

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90179

基于 Delta 机器人的食品生产线 动态目标抓取方法

Dynamic target grasping method of food production line based on Delta robot

毕宪东¹ 王 振² 李朝龙³BI Xian-dong¹ WANG Zhen² LI Chao-long³

(1. 安阳中等职业技术学校, 河南 安阳 455000; 2. 河南科技大学, 河南 洛阳 471000;
3. 华北理工大学, 河北 唐山 063210)
(1. Anyang Secondary Vocational and Technical School, Anyang, Henan 455000, China;
2. Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China;
3. North China University of Technology, Tangshan, Hebei 063210, China)

摘要:目的:解决当前食品生产中 Delta 机器人在动态目标抓取方面存在的精度差、效率低等问题。方法:提出了一种新的动态目标抓取方法用于食品生产线中 Delta 机器人的抓取控制,通过传送带的偏移量和编码器的反馈值计算目标的动态位置,优化目标的抓取顺序,并结合门型轨迹和改进的梯形加减速算法对动态目标进行抓取。通过试验对优化前后的控制方法进行分析。结果:在 20 mm/s 的输送速度下,优化前后机器人漏抓率由 3.33% 降至 0,抓取速度从 0.756 个/s 提高到 0.860 个/s;在 30 mm/s 的输送速度下,优化前后机器人漏抓率由 8.83% 降至 0,抓取速度从 0.885 个/s 提高到 1.130 个/s。结论:动态目标抓取方法能有效提高 Delta 机器人的抓取效率。

关键词:Delta 机器人;动态目标;抓取方法;门型轨迹;梯形加减速算法;食品生产线

Abstract: Objective: In order to solve the problems of poor accuracy and low efficiency of delta robot in dynamic target grasping in current food production. Methods: A new dynamic target grasping method was proposed for the grasping control of delta robot in food production line. The dynamic position of the target was calculated through the offset of the conveyor belt and the feedback value of the encoder, and the grasping order of the target was optimized. The dynamic target was grasped by combi-

ning the door trajectory and the improved trapezoidal acceleration and deceleration algorithm. The control methods before and after optimization were analyzed through experiments. Results: At the conveying speed of 20 mm/s, the missed grasping rate of the robot before and after optimization decreased from 3.33% to 0, and the grasping speed increased from 0.756 s⁻¹ to 0.860 s⁻¹. At the conveying speed of 30 mm/s, the missed grasping rate of the robot before and after optimization was reduced from 8.83% to 0, and the grasping speed was increased from 0.885 pieces/s to 1.130 pieces/s. Conclusion: The dynamic target grasping method can effectively improve the grasping efficiency of delta robot.

Keywords: Delta robot; dynamic target; grasping method; gate track; trapezoidal acceleration and deceleration algorithm; food production line

近年来,随着“工业 4.0”浪潮席卷全球,各国都在关注制造业的转型和精细化,提高制造业的自动化水平是大势所趋^[1]。机器人是自动化时代的象征,是智能时代的基石^[2]。以工业机器人技术为代表的智能化生产线越来越受到人们的重视,Delta 机器人凭借诸多优点在食品、医药等轻工生产中应用广泛。目前,国内外对 Delta 机器人相关技术的研究较多,但对 Delta 机器人抓取方法的研究较少。苏婷婷等^[3]提出了一种基于法拉利方法的动态物体抓取方法。结果表明,相比于传统方法,该抓取位置的计算更加准确、快速,满足实时性要求,不需要设置初始值,使用方便。郝大孝等^[4]提出了一种新的动态抓取方法用于 Delta 机器人抓取控制。结果表明,该方法的抓取成功率小于 2%,误抓率为 0,满足抓取的实时性要求。陈志伟等^[5]提出了一种基于机械视觉的平面抓取

基金项目:河南省职业教育教学改革研究与实践项目(编号:豫教[2021]57990)

作者简介:毕宪东(1974—),女,安阳中等职业技术学校高级讲师。E-mail: bxd155172@163.com

收稿日期:2021-10-07

方法用于 Delta 机器人控制。结果表明,机器视觉与并联机器人相结合能够准确地识别、抓取和放置工件。胡斐等^[6]提出了一种基于改进粒子群优化算法的 Delta 机器人抓取控制方法。以路径最短和稳定性最优为优化目标,通过粒子群优化轨迹。结果表明,相比于优化前,该控制方法抓取效率得到大幅提高,对机构末端的影响降到最低。但上述方法都存在抓取动态目标时稳定性不足、泛化能力弱等问题,需要进一步提高适应性。

