

基于并联机器人的单片装火腿缺陷识别与分拣系统设计

Development of single-piece ham package defect recognition and sorting system based on parallel robot

王银明¹ 张丹²

WANG Yin-ming¹ ZHANG Dan²

(1. 新乡职业技术学院, 河南 新乡 453006; 2. 郑州大学, 河南 郑州 450001)

(1. *Xinxiang Vocational and Technical College, Xinxiang, Henan 453006, China;*

2. Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:目的:提升单片装火腿的分拣效果。方法:以 Delta 并联机器人为基础,结合自动控制、机器视觉等技术,设计搭建了一种能够识别单片装火腿缺陷的分拣系统。建立 2 自由度 Delta 并联机器人的运动学与动力学模型,并对 Delta 并联机器人进行优化设计,还设计了控制系统的组成与图像处理的算法。结果:该系统能够成功识别异物缺陷与折痕缺陷,识别率高达 95%;能够准确、高效地分拣单片装火腿,分拣成功率达到 98%,分拣效率为 160 包/min。结论:该系统可实现单片装火腿识别、抓取、搬运、分拣、剔除的连续化作业。

关键词:并联机器人;单片装火腿;缺陷识别;分拣

Abstract: **Objective:** Improve the sorting effect of single-piece ham package. **Methods:** Combined with automatic control, machine vision and other technologies, a sorting system capable of identifying single-chip ham defects was designed based on a Delta parallel robot. The kinematics and dynamics model of 2-DOF Delta parallel robot was established, and then the Delta parallel robot was optimized. The composition of control system and the algorithm of image processing were designed. **Results:** The system can successfully identify impurities and creases, with the recognition rate of up to 95%. It can also accurately and efficiently sort single-piece ham package, with the sorting success rate of more than 98%, and the sorting efficiency of more than 160 packets per minute. **Conclusion:** The sorting system can real-

ize continuous operation of identification, grasping, handling, sorting and eliminating.

Keywords: parallel robot; single-piece ham package; defect recognition; sorting

分拣作业是食品、医药生产的重要环节,在工业、煤炭等领域也有应用。目前大部分中小企业依然采用人工分拣的方式,不但分拣效率低、劳动强度大,而且容易造成二次污染。因此,学者们采用高精度、高灵活性的并联机器人,并结合自动控制、机器视觉等技术,开发自动分拣系统,替代人工完成复杂的识别、抓取、搬运、装箱等作业^[1-2]。顾涵等^[3]开发了食品分拣系统,最大抓取速度达到 150 次/min,漏抓率小于 0.1%,误抓率小于 0.05%。陈永平等^[4]开发了传送分拣系统,分拣效率可达到 60 个/min,漏抓率小于 0.2%。姚学峰等^[5]基于改进 NURBS 曲线插补算法,将食品分拣机器人的运动时间从 3 230 ms 降低到 3 070 ms。王秋红等^[6]开发了块状食品分拣系统,定位偏差仅为 0.20 mm。包光旋等^[7]开发了智能分拣系统,分拣成功率在 96% 以上,识别率为 100%。陈亚琳等^[8]、贾超广等^[9]分别开发了袋装食品分拣系统,每分钟能够分拣 120 包装袋食品。赵鹏宇等^[10]开发了法兰轴承的分拣系统,识别率在 99% 以上,识别速度为 110 ms 左右。商德勇等^[11]开发了煤矸分拣机器人,大大提高了分拣效率。赵鹏宇等^[12]改进了目标识别算法,该算法的定位精度达到并联机器人的抓取要求。代慧等^[13]为了提高抓取、码放包装物品的精度与稳定性,建立了并联机器人的动力学模型。

目前大多分拣系统针对合格产品进行抓取,视觉系统的作用大多为跟踪定位。而实际上,大多产品都可能

基金项目:河南省就业创业研究课题(编号:豫教[2020]20775);
河南省社会科学界联合调研课题(编号:SKL-2019-2343)

