

基于三维模型的食品分拣机器人抓取控制方法

Grab control method of food sorting robot based on 3D model

肖瑶星¹ 刘立新² 胡 柳¹ 卢艳芝¹

XIAO Yao-xing¹ LIU Li-xin² HU Liu¹ LU Yan-zhi¹

(1. 湖南信息职业技术学院, 湖南 长沙 410012; 2. 内蒙古科技大学, 内蒙古 包头 014000)

(1. Hunan College of Information, Changsha, Hunan 410012, China;

2. Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014000, China)

摘要:目的:解决现有串类水果在机器人分拣中存在的准确性差、分选效率低等问题。方法:基于高速并行食品分拣系统结构,将改进的 SURF 算法与改进的 RANSAC 算法相结合用于食品分拣机器人抓取点定位,建立三维抓取模型实现串类水果的自动稳定抓取。以葡萄为例,通过试验验证了所提方法的优越性和准确性。结果:所提方法与常规方法相比,平均抓取成功率提高 15.00% 左右,平均抓取时间缩短 0.101 s。结论:该食品分拣机器人可有效提高串类水果抓持点定位的准确性,具有较高的成功率。

关键词: 串类水果; 分拣机器人; 高速并联; SURF 算法; RANSAC 算法; 三维抓取模型

Abstract: Objective: To solve the problems of poor accuracy and low sorting efficiency of the existing string fruits in robot sorting. **Methods:** Based on the structure of the high-speed parallel food sorting system, the improved SURF algorithm and the improved RANSAC algorithm were combined to locate the grab points of the food sorting robot, and a three-dimensional grab model was established to realize the automatic and stable grab of string fruits. Taking grapes as an example, the superiority and accuracy of the proposed method were verified by experiments. **Results:** Compared with the conventional method, the proposed method improved the average capture success rate by about 15.00% and the average capture time by 0.101 s. **Conclusion:** The food sorting robot can effectively improve the accuracy of the positioning of the holding points of string fruits, and has a high success rate.

Keywords: string fruit; sorting robot; high-speed parallel connection; SURF algorithm; RANSAC algorithm; 3D

基金项目: 湖南省教育科学“十三五”规划一般资助项目(编号: XJK018JKB023)

作者简介: 肖瑶星,女,湖南信息职业技术学院讲师,硕士。

通信作者: 卢艳芝(1982—),女,湖南信息职业技术学院讲师,硕士。E-mail: luyanzhi0@mail.hniu.cn

收稿日期: 2022-11-25 **改回日期:** 2023-03-17

grab model

随着工业 4.0 的崛起和中国制造 2025 战略的提出,各国都在关注制造业的转型和精细化,推动企业持续快速发展^[1]。作为智能生产的核心,机器人越来越多地应用于具有高度重复性的各种流程型生产线。Delta 机器人是一种自由度较少的工业机器人,由于速度快、精度高,被广泛应用于食品、医疗等轻工业领域^[2]。

近年来,Delta 机器人抓取控制发展迅速,国内对该技术的研究主要集中在机器学习和智能算法上^[3-4]。刘洁等^[5]提出了一种基于 NJ 运动控制器的 Delta 机器人抓取控制系统。结果表明,所提抓取方法具有较高的精度、速度和稳定性,Delta 机器人的漏抓率小于 2%,误抓持率为 0。苏婷婷等^[6]提出了一种基于费拉里法的 Delta 机器人动态目标获取方法。结果表明,所提方法能较准确和快速地计算出抓取位置,Delta 机器人在 90 次/min 抓取时,漏抓率为 0。毕宪东等^[7]提出了一种新的动态目标抓取方法用于食品生产线上 Delta 机器人的抓取控制。结果表明,所提抓取方法具有较高的精度、速度,优化前后机器人漏抓率由 8.83% 降至 0,抓取速度由 0.885 个/s 提高至 1.130 个/s。王敏等^[8]提出了一种基于改进粒子群算法多目标运动优化策略的食品分选机器人动态目标抓取控制方法。结果表明,所提抓取方法具有较高的精度和速度。在 100 mm/s 的输送速度下,抓取成功率从 96.80% 提高到 100%,分拣速度从 1.62 个/s 提高到 1.98 个/s。虽然上述方法详细研究了食品分拣机器人的抓取控制方法,但在实际目标抓取中还有待提高准确性和效率。

在此基础上,将改进的 SURF 算法与改进的 RANSAC 算法相结合用于食品分拣机器人的抓取点定位,建立三维抓取模型实现串类水果的自动稳定抓取。以葡萄为例,通过试验验证了所提方法的优越性。