因此,研究提出一种新的动态目标抓取方法用于食品生产线 Delta 机器人的抓取控制。通过传送带的偏移量和编码器的反馈值计算目标的动态位置,优化目标的抓取顺序。采用门型轨迹与改进的梯形加减速算法相结合用于 Delta 机器人的动态目标抓取。并通过试验进行了验证。旨在为中国食品生产线的智能化发展提供一定参考。

1 系统概述

Delta 机器人抓取系统结构如图 1 所示,由 3 个主要部分组成:控制系统、视觉系统和执行机构^[7]。视觉系统直接安装在传送带上方的进料口。相机采集信息被发送到控制系统,控制系统结合抓取路径和方式确定抓取位置^[8]。执行机构为机器人本体,根据控制指令对目标进行抓取。

图 2 为食品生产线中的 Delta 机器人结构,由四部分组成:动、静平台和主、从动臂^[9]。静平台上配备减速器,采用法兰将减速器与伺服电机连接,通过球形铰链将动平台与从动臂连接,每个支链包括主、从动臂。

2 动态抓取方法

文中通过传送带的偏移量和编码器的反馈值来计算目标的动态位置,优化目标的抓取顺序,结合门型轨迹和改进的梯形加减速算法进行动态目标抓取。

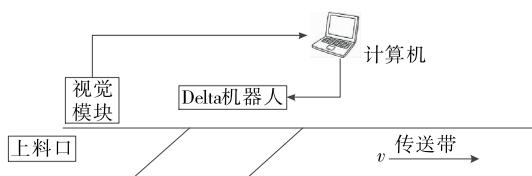
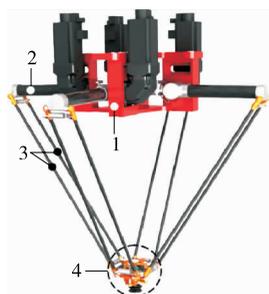


图 1 系统结构

Figure 1 System structure



1. 静平台 2. 主动臂 3. 从动臂 4. 动平台

图 2 Delta 机器人结构

Figure 2 Delta robot structure

2.1 传送带标定

标定是确定转换矩阵(机器人与传送带坐标)和编码器的比例因子。传送带坐标系记为 C , 机器人坐标系记为 R , 转换矩阵记为 ${}^R T$ 。传送带的示意图如图 3 所示。

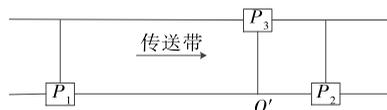


图 3 传送带示意图

Figure 3 Schematic diagram of conveyor belt

点 P_1 和 P_2 分别为机器人抓取区域的上、下限点,其坐标为 ${}^R P_1(x_1, y_1, z_1)$ 和 ${}^R P_2(x_2, y_2, z_2)$ 。机器人移动到 P_1 点和 P_2 点的编码器值分别为 c_1, c_2 。点 P_3 为靠近机器人边缘点(传送带),其坐标为 ${}^R P_3(x_3, y_3, z_3)$, O' 为相对坐标原点。比例因子可以采用实际距离除以脉冲数进行计算,如式(1)所示^[10]。

$$d_c = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}{|c_1 - c_2|} \quad (1)$$

由于 $P_3 O'$ 垂直于 $P_1 P_2$ (见图 3), 根据向量几何关系可以得到式(2)^[11]。

$$\begin{cases} {}^R P_3 O' \cdot {}^R P_2 O' = 0 \\ |{}^R P_1 O' \cdot {}^R P_1 R P_2| = 0 \\ ({}^R P_3 O' \cdot {}^R P_1 R P_2) \cdot {}^R P_1 R P_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

根据式(2)即可求出 O' 的坐标, 传送带基座坐标系如式(3)所示^[12]。

$$\begin{cases} {}^C X = \frac{{}^R P_2 O'}{|{}^R P_2 O'|} \\ {}^C Y = \frac{{}^R P_3 O'}{|{}^R P_3 O'|} \\ {}^C Z = {}^C X \cdot {}^C Y \end{cases} \quad (3)$$