作者简介:王银明,男,新乡职业技术学院讲师,硕士。

通信作者:张丹(1987—),女,郑州大学副教授,硕士。

E-mail: zdxzbzd@zzu.edu.cn

收稿日期:2022-05-11 **改回日期:**2022-09-06

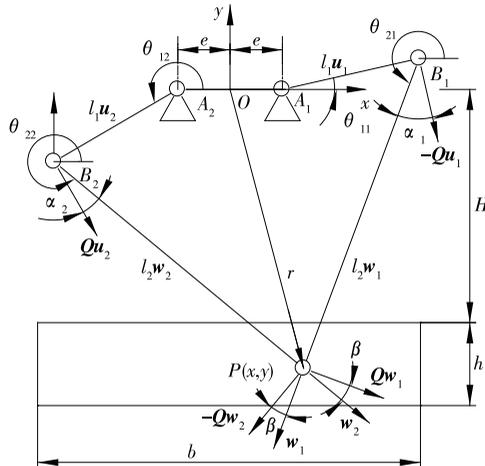
出现残缺品,后续如果重新安排人工分拣进行剔除,分拣效率将大打折扣。由于残缺品的缺陷种类、形状、大小各不相同,识别残缺品的算法比识别合格品的算法复杂很多。程子华^[14]开发了残缺饼干分拣系统,对残缺饼干的识别准确率达到 100%。陈立辛等^[15]基于深度学习的图像处理算法,开发了花生米缺陷分拣系统,对缺陷花生米的识别准确率达到 98.71%,抓取耗时为 0.61 s。饼干、花生米这类食品的缺陷较为简单,而火腿等肉制品因黏度高,容易粘附混入异物,也可能粘附包装导致折痕,因此缺陷识别难度更大,目前尚未出现识别火腿等肉制品缺陷的分拣系统。研究拟基于 Delta 并联机器人,开发一种能够识别单片装火腿缺陷的分拣系统,以期实现单片装火腿识别、抓取、搬运、分拣、剔除的连续化作业。

1 并联机器人数学建模与优化设计

所采用的 Delta 并联机器人是一个结构简单的 2 自由度平面并联机器人,其运动学、动力学特性是分拣系统的关键,直接影响分拣的速度与精度。为了建立运动学和动力学模型,将机构简化为平面 5 杆铰链机构,以 A_1A_2 线段的中点 O 为原点,以 A_1A_2 所在直线为 x 轴,水平向右方向为 x 轴正方向;以垂直于 A_1A_2 的直线为 y 轴,竖直向上方向为 y 轴正方向,建立 xOy 平面坐标系,如图 1 所示。

1.1 运动学模型

首先引入两个向量分别表示末端执行器位置 $r = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 和关节变量 $\theta = \begin{bmatrix} \theta_{1i} \\ \theta_{2i} \end{bmatrix}$ 。给出机器人末端位姿矩阵 r ,求解关节变量 θ ,得到位置逆解方程,如式(1)所示。



e . 主动关节与原点的间距 H . 原点到工作空间的距离 b, h . 工作空间的宽度、高度 l_1, l_2 . 主动臂、从动臂的杆长 u_i, w_i . 主动臂、从动臂的单位向量 θ_{1i}, θ_{2i} . 主动臂杆、从动臂杆与 x 轴的夹角

图 1 Delta 并联机器人简图

Figure 1 Diagram of Delta parallel robot

$$\theta_{1i} = 2 \arctan \frac{-A_i + \operatorname{sgn}(i) \sqrt{A_i^2 - C_i^2 + B_i^2}}{C_i - B_i}, \quad (1)$$

式中:

$$A_i = -2l_1 y;$$

$$B_i = -2l_1 [x - \operatorname{sgn}(i)e];$$

$$C_i = x^2 + y^2 + e^2 + l_1^2 - l_2^2 - 2 \operatorname{sgn}(i)ex;$$

$$\operatorname{sgn}(i) = \begin{cases} 1 & i=1 \\ -1 & i=2 \end{cases}$$

反之,给出关节变量 θ ,求解机器人末端位姿矩阵 r ,得到位置正解方程,如式(2)所示。

$$\begin{cases} x = \frac{-I \pm \sqrt{I^2 - 4GK}}{2G} \\ y = -\frac{F + Dx}{E} \end{cases}, \quad (2)$$