1 系统概述

图 1 为高速并联食品分拣系统的结构示意图,主要

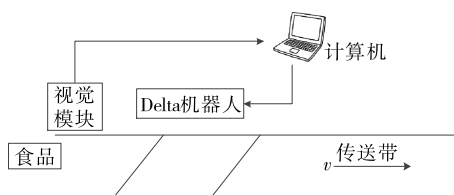
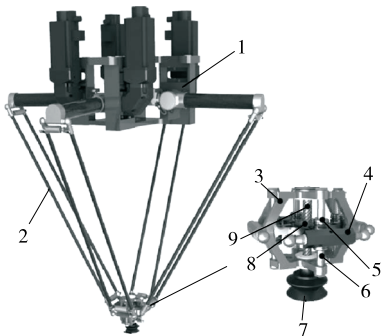


图 1 系统结构

Figure 1 System structure

由视觉模块、计算机、传送带和 Delta 机器人等组成。因 Delta 机器人移动速度非常快,所以采用视觉系统和 Delta 机器人分开放置,相机安装在传送带上方,提高系统分拣效率,Delta 机器人与上位机交互完成食品分拣^[9]。

图 2 为高速并联食品分拣机器人的主体。主要由三部分组成:静平台、动平台、4 根连接分支,分支呈 90°对称分布,各链条主要由主动臂、从动臂组成^[10]。静态平台配备有法兰连接的伺服电机和减速器,动态平台由主、辅平台组成。



1. 静平台 2. 支链 3. 主平台 4. 辅平台 5. 导套 6. 导柱
7. 动平台 8. 丝杠 9. 螺母

图 2 并联机器人本体

Figure 2 Parallel robot body

2 抓取位置控制方法

准确计算并联机器人对串类水果的抓取位置能够避免分拣失败和水果损伤等问题。试验将改进的 SURF 算法^[11]与改进的 RANSAC 算法^[12]相结合用于食品分拣机器人的抓取点定位,建立三维抓取模型实现串类水果的自动稳定抓取。

2.1 抓取点定位

抓取点定位是食品分拣的前提,针对存在的问题,将改进的 SURF 算法与改进的 RANSAC 算法相结合用于食品分拣机器人抓取点定位。

2.1.1 图像预匹配 SURF 算法是在 SIFT 算法的基础上提出的,引入盒式滤波器替换 DOG 高斯滤波器,可确保准确性,缩短计算时间。但也存在描述特征点主方向准确率较低,采用引入离散 Gaussian-Hermit 为描述子对其进行优化^[13]。具体如下:

(1) 对特征点的离散 Gaussian-Hermit 矩进行计算:设图像分辨率为 $M \times N$,像素点坐标为 $p(x, y)$, $x \in [0, M-1]$, $y \in [0, N-1]$,对于待匹配特征点 p_i ,以其为圆心构建该特征点圆环临域,并计算离散 Gaussian-Hermit 矩响应 $\eta_{k,t}$,如式(1)所示^[14]。

$$\eta_{k,t}(x_i, y_i, m_A, m_B) = \frac{4}{(A-1)(B-1)} \sum_{u=0}^{M_A-1} \sum_{v=0}^{N_B-1} p(x_i + (m_A u - \frac{A}{2} + 1), y_i + (m_B v - \frac{B}{2} + 1)) H_k(x, \sigma) H_t(y, \sigma), \quad (1)$$

式中:

$k+t$ ——总阶数;

i ——特征点 $p_i(x_i, y_i)$ 的标号;

m_A, m_B ——X 方向及 Y 方向的采样步长;

u, v ——分辨率 $A \times B$ 的图像掩模;

M_A, M_B ——分辨率 $A \times B$ 图像掩模内的最大采样值;

σ ——高斯标准差;

$H_k(x, \sigma), H_t(y, \sigma)$ ——X 及 Y 方向的离散 Gaussian-Hermit 函数。

(2) 构建特征向量:在每个 ROI 内基于式(1)计算 $\eta_{k,0}, \eta_{0,t}, |\eta_{k,0}|, |\eta_{0,t}|$,并构建四维特征向量,如式(2)所示^[15]。

$$V_4 = [\sum \eta_{k,0}, \sum \eta_{0,t}, \sum |\eta_{k,0}|, \sum |\eta_{0,t}|], \quad (2)$$

式中:

$\eta_{k,t}$ ——离散 Gaussian-Hermit 矩响应。

(3) 对图像进行预匹配,将最近邻与次近邻比值作为特征向量 $V_{l64} = (x_{l1}, x_{l2}, \dots, x_{l64})$ 和 $V_{r64} = (x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{r64})$ 的相似度,距离计算如式(3)所示^[16]。

$$D = \sqrt{(x_{l1} - x_{r1})^2 + (x_{l2} - x_{r2})^2 + \dots + (x_{l64} - x_{r64})^2}, \quad (3)$$

式中:

$(x_{l1}, x_{l2}, \dots, x_{l64}), (x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{r64})$ ——两图像中待匹配特征点 $p_i(x_i, y_i)$ 的高维特征向量。

2.1.2 特征点对集筛选 虽然 RANSAC 算法性能较低,但实时性和精度还有待提高^[17]。采用块采样特征点对和预校验临时候选数学模型进行优化,具体步骤:

(1) 块采样:将特征点集图像区域分为 $m \times m$ 块(均等),各块随机选择一个特征点构成随机特征点对样本集 D_{n+1} ,其中 $m \times m \geq n+1$ 。选取 n 个特征点对临时候选的数学模型 H'_i 进行估算^[18]。

(2) 预校验:通过 D_{n+1} 中第 $n+1$ 个点对 H'_i 进行预校验,是否为其内的点对,如果是,将 H'_i 作为候选数学模型 H_i ,否则转到步骤 1。根据候选数学模型 H_i 和

Sampson 距离计算 H_i 的内点对集合, 如果内点对数量 n_i 大于阈值 k , 将 H_i 优化为模型 H , 否则转到步骤 1^[19]。

2.2 三维抓取模型

以串类水果葡萄为例进行建模, 根据果梗元素的特

点, 将三维抓取模型分为四类 (A-AB、B-AB、B-CBD、E-CBD), 模型如图 3 所示。选取位置参数 (x, y, z) 、绕 Z 轴旋转角度 θ 和夹持机构开口宽度 w 对基于机器视觉的四自由度并联机器人串类水果抓取进行建模^[20]。

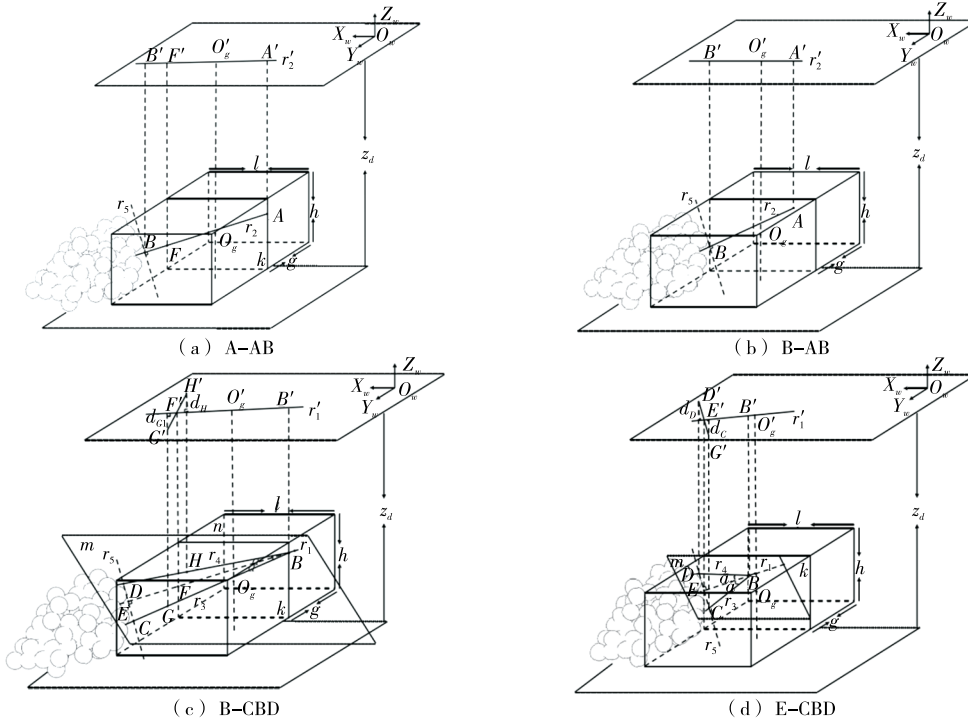


图 3 三维抓取模型

Figure 3 Parallel robot body

(1) A-AB 三维抓取模型, 判断 $l_{A'B'} \geq l$ 是否成立, 构建 A-AB 三维抓取模型, 如图 3(a) 所示。抓取位姿参数计算如式(4)~式(7)所示。

$$\theta = \begin{cases} \arccos \frac{\mathbf{B}'\mathbf{A}' \cdot \mathbf{e}_x}{|\mathbf{B}'\mathbf{A}'|}, y_A - y_B \geq 0 \\ -\arccos \frac{\mathbf{B}'\mathbf{A}' \cdot \mathbf{e}_x}{|\mathbf{B}'\mathbf{A}'|}, y_A - y_B < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} y = p_1 x + q_1 \\ \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} = \frac{l}{2} \end{cases}, \quad (5)$$

$$z = \begin{cases} z', z' \geq \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \\ \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d, z' < \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \end{cases}, \quad (6)$$

$$w = d_{p\max} + d_{w\min}, \quad (7)$$

式中:

$\mathbf{e}_x$ —— X_w 轴单位向量;

$(x_A, y_A, z_A), (x_B, y_B, z_B)$ ——点 A 和点 B 在 $O_w - X_w Y_w Z_w$ 下的坐标;

$\mathbf{B}'\mathbf{A}'$ ——投影向量;

h, l, g ——夹持结构的高、长和宽, mm;

$d_{w\min}$ ——抓取时末端夹持机构内边缘与抓取对象间

的最小要求距离, mm;

$d_{z\min}$ ——抓取时末端夹持机构底部与检测平面最小距离, mm;

$d_{p\max}$ ——果梗最大直径, mm;

z_d ——检测平面与 $X_w Y_w$ 平面的距离, mm。

(2) B-AB 三维抓取模型, 判断 $l_{A'B'} < l$ 是否成立, 构建 B-AB 三维抓取模型, 如图 3(b) 所示。抓取位姿参数 θ 和 w 计算如式(4)和式(7)所示, (x, y, z) 参数计算如式(8)和式(9)所示。

$$\begin{cases} y = p_1 x + q_1 \\ \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} = \frac{l}{2} \end{cases}, \quad (8)$$

$$z = \begin{cases} z', z' \geq \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \\ \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d, z' < \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \end{cases}. \quad (9)$$

(3) B-CBD 三维抓取模型, 判断 $l_{E'B'} \geq l$ 是否成立, 构建 B-CBD 三维抓取模型, 如图 3(c) 所示。对果梗 DB 和 CB 同时进行夹取, 抓取位姿参数计算如式(10)~式(13)所示。

$$\theta = \begin{cases} \arccos \frac{\mathbf{F}'\mathbf{B}' \cdot \mathbf{e}_x}{|\mathbf{F}'\mathbf{B}'|}, y_B - y_F \geq 0 \\ -\arccos \frac{\mathbf{F}'\mathbf{B}' \cdot \mathbf{e}_x}{|\mathbf{F}'\mathbf{B}'|}, y_B - y_F < 0 \end{cases}, \quad (10)$$

$$\begin{cases} (y_B - y_F)x - (x_B - x_F)y - x_F(y_B - y_F) + \\ y_F(x_B - x_F) = 0 \\ \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} = \frac{l}{2} \end{cases}, \quad (11)$$

$$z = \begin{cases} z', z' \geq \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \\ \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d, z' < \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \end{cases}, \quad (12)$$

$$w = d_G + d_H + d_{w\min}, \quad (13)$$

式中:

d_G, d_H —— G 和 H 在 $X_w Y_w$ 平面上的投影点到直线 r'_1 的距离, mm;

$(x_C, y_C, z_C), (x_D, y_D, z_D)$ ——点 C 和点 D 在 $O_w - X_w Y_w Z_w$ 平面的坐标;

$\mathbf{F}'\mathbf{B}'$ ——投影向量。

(4) E -CBD 三维抓取模型, 判断 $l_{E'B'} < l$ 是否成立, 构建 E -CBD 三维抓取模型, 如图 3(d) 所示。抓取位姿参数计算如式(14)~式(17)所示。

$$\theta = \begin{cases} \arccos \frac{\mathbf{E}'\mathbf{B}' \cdot \mathbf{e}_x}{|\mathbf{E}'\mathbf{B}'|}, y_B - y_E \geq 0 \\ -\arccos \frac{\mathbf{E}'\mathbf{B}' \cdot \mathbf{e}_x}{|\mathbf{E}'\mathbf{B}'|}, y_B - y_E < 0 \end{cases}, \quad (14)$$

$$\begin{cases} (y_B - y_E)x - (x_B - x_E)y - x_E(y_B - y_E) + \\ y_E(x_B - x_E) = 0 \\ \sqrt{(x - x_E)^2 + (y - y_E)^2} = \frac{l}{2} \end{cases}, \quad (15)$$

$$z = \begin{cases} z', z' \geq \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \\ \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d, z' < \frac{h}{2} + d_{z\min} - z_d \end{cases}, \quad (16)$$

$$w = d_C + d_D + d_{w\min}, \quad (17)$$

式中:

d_C, d_D —— C 和 D 在 $X_w Y_w$ 平面上的投影点到直线 r'_1 的距离, mm;

(x_E, y_E, z_E) ——点 E 在 $O_w - X_w Y_w Z_w$ 平面的坐标;

$\mathbf{E}'\mathbf{B}'$ ——投影向量。

该三维抓取模型选择原则为: ① 对有分支果梗, 根据条件采用 4 种三维抓取模型的一种。② 对于无分支果梗, 根据条件采用 A-AB 或 B-AB 三维抓取模型。