通过式(3)可以求出转换矩阵 ${}^R T$, 如式(4)所示^[13]。

$${}^R T = \begin{bmatrix} {}^C X & {}^C Y & {}^C Z & O' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

根据得到的 ${}^R T$ 和 d_c , 可以计算出任意点 P 的相对位置, 如式(5)所示。

$${}^R P = {}^R T \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta L \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^C P, \quad (5)$$

式中:

ΔL ——传送距离 [$\Delta L = (c_n - c_0) d_c$], mm。

2.2 目标动态位置

不考虑波动情况, 当相机识别并定位目标时, 将目标坐标记为 (x_0, y_0) , 将此时间记为 t_0 , 编码器的脉冲值 c_0 。因此, 根据编码器反馈值, 目标在任意时间 t_1 的坐标 (x_{t_1}, y_{t_1}) 如式(6)所示^[14]。

$$\begin{cases} x_{t_1} = x_0 + (t_1 - t_0)v = x_0 + (c_n - c_0)d_c \\ y_{t_1} = y_0 \end{cases} \quad (6)$$

但是皮带沿直线移动,在 y 方向上会有一些的偏移。 y 方向偏移标记为 y_r ,目标动态如式(7)所示。

$$\begin{cases} x_{t_1} = x_0 + (c_n - c_0)d_c \\ y_{t_1} = y_0 + y_r \end{cases} \quad (7)$$

2.3 Delta 机器人动态抓取位置

将点 A 作为机器人的初始位置,点 B 作为目标食物的坐标,在点 B 抓取目标食品^[15]。根据机器人的运行时间和传送带的运行时间,机器人在点 C 抓取。机器人的实际抓取路径为 AC 。点 C 的坐标如式(8)所示^[16]。

$$\begin{cases} x_C = x_B + \Delta t \cdot v \\ y_C = y_B + y_r \end{cases} \quad (8)$$

由于机器人初始位置 A 的坐标 (x_{rob}, y_{rob}) 已知,机器人的末端位移 s 如式(9)所示^[17]。

$$s = \sqrt{(x_C - x_{rob})^2 + (y_C - y_{rob})^2} \quad (9)$$

文中采用门型轨迹进行轨迹规划,在一定程度上降低了位移弯曲点的振动和行程^[18]。如图4所示机器人根据 $P_1-P_2-P_3-P_4-P_5-P_6$ 轨迹进行抓取。

Delta 机器人采用门型轨迹进行规划,考虑到机器人高速运行时加速度很大且振动剧烈,文中采用改进的梯形加减速算法控制机器人,加速度如式(10)所示^[19]。

$$a = \begin{cases} a_{\max} \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right), 0 \leq t \leq \frac{1}{8}T \\ a_{\max}, \frac{1}{8}T < t \leq \frac{3}{8}T \\ a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{T}\left(t - \frac{3}{8}T\right)\right], \frac{3}{8}T < t \leq \frac{5}{8}T \\ -a_{\max}, \frac{5}{8}T < t \leq \frac{7}{8}T \\ -a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{T}\left(t - \frac{3}{8}T\right)\right], \frac{7}{8}T < t \leq T \end{cases} \quad (10)$$

在实际抓取过程中,通常 P_1-P_2 和 P_5-P_6 段的路径较短, P_3-P_4 段的路径较长。因此,可以引入调整参数来提高 P_1-P_2 和 P_5-P_6 段机器人的平滑度和 P_3-P_4 段的初始速度。改进后的加速度如式(11)所示^[20]。