式中:

$$D = -[2e + l_1(\cos\theta_{11} - \cos\theta_{12})];$$

$$E = -l_1(\sin\theta_{11} - \sin\theta_{12});$$

$$F = el_1(\cos\theta_{11} + \cos\theta_{12});$$

$$G = 1 + \frac{D^2}{E^2};$$

$$I = \frac{2DF}{E^2} - 2e - 2l_1 \cos\theta_{11} + \frac{2Dl_1 \sin\theta_{11}}{E};$$

$$K = \frac{F^2}{E^2} + e^2 - l_2^2 + l_1^2 + \frac{2l_1 \sin\theta_{11} F}{E} + 2el_1 \cos\theta_{11}.$$

1.2 动力学模型

假设 Delta 并联机器人为理想运动副,并将动平台、末端执行器和负载的质量全部折算到点 P ,而且忽略从动臂转动惯量,并将其质量按静力等效原则以 1:2 的比例简化到动平台和主动臂两端。结合机器人的结构特点,构建简化刚体动力学模型,如式(3)所示。

$$\tau = \tau_a + \tau_v + \tau_g, \quad (3)$$

式中:

$$\tau \text{—— 驱动力矩, } \tau = (\tau_1 \quad \tau_2)^T;$$

$$\tau_a \text{—— 惯性力矩, } \tau_a = (mJ^{-T} + I_A J) a;$$

$$\tau_v \text{—— 离心力矩, } \tau_v = I_A f;$$

$$\tau_g \text{—— 重力力矩, } \tau_g = m_{ARA} g (\cos\theta_{11} \quad \cos\theta_{12})^T + mgJ^{-T}(0 \quad 1)^T;$$

$$m \text{—— 动平台的等效质量, kg;}$$

$$a \text{—— 点 } P \text{ 的加速度矢量, m/s}^2;$$

$$I_A \text{—— 主动臂(含等效质量)相对于其转轴的转动惯量, kg} \cdot \text{m}^2;$$

$$m_{ARA} \text{—— 主动臂(含肘架和从动臂等效质量)对其转轴的质径积, kg} \cdot \text{m;}$$

$$J \text{—— 雅可比矩阵;}$$

$$f \text{—— 与速度有关的函数, s}^{-2}.$$

1.3 评价指标

由于机构频繁地加速与减速,所以惯性力矩 τ_a 与离

心力矩 τ_v 对驱动力矩 τ 的贡献较大,所以定义惯性项与速度项两类动力学性能评价指标,计算公式:

$$\tau_{aG} = \max_{r \in w_i} \max [\sigma_{a_i \max}(\mathbf{M}_i)]_{i=1,2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\tau_{vG} = \max_{r \in w_i} \max [\sigma_{v_i \max}(\mathbf{N}_i)]_{i=1,2} \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\mathbf{M}_1 = \frac{ml_1^2 \cos \alpha_1 \mathbf{w}_2^T \mathbf{Q}}{I_A \cos \beta} + \frac{\mathbf{w}_1^T}{\cos \alpha_1}, \quad (6)$$

$$\mathbf{M}_2 = \frac{ml_2^2 \cos \alpha_2 \mathbf{w}_1^T \mathbf{Q}}{I_A \cos \beta} - \frac{\mathbf{w}_2^T}{\cos \alpha_2}, \quad (7)$$

$$\mathbf{N}_i = \frac{\mathbf{w}_i^T \mathbf{u}_i \mathbf{w}_i^T + \frac{l_1}{l_2} \mathbf{u}_i \mathbf{u}_i^T}{(\mathbf{w}_i^T \mathbf{Q} \mathbf{u}_i)^3}, \quad (8)$$

式中:

α_i ——链内压力角,°;

β ——链间压力角,°;

\mathbf{Q} ——向量逆时针旋转 $\pi/2$ 的旋转矩阵, $\mathbf{Q} =$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix};$$

l_1, l_2 ——主动臂、从动臂的杆长,mm;