3 试验结果与分析

3.1 试验参数

为了验证该方法在串类水果抓取控制方法中的有效性和优越性, 试验操作系统为 Windows10 64 位, CPU 为 Intel(R) core(TM) i7-8700k, 显卡为 NVIDIA GeForce GTX1060GB, 主频 3.7 GHz, 内存 32 GB, 通过 Kinect 传感器获取图像。使用串类水果葡萄作为分拣目标, 采用构建的分拣系统进行抓取试验。试验参数见表 1。

表 1 试验参数

Table 1 Test parameters

项目	参数
试验目标	串类水果葡萄
机器人	四轴 Delta 机器人
最大加速度	6 m/s ²
上升下降距离	0.4 m
平移距离	1 m
运动规律	3-4-5 次多项式

3.2 试验分析

3.2.1 抓取点定位 为验证抓取点定位方法的有效性, 采用该方法对获取的 200 幅图像进行抓取点定位试验, 选取串类水果葡萄果粒稀疏的 100 幅图像和葡萄果粒空隙较小的 100 幅图像。为保证抓取点定位方法的准确性, 对该方法定位抓取点与人工视觉定位的抓取点进行了比较分析, 人工视觉定位的抓取点是多次重复的平均值, 部分试验数据如表 2 所示。

误差在 5 mm 以内, 则认定抓取点定位准确, 抓取点定位试验结果见表 3。

由表 3 可以看出, 在 200 幅图像的抓持点定位试验中, 串行类水果葡萄果粒稀疏的 100 幅图像的抓持点定位中, 准确率为 95.00%。在 100 幅葡萄果实粒空隙较小

表 2 部分抓取点试验数据

Table 2 Partial grab point test data

图像编码	试验方法抓取点 (x, y, z)	人工视觉定位抓取点 (x, y, z)	检测误差/mm
1	(5.390, -58.233, -1 083.197)	(4.571, -59.475, -1 082.091)	1.854
2	(-91.174, -120.922, -938.640)	(-89.896, -120.026, -937.611)	1.871
3	(-86.201, 165.980, -1 030.423)	(-87.521, 166.811, -1 028.391)	2.561
4	(-140.217, 145.861, -901.909)	(-138.025, 146.898, -902.969)	2.645
5	(108.420, 19.067, -1 023.706)	(107.284, 18.294, -1 024.643)	1.662

表3 不同优化轨迹分拣试验结果

Table 3 Sorting test results of different optimized tracks

类别	图像数	定位准确数	定位准确率/%
果粒稀疏	100	95	95.00
果粒空隙较小	100	97	97.00
总计	200	192	96.00

的图像定位中,准确率为 97.00%。整体定位精度为 96.00%。试验结果表明,所提串类水果抓取点定位方法可以有效提高串类葡萄抓持点定位的准确性。

3.2.2 抓取试验 为了验证该方法的有效性,根据不同三维抓取模型,对有无果梗分支进行 6 组试验,每组随机状态放置 20 串葡萄。不同模型的葡萄如图 4 所示。

