀的切长为51.3 mm,背高为10.5 mm。两刀实际结果与切长识别结果平均误差为0.22 mm,背高平均误差为0.39 mm。如此对20颗不同槟榔进行重复实验,其误差统计数据曲线如图20所示。通过计算得知:切长平

均误差为0.3 mm,背高平均误差为0.28 mm。

4 结束语

为了能够准确地把槟榔轮廓特征从图像中分割提取出来,提出以图像S分量为基础,采用Otsu方法进行阈值分割并结合形态学和漫水填充算法进行图像处理,采用Canny边缘算子识别槟榔轮廓的方法和基于权重打分的切片轨迹的算法。实验结果表明:图像识别算法在识别成功率和耗时方面效果良好,准确率能达到100%,平均每颗槟榔耗时0.13 s。按照切片轨迹算法选取的切片轨迹与实际切除后的槟榔误差在0.3 mm左右,满足槟榔加工企业的需求。为了减少误差,后续可以提高视觉系统的标定精度。该图像识别方法同样也可应用于槟榔分选工序中,利用图像识别的结果对槟榔进行分级处理。本文旨在为突破基于机器视觉的槟榔切片机的关键技术提供参考,切片算法仍有一定的局限性。比如当对象为个头极小的槟榔果时,切线轨迹与实际结果差异过大,后续可对其进行进一步优化,提高其实用性和稳定性。

参考文献:

- [1] 陈阳,陈致水.食用槟榔切片机的设计[J].湖北农业科学,2012,51(16):3615-3618.
- [2] 张西成,张燕.转筒式槟榔去核切片机的设计[J].农机化研究,2014,36(12):168-171.
- [3] 黄新恒.一种全自动槟榔等分切片机[P].湖南:CN203665570U,2014-06-25.
- [4] 朱泽敏.基于机器视觉感知的槟榔去核检测研究[D].湘潭:湘潭大学,2019.
- [5] 李振亚.融合高分辨率与注意力的槟榔片分级系统研究与实现[D].武汉:湖北工业大学,2021.
- [6] 许月明,蔡健荣,龚莹辉.基于计算机视觉的槟榔分级研究[J].食品与机械,2016,32(8):91-94,102.
- [7] 王瑞.自然场景下猕猴桃识别方法研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2017.
- [8] 王晓峰,黄德双,杜吉祥,等.叶片图像特征提取与识别技术的研究[J].计算机工程与应用,2006(3):190-193.
- [9] 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(1):7-15.
- [10] 彭磊.视觉导航的自主捡球机器人设计与开发[D].南京:东南大学,2019.
- [11] Otsu N.A threshold selection method from grey-level histograms[J].IEEE Trans System.Man Cybernet,1979(SMC-9):62-66.
- [12] 成威.机场跑道异物检测系统算法研究与软件实现[D].北京:北京交通大学,2014.
- [13] 姚河花,田玉,才旦多杰,祝小兰.基于Hough变换的指针式钟表自动识别算法[J].青海大学学报,2022,40(4):69-75.

作者简介:黄良沛(1971-),男,博士,教授,研究方向:复杂机电系统动力学分析与控制、机器视觉与运动控制等方面。