$\mathbf{u}_i, \mathbf{w}_i$ ——主动臂、从动臂的单位向量。

1.4 约束条件

在确定性能评价指标后,需设定几何尺寸约束以保证机构的可装配性。首先,机架上应留有足够空间安装伺服电机,故设定

$$e \geq e_{\min}. \quad (9)$$

为了尽量紧凑,设定工作空间与机构尺寸满足式(10)。

$$b = 2(e + l_1). \quad (10)$$

根据极限位形,设定装配条件满足式(11)。

$$\begin{cases} \sqrt{(H+h)^2 + (b/2+e)^2} - l_2 - l_1 < 0 \\ l_2 - l_1 - H < 0 \end{cases}. \quad (11)$$

为了机构具有良好的运动传递性能, α_i 和 β 在全域工作空间内的最大值应不超过一定上限,引入式(12)与式(13)的运动学性能约束。

$$\alpha_{\max} = \max_{r \in w_i} \max_{i=1,2} (\alpha_i) \leq [\alpha], \quad (12)$$

$$\beta_{\max} = \max_{r \in w_i} \beta \leq [\beta]. \quad (13)$$

1.5 优化设计

为了获得 Delta 并联机器人最优的设计尺寸,基于上述的数学模型,结合评价指标与约束条件,对 Delta 并联机器人进行尺寸优化,该问题实质上是受约束的多目标优化问题,可调用 MATLAB 优化工具箱中的多目标优化算法求解。在满足上述约束条件下,利用 MATLAB 优化工具箱,以 τ_{aG} 与 τ_{vG} 为指标进行多目标优化,寻找 Delta 并联机器人最优设计参数,可得最优解如表 1 所示。当 e 为 0.075~0.150 时,每间隔 0.025 优化一次,每次优化都能收敛,从而获得合适的杆件尺寸,使力矩指标 τ_{aG} 与 τ_{vG} 达到最小,进而为选用小转矩电机奠定基础。不过考虑到一般减速机的实际尺寸,选择 $e = 0.125$ m 的一组最优解作为最优尺寸参数, l_1, l_2, H 的尺寸随之确定。

尺寸优化之后,确定 Delta 并联机器人工作空间 $b \times h$ 为 1.0 m \times 0.25 m,在工作空间内对机器人末端执行器进行路径规划,采取的是 100 mm \times 500 mm \times 100 mm

表 1 优化结果

Table 1 Optimized results

e/m	l_1/m	l_2/m	H/m	$\alpha_{\max}/(^{\circ})$	$\beta_{\max}/(^{\circ})$	$\tau_{aG}/(\text{N} \cdot \text{s}^2)$	$\tau_{vG}/(\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-1})$
0.075	0.425	0.807	0.646	37.12	36.97	2.896	0.966
0.100	0.400	0.872	0.698	38.39	39.98	2.952	1.053
0.125	0.375	0.868	0.677	41.94	40.00	2.967	1.299
0.150	0.350	0.858	0.650	46.75	40.10	2.980	1.766

“门”字型路径,如图 2 所示。按规划好的路径采用修正梯形运动规律以最大加速度 $a_{\max} = 50$ m/s² 进行工作,绘制优化后机器人动平台在水平路径上的角加速度、扭矩、功率随时间变化的曲线,如图 3 所示。由图 3 可知,两个主动臂杆的角速度都是先振荡上行,后振荡下行,变化范围较大,最大角速度 $\dot{\theta}_{\max} = 7.5$ rad/s;而扭矩则都是先振荡下行而后振荡上行,变化范围较小,最大扭矩 $\tau_{\max} = 116.9$ N \cdot m;功率 P 为扭矩与角速度的乘积,与角速度变化规律基本一致,也是先振荡上行,后振荡下行,最大功率 $P_{\max} = 740$ W。最大扭矩与最大功率数值都不大,由此可知优化结果良好。根据以上角速度、扭矩、功率结