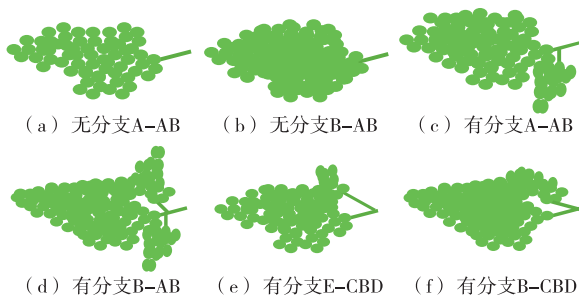
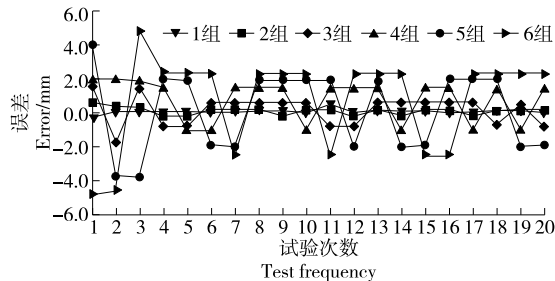
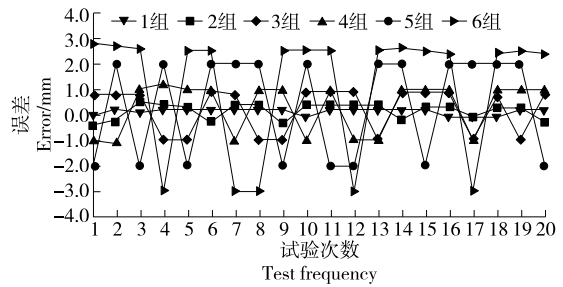
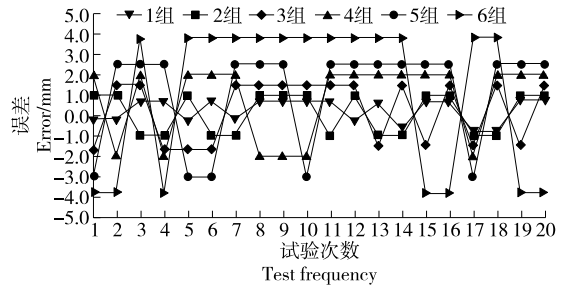
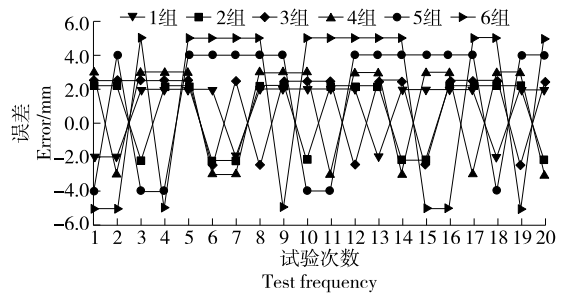
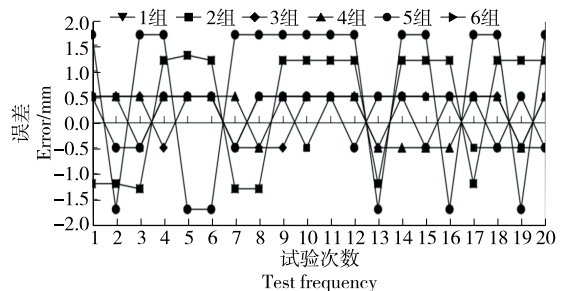


图4 不同模型分布图

Figure 4 Distribution map of different models

计算的抓取位姿与实际测量的抓取位姿误差如图 5~图 9 所示。

由图 5~图 9 可知,无分支果梗 A-AB 模型的抓取位姿平均误差分别为 (0.152 mm、0.131 mm、0.559 mm、2.055°、0.519 mm),无分支果梗 B-AB 模型的抓取位姿平均误差分别为 (0.443 mm、0.420 mm、0.918 mm、2.409°、0.511 mm),有分支果梗的 A-AB 模型抓取位姿的平均误差分别为 (0.994 mm、0.865 mm、1.395 mm、2.12°、0.518 mm),有分支果梗的 B-AB 模型抓取位姿的平均误差分别为 (1.327 mm、1.158 mm、1.761 mm、3.247°、0.479 mm),有分支果梗 E-CBD 模型的抓取位姿平均误

图5 位置 x 误差Figure 5 Position x error图6 位置 y 误差Figure 6 Position y error图7 位置 z 误差Figure 7 Position z error图8 旋转角度 θ 误差Figure 8 Rotation angle θ error图9 开口宽度 w 误差Figure 9 Opening width w error

差分别为 (2.319 mm、2.000 mm、2.737 mm、4.232°、0.945 mm),有分支果梗的 B-CBD 模型的抓取位姿平均误差分别为 (3.044 mm、2.645 mm、3.534 mm、5.013°、1.709 mm)。6 组试验中抓取位姿的平均误差分别为 (1.380 mm、1.197 mm、1.817 mm、3.311°、0.832 mm)。

为了验证该方法的优越性,与文献[21]抓取控制方法进行对比分析,对有无果梗各进行 100 次试验,试验方法抓取成功率为 96.50%,平均位姿计算时间为 0.802 s;文献[21] 抓取成功率为 82.00%,平均位姿计算时间为 0.903 s。试验方法与文献[21]的方法相比具有较少的位姿计算时间和较高的抓取成功率,该三维抓取模型的抓取位姿计算方法较好地解决了串类水果果梗抓取位姿精确计算困难问题。

4 结论

研究针对高速并行食品分选机器人在串类水果分拣中存在的问题,将改进的 SURF 算法与改进的 RANSAC 算法相结合用于食品分拣机器人的抓取点定位,建立三维抓取模型实现串类水果的自动稳定抓取。结果表明,所提串类水果抓取点定位方法可有效提高抓持点定位的准确性,定位准确率达 96.00%,试验方法与文献[21]方法相比具有较少的位置计算时间和较高的抓持成功率,但试验中研究的 Delta 机器人抓取控制方法尚处于初级阶段,仅对所提出方法的准确性进行研究,快速性也是视觉系统的重要指标之一,后续应不断改进和优化所提方法的性能,尽快实际使用。