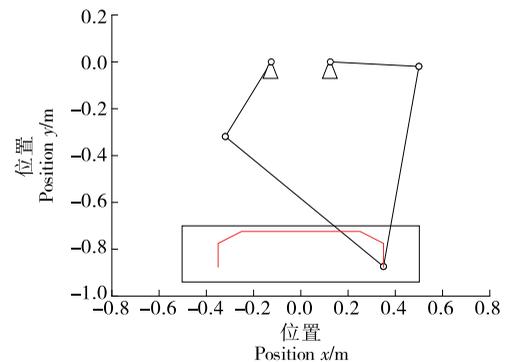


图 2 Delta 并联机器人的路径轨迹

Figure 2 Path trajectory of Delta parallel robot

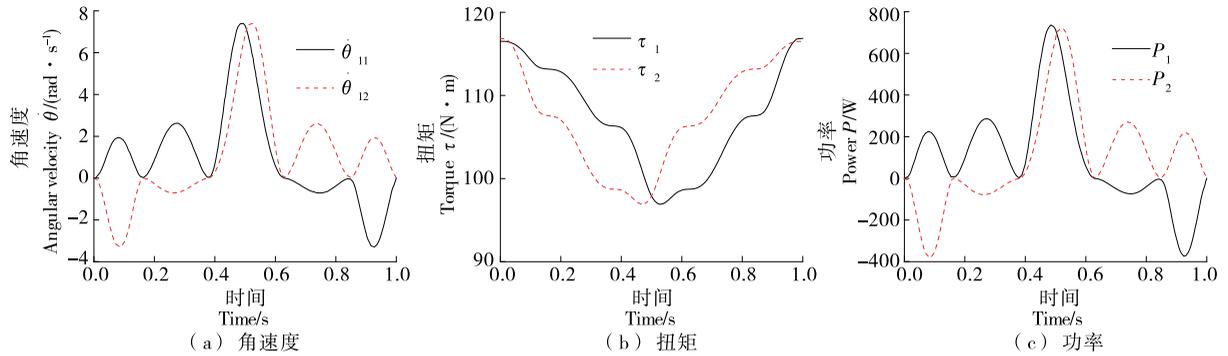


图3 角速度、扭矩和功率随时间变化曲线图

Figure 3 Curves of angular velocity, torque and power with time

果,便可选用电机,首先确定选用减速比为 20 : 1 的减速器,而后查阅电机手册,并考虑安全系数,最终选择 Panasonic MDME102S1D 电机。

2 分拣系统总体设计

2.1 总体设计原则

考虑到食品分拣的工艺特点,食品分拣设备应满足以下几个设计原则:

(1) 系统简单化。因为组件过多将增加控制难度,所以尽量采用一台并联机器人与一套视觉系统实现食品识别、抓取、搬运、分拣、剔除等操作,以降低结构的复杂程度。

(2) 系统柔性化。为了适应不同种类与不同规格的食品,分拣设备应具备一定兼容性,例如并联机器人末端夹持器可根据食品种类与规格进行人为更换。

(3) 损伤最小化。在识别、抓取、搬运、分拣、剔除等各个环节,分拣设备均应避免破坏包装、污染食品等。例如,采用工业相机进行视觉检测,而不采用某些化学检测方法;采用真空吸附方式,而不采用机械抓取方式。

2.2 机械结构设计

基于 Delta 并联机器人,开发了单片装火腿分拣系统平台,如图 4 所示。该分拣系统平台由 6 部分组成:① 铝合金框架,整体尺寸为 1.3 m×0.9 m×1.8 m,支撑所有机械与电子元件;② Delta 并联机器人,工作空间为 1.0 m×0.25 m,最大有效负载为 3 kg,重复定位精度为 ±0.1 mm,最大水平加速度为 150 m/s²,最大垂直加速度为 75 m/s²;③ 末端执行器,为真空吸盘,执行吸附、搬运、放置动作,能够同时处理 6 个单片装火腿,真空吸盘可吸附 100~500 g 重物,而且可人为更换;④ 传送带,长 2 m,用来传送单片装火腿;⑤ 由德国 Basler 公司 aca1920-40gc 型号的 CMOS 相机和 LED 阵列组成的视觉系统,能够快速、精确地提取单片装火腿的特征;⑥ 提升机构,可上下升降、左右移动;⑦ 触摸屏监视器,显示图形用户界面(GUI),包含分拣工艺过程数据。

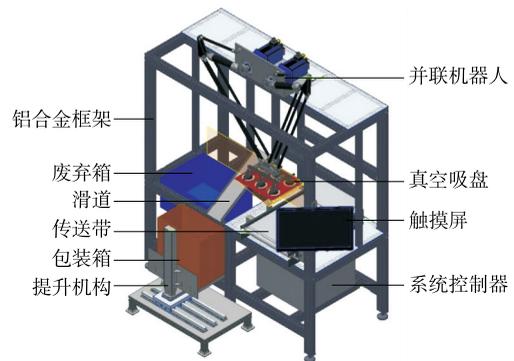


图4 单片装火腿分拣系统平台

Figure 4 Sorting system platform of single-piece ham package

2.3 控制系统设计

控制系统包括硬件部分和软件部分。硬件部分主要由工控机与运动控制器组成,如图 5 所示;软件部分主要由分拣控制系统和视觉控制系统组成。系统采用上下双层控制方式,上层(上位机)以工控机为核心,负责图像处理、人机交互、系统通信等任务,完成对单片装火腿的识

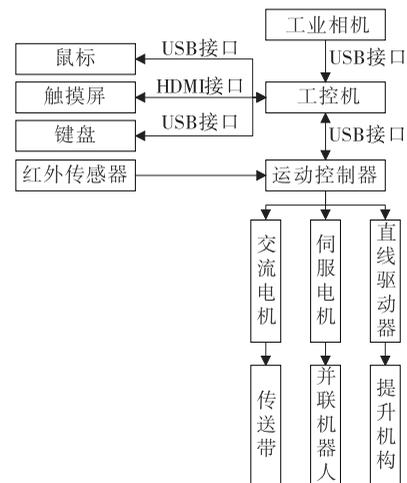


图5 控制系统硬件

Figure 5 Hardware of control system

别、跟踪、定位。下层(下位机)以运动控制器为核心,通过 USB 接口与工控机通信,它一方面接收来自红外传感器的激活数字信号,另一方面发送信号控制传送带速度、并联机器人的运动和提升机构的移动,完成单片装火腿的吸附、搬运、分拣、剔除作业。系统电源为 220 V 交流电,通过驱动器为电机供电,采用 12 V AC/DC 电源适配器为运动控制器、红外传感器等供电,通过 USB 接口为相机、鼠标、键盘等供电。

2.4 图像处理算法

视觉系统的图像处理算法直接影响缺陷识别的准确度,图像处理算法流程如图 6 所示。① 采集 1 幅 RGB 格式的图像,并将图像上 6 个单片装火腿分割成 6 幅单独的图像;② 对每幅图像依次进行高斯滤波、中值滤波处理,在图像最大化并减少噪声影响的同时,保留图像细节;③ 将 RGB 空间转化为 HSV 颜色空间;④ 基于单片装火腿的颜色谱设置合理的阈值,在 HSV 空间中完成对图像的阈值分割;⑤ 将分割完成的 HSV 颜色空间图像,转换到灰度空间得到灰度图像,并二值化灰度图像;⑥ 对图像进行形态学闭运算,检测是否存在异物缺陷;⑦ 如果不存在异物缺陷,还需采用 Canny 算子对图像进行边缘检测,并通过霍夫变换检测包装上的特征,检测是否存在折痕缺陷。

不论是检测到异物缺陷还是折痕缺陷,算法都将返回一个 2×3 的数组,记录缺陷包装在该数组中的位置,后续由机器人剔除出去。

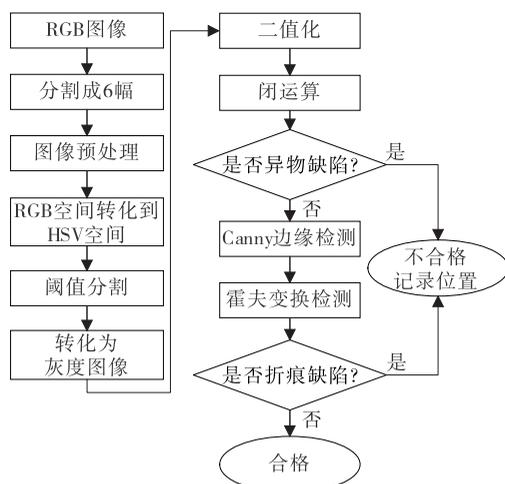


图 6 图像处理算法流程

Figure 6 Flow of image processing algorithm

2.5 系统工作流程

食品分拣系统工作流程:控制系统上电后,程序进行初始化处理,完成开机准备工作;视觉系统程序采用不断循环的方式,当传送带上的单片装火腿进入作业区域时,工业相机拍照采集图像,并将图像传送给工控机,工控机通过图像处理算法识别异物、折痕等缺陷,并跟踪、定位