参考文献

- [1] 梁翀, 李程启, 张彬彬, 等. 基于深度学习和超分辨率重构技术的图像缺陷诊断算法[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(3): 510-513.
- [2] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks [J]. Communications of the ACM, 2017, 60(6): 84-90.
- [3] QIU H H, LIU L. A study on the evolution of carbon capture and storage technology based on knowledge mapping[J]. Energies, 2018, 11(5): 1-25.
- [4] 郝大孝, 舒志兵, 孙学. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣与跟踪系统设计[J]. 机床与液压, 2019, 47(17): 36-42.
- [5] 刘洁, 孙延永, 高磊. 基于 NJ 运动控制器的 Delta 机器人动态抓取控制系统设计[J]. 电子器件, 2018, 41(6): 1 554-1 559.
- [6] 苏婷婷, 张好剑, 王云宽, 等. 基于费拉里法的 Delta 机器人动态目标抓取算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(6): 128-132.
- [7] 毕宪东, 王振, 李朝龙. 基于 Delta 机器人的食品生产线动态目标抓取方法[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 117-122.
- [8] 王敏, 蒋金伟, 曹彦陶. 基于改进粒子群的食品分拣机器人动态目标抓取控制方法[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 86-91.
- [9] 王红霞, 周家奇, 辜承昊, 等. 用于图像分类的卷积神经网络中激活函数的设计[J]. 浙江大学学报(工学版), 2019, 53(7): 1 363-1 373.
- [10] 曾劲松, 薛文凯, 徐博凡, 等. 双目视觉引导机器人定位抓取技术的研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019, 12(1): 131-137.
- [11] 林义忠, 陈旭. 基于机器视觉的机器人定位抓取的研究进展[J]. 自动化与仪器仪表, 2021, 11(3): 9-12.
- [12] 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.
- [13] 严培培. 面向非典型食品生产的高速机器人分拣系统设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 94-97.
- [14] 柳振宇, 薛毓强, 谢祖强. 基于闭环和前馈控制的高速食品分拣机器人控制技术[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 87-93.
- [15] SU T T, ZHANG H J, WANG Y K, et al. Delta robot dynamic target grabbing algorithm based on Ferrari method [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2018, 46(6): 128-132.
- [16] BI X D, WANG Z, LI C L. Dynamic target capture method of food production line based on Delta robot[J]. Food & Machinery, 2022, 38(6): 117-122.
- [17] WANG M, JIANG J W, CAO Y T. Control method of dynamic target grasping for food sorting robot based on improved particle swarm optimization[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 86-91.
- [18] WANG H X, ZHOU J Q, GU C H, et al. Design of activation function in convolutional neural network for image classification[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2019, 53(7): 1 363-1 373.
- [19] ZENG J S, XUE W K, XU B F, et al. Research on positioning and grasping technology of binocular vision guided robot[J]. Modular Machine Tools and Automatic Machining Technology, 2019, 12(1): 131-137.
- [20] LIN Y Z, CHEN X. Research progress of robot positioning and grasping based on machine vision [J]. Automation and Instrumentation, 2021, 11(3): 9-12.
- [21] JIA C G, XIAO H X. Rapid sorting system for food packaging based on machine vision[J]. Food Industry, 2021, 42(5): 276-279.
- [22] YAN P P. Design of high-speed robot sorting system for atypical food production[J]. Food & Machinery, 2016, 32(2): 94-97.
- [23] LIU Z Y, XUE Y Q, XIE Z Q. Control technology of high-speed food sorting robot based on closed-loop and feedforward control [J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 87-93.

(下转第 162 页)