缺陷包装的位置;然后通过运动控制器驱动并联机器人,机器人将按照最优路径运动,进行食品吸附、搬运、分拣、剔除等操作;最终,将有缺陷的单片装火腿放入废弃箱,将无缺陷的单片装火腿放入包装箱,实现单片装火腿的分拣作业。

为了便于操控与监管,基于 python 语言开发了一个人机交互图形化用户界面, GUI,如图 7 所示。通过这个界面,操作者可以输入单片装火腿的数量与规格、包装箱的数量与大小,还可以设置传送带的速度等。此外,该界面还可以对分拣过程进行实时监控,并存储已剔除的缺陷产品数量、已完成包装箱数量、生产进度等数据,创建一个包含所有存储数据的 Excel 报表。所有数据均可以通过本地网络进行处理和发送,用户可以登陆连接到本地网络的计算机进行访问。

3 实验验证

为了验证分拣系统的有效性,对 100 g 的单片装火腿开展分拣实验,并故意放入一些带有异物缺陷与折痕缺陷的单片装火腿。实验是在室内环境下进行,将光源位置与光照强度调整到位并保持不变。实验结果表明,该系统能够准确、快速地识别异物缺陷与折痕缺陷(图 8),

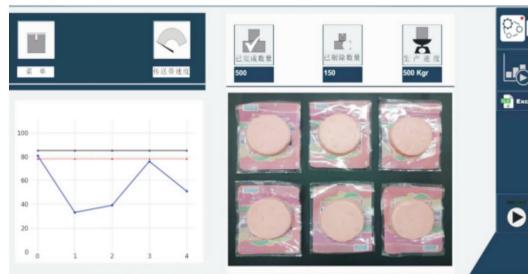


图 7 人机交互图形化用户界面 GUI

Figure 7 Graphical user interface (GUI) for human-computer interaction

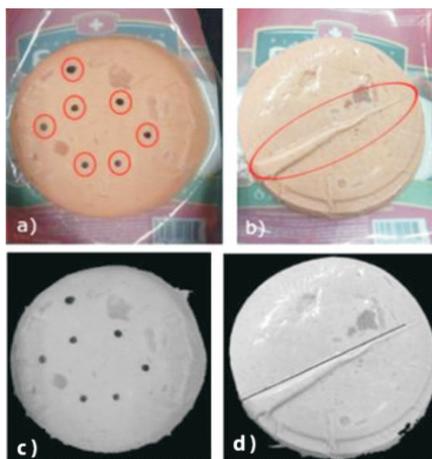


图 8 识别异物缺陷与折痕缺陷

Figure 8 Identification of impurities and creases

而且因为室内照明可控,不受户外光照影响,系统识别率高达 95%;而且该系统还能够准确、高效地分拣单片装火腿,分拣成功率达到 98%,分拣效率为 160 包/min。因此,该系统能够满足火腿加工企业的分拣作业需求。

4 结论

以 Delta 并联机器人为基础,结合自动控制、机器视觉等技术,设计搭建了一种能够识别单片装火腿缺陷的分拣系统。该系统能够成功识别异物缺陷与折痕缺陷,识别率高达 95%;分拣成功率达到 98%,分拣效率为 160 包/min,能够准确、高效地分拣单片装火腿,证明了经过深入学习后的视觉识别分拣系统不仅可以用于识别、抓取合格食品,还可以识别、剔除残缺品,因此能够满足火腿加工企业的分拣作业需求。但试验仅限于识别异物缺陷与折痕缺陷,对于更多缺陷种类的识别还有待深入研究。

参考文献

- [1] 叶鹏达, 尤晶晶, 仇鑫, 等. 并联机器人运动性能的研究现状及发展趋势[J]. 南京航空航天大学学报, 2020, 52(3): 363-377.
YE P D, YOU J J, QIU X, et al. Status and development trend of motion performance in parallel robot[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2021, 42(21): 207-212.
- [2] 康晓娟. Delta 并联机器人的发展及其在食品工业上的应用[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 167-172.
KANG X J. Development and application of delta parallel robot[J]. Food & Machinery, 2014, 30(5): 167-172.
- [3] 顾涵, 付瑞玲, 张磊, 等. 基于 ADT8940A1 运动控制器的食品分拣控制系统设计[J]. 包装工程, 2021, 42(21): 207-212.
GU H, FU R L, ZHANG L, et al. Design of food sorting control system based on ADT8940A1 motion controller[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(21): 207-212.
- [4] 陈永平, 王凯凯. 基于 ABB 机器人的双追踪传送包装设计[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 116-122.
CHEN Y P, WANG K K. Design of double transmission tracking packaging system based on ABB robot[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 116-122.
- [5] 姚学峰, 李超. 基于改进 NURBS 曲线插补算法的食品分拣机器人轨迹规划[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 80-85.
YAO X F, LI C. Trajectory planning method of food sorting robot based on improved NURBS curve interpolation algorithm[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 80-85.
- [6] 王秋红, 孙以正. 基于并联机器人的块状食品包装定位方法[J]. 包装工程, 2022, 43(1): 177-182.
WANG Q H, SUN Y Z. Positioning method of block food packaging based on parallel robot[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(1): 177-182.
- [7] 包光旋, 黄家才, 李耀, 等. 基于视觉的并联机器人智能分拣系统设计与实现[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2021, 19

(1): 7-11.

- BAO G X, HUANG J C, LI Y, et al. Vision-based intelligent sorting system for parallel robots[J]. Journal of Nanjing Institute of Technology (Natural Science Edition), 2021, 19(1): 7-11.
- [8] 陈亚琳, 宋增禄. 袋装食品快速自动分拣系统设计[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 299-302.
CHEN Y L, SONG Z L. The design of bag food fast automatic sorting system[J]. The Food Industry, 2021, 42(4): 299-302.
- [9] 贾超广, 肖海霞. 机器视觉的食品包装快速分拣系统[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 276-279.
JIA C G, XIAO H X. Rapid sorting system of food packaging based on machine vision[J]. The Food Industry, 2021, 42(5): 276-279.
- [10] 赵鹏宇, 王宗彦, 丁培燎, 等. 基于机器视觉的并联机器人工件识别定位[J]. 制造技术与机床, 2021(12): 15-20.
ZHAO P Y, WANG Z Y, DING P L, et al. Location identification of parallel robot based on machine vision[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2021(12): 15-20.
- [11] 商德勇, 章林, 牛艳奇, 等. 煤矸分拣机器人设计与关键技术分析[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(3): 232-238.
SHANG D Y, ZHANG L, NIU Y Q, et al. Design and key technology analysis of coal-gangue sorting robot[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(3): 232-238.
- [12] 赵鹏宇, 王宗彦, 何晓, 等. 基于机器视觉的 Delta 机器人目标识别算法研究[J]. 工具技术, 2022, 56(3): 113-117.
ZHAO P Y, WANG Z Y, HE X, et al. Research on target recognition and grabber of delta robot based on machine vision[J]. Tool Engineering, 2022, 56(3): 113-117.
- [13] 代慧, 朱洪雷. 基于包装生产线的 3-PUU 并联机器人的动力学研究[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 257-261.
DAI H, ZHU H L. Dynamics study of 3-PUU parallel robot based on packaging production line[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(13): 257-261.
- [14] 程子华. 基于机器视觉的残缺饼干分拣系统开发[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 313-318, 325.
CHENG Z H. Development of incomplete biscuit sorting system based on machine vision[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 313-318, 325.
- [15] 陈立辛, 王磊, 乔印虎, 等. 基于深度学习的花生米缺陷识别分拣方法研究[J]. 包装与食品机械, 2022, 40(3): 65-70.
CHEN L X, WANG L, QIAO Y H, et al. Deep learning-based peanut rice appearance defect identification and sorting method study[J]. Packaging and Food Machinery, 2022, 40(3): 65-70.