- ZHANG C Q, GUO L K, QIN Y M, et al. Interaction of polymorphisms of MCP-1 Gene-2518A/G and GPx-1 gene Pro198Leu in nonalcoholic fatty liver disease[J]. Journal of Sun Yat-sen University(Medical Sciences), 2015, 36(5): 739-744, 752.
- [17] 池肇春, 周长宏. 非酒精性脂肪性肝病[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2009: 9.
- CHI Z C, ZHOU C H. Non-alcoholic fatty liver disease [M]. Beijing: Military Medical Science Press, 2009: 9.
- [18] 刘睿, 杨戈, 尚坤, 等. 泽明降脂方对高脂血症大鼠血脂水平及相关炎症趋化因子的影响[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(19): 4 348-4 350.
- LIU R, YANG Y, SHANG K, et al. Effects of Zemin lipid lowering formula on blood lipid levels and related inflammatory chemokines in hyperlipidemic rats [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2021, 41(19): 4 348-4 350.
- [19] 吕丽. 基于 PI3K/Akt/NF- κ B 信号通路槲皮素抗动脉粥样硬化作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 52-58.
- LU L. Protective effects of Quercetin on atherosclerosis via PI3K/Akt/NF- κ B signaling pathway [D]. Changchun: Jilin University, 2017: 52-58.
- [20] HUANG S J, CHEN S Q, LIN Y, et al. Maternal nicotine exposure aggravates metabolic associated fatty liver disease via PI3K/Akt signaling in adult offspring mice[J]. Liver Int, 2021, 41(8): 1 867-1 878.
- [21] 金传阳. 麦粒灸通过 PI3k/Akt 信号通路下调 SREBP1c 改善高脂血症大鼠肝脏脂质代谢[D]. 南京: 南京中医药大学, 2019: 5-17.
- JIN C Y. Wheatgrain Moxibustion down-regulates SREBP1c through PI3K/Akt signaling pathway to ameliorate liver lipid metabolism in hyperlipidemia rats[D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2019: 5-17.
- [22] HUANG X, LIU G, GUO J, et al. The PI3K/AKT pathway in obesity and type 2 diabetes[J]. Int J Biol Sci, 2018, 14(11): 1 483-1 496.
- [23] 张志辉. TLR4/MyD88 介导的 PI3K/Akt 信号在调节小鼠肝脏糖脂代谢中的作用[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2013: 39-47.
- ZHANG Z H. The role of TLR4/MyD88-mediated PI3K/Akt signaling on the regulation of hepatic glucose and lipid metabolism in mice[D]. Hefei: Anhui Medical University, 2013: 39-47.
- [24] DUAN R, HUANG K, GUAN X, et al. Tectorigenin ameliorated high-fat diet-induced nonalcoholic fatty liver disease through anti-inflammation and modulating gut microbiota in mice [J]. Food Chem Toxicol, 2022, 164: 112948.
- [25] 李佳. 原儿茶酸改善高脂诱导肝脏炎症及作用机制研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021: 22-30.
- LI J. Effect ofprotocatechuic acid on liver inflammation induced by high fat and its mechanism [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2021: 22-30.
- [26] 伍振辉, 孟娟, 胡佳伟, 等. TLR4-MyD88-NF- κ B 信号通路与肝炎—肝纤维化—肝癌轴相关性研究进展[J]. 国际药学研究杂志, 2017, 44(5): 396-401.
- WU Z H, MENG X, HU J W, et al. Research progress on the correlation between TLR4-MyD88-NF- κ B signalling pathways and the hepatic inflammation-fibrosis-cancer axis [J]. Journal of International Pharmaceutical Research, 2017, 44(5): 396-401.
- [27] SUN S, ARAKI Y, HANZAWA F, et al. High sucrose diet-induceddysbiosis of gut microbiota promotes fatty liver and hyperlipidemia in rats[J]. J Nutr Biochem, 2021, 93: 108621.
-
- (上接第 82 页)
- [15] 吴旭清, 黄家才, 周磊, 等. 并联机器人智能分拣系统设计[J]. 机电工程, 2019, 36(2): 224-228.
- WU X Q, HUANG J C, ZHOU Lei, et al. Design of intelligent sorting system for parallel robot [J]. Electromechanical Engineering, 2019, 36(2): 224-228.
- [16] 倪鹤鹏, 刘亚男, 张承瑞, 等. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣系统算法[J]. 机器人, 2016, 38(1): 49-55.
- NI H P, LIU Y N, ZHANG C R, et al. Algorithm of delta robot sorting system based on machine vision[J]. Robot, 2016, 38(1): 49-55.
- [17] 郝琳, 张坤平. 基于并联机器人的食品分拣控制系统设计[J]. 食品工业, 2020, 41(4): 209-212.
- HAO L, ZHANG K P. Design of food sorting control system based on parallel robot[J]. Food Industry, 2020, 41(4): 209-212.
- [18] 朱向楠, 韦源源. 基于位置姿势控制的并联机械手运动误差仿真分析[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2021, 12(3): 49-52, 56.
- ZHU X N, WEI Y Y. Simulation analysis of motion error of parallel manipulator based on position and posture control [J]. Modular Machine Tool and Automatic Machining Technology, 2021, 12(3): 49-52, 56.
- [19] 张皓宇, 刘晓伟, 任川, 等. 并联机器人正运动学与 NURBS 轨迹规划[J]. 机械设计与制造, 2021, 12(4): 282-292.
- ZHANG H Y, LIU X W, REN C, et al. Forward kinematics and NURBS trajectory planning of parallel robot [J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2021, 12(4): 282-292.
- [20] 董腾, 秦腾飞, 张如如, 等. 基于机器视觉的水果分拣系统[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2017, 30(1): 93-96.
- DONG T, QIN T F, ZHANG R R, et al. Fruit sorting system based on machine vision[J]. Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition), 2017, 30(1): 93-96.
- [21] 张千, 高国琴. 并联机器人串类水果抓取模型及抓取位姿计算[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 37-47.
- ZHANG Q, GAO G Q. Parallel robot string fruit grasping model and grasping posture calculation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(23): 37-47.