$$s = \begin{cases} -\left(\frac{2T}{n\pi}\right)^2 a_{\max} \sin\left(\frac{n\pi}{2T}t\right) + \frac{2T}{n\pi} a_{\max} t, 0 \leq t \leq \frac{1}{n}T \\ \frac{1}{2} a_{\max} t^2 + \left(\frac{2}{n\pi} - \frac{1}{n}\right) a_{\max} T t + \left(\frac{1}{2n^2} - \frac{1}{2n\pi^2}\right) a_{\max} T^2, \frac{1}{n}T < t \leq \frac{n-2}{2n}T \\ -\left(\frac{2T}{n\pi}\right)^2 a_{\max} \cos\left[\frac{n\pi}{2T}\left(t - \frac{n-2}{2n}T\right)\right] + \left(\frac{2}{n\pi} + \frac{2}{n}\right) a_{\max} T t - \frac{T^2}{16} a_{\max}, \frac{n-2}{2n}T < t \leq \frac{n+2}{2n}T \\ -\frac{1}{2} a_{\max} t^2 + \left(\frac{2}{n\pi} - \frac{n-1}{n}\right) a_{\max} T t + \left(\frac{1}{2n^2} - \frac{n^2-2n+2}{2n\pi^2}\right) a_{\max} T^2, \frac{n+2}{2n}T < t \leq \frac{n-1}{n}T \\ \left(\frac{2T}{n\pi}\right)^2 a_{\max} \cos\left[\frac{n\pi}{2T}\left(t - \frac{n-1}{n}T\right)\right] + \frac{2T}{n\pi} a_{\max} t + \frac{1}{n} a_{\max} T^2, \frac{n-1}{n}T < t \leq T \end{cases} \quad (13)$$

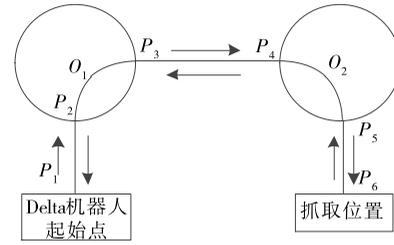


图4 抓取运行路径

Figure 4 Grab the run path

$$a = \begin{cases} a_{\max} \sin\left(\frac{n\pi}{2T}t\right), 0 \leq t \leq \frac{1}{n}T \\ a_{\max}, \frac{1}{n}T < t \leq \frac{n-2}{2n}T \\ a_{\max} \cos\left[\frac{n\pi}{2T}\left(t - \frac{n-2}{2n}T\right)\right], \frac{n-2}{2n}T < t \leq \frac{n+2}{2n}T \\ -a_{\max}, \frac{n+2}{2n}T < t \leq \frac{n-1}{n}T \\ -a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{T}\left(t - \frac{n-1}{n}T\right)\right], \frac{n-1}{n}T < t \leq T \end{cases} \quad (11)$$

对式(11)进行积分可以得到如式(12)所示的速度 v (初始和终止速度均为0)^[21]。

$$v = \begin{cases} -\frac{n\pi}{2T} a_{\max} \cos\left(\frac{n\pi}{2T}t\right) + \frac{2T}{n\pi} a_{\max}, 0 \leq t \leq \frac{1}{n}T \\ a_{\max} t + \left(\frac{2}{n\pi} - \frac{1}{n}\right) a_{\max} T, \frac{1}{n}T < t \leq \frac{n-2}{2n}T \\ \frac{2T}{n\pi} a_{\max} \sin\left[\frac{n\pi}{2T}\left(t - \frac{n-2}{2n}T\right)\right] + \left(\frac{2}{n\pi} + \frac{2}{n}\right) a_{\max} T, \frac{n-2}{2n}T < t \leq \frac{n+2}{2n}T \\ -a_{\max} + \left(\frac{2}{n\pi} - \frac{n-1}{n}\right) a_{\max} T, \frac{n+2}{2n}T < t \leq \frac{n-1}{n}T \\ -\frac{2T}{n\pi} a_{\max} \sin\left[\frac{n\pi}{2T}\left(t - \frac{n-1}{n}T\right)\right] + \frac{2T}{n\pi} a_{\max}, \frac{n-1}{n}T < t \leq T \end{cases} \quad (12)$$

对式(12)进行积分可以得到如式(13)所示的位移 s (初始位移为0)^[22]。

将 $t = T$ 代入式(13)中,可以得到时间 T ,如式(14)所示。

$$T = \sqrt{\frac{s}{\left(\frac{2}{n\pi} + \frac{1}{n}\right)a_{\max}}} \quad (14)$$

结合式(8)、式(9)和式(14),可以得到机器人实际抓取点坐标。

2.4 动态抓取顺序优化算法

在机器人动态抓取过程中,视觉系统依次识别目标物体,然后机器人按照识别目标的顺序对目标进行排序^[23]。视觉识别的顺序是随机的,这会增加抓取路径,降低抓取效率。文中以超出工作范围的时间和最短抓取路径为约束,提出一种顺序优化方法。

食品盘长约 600 mm,最多可容纳 24 个月饼,托盘中的目标对象在相机视野中不完整。因此,需要多次采集,而多次采集会出现重复现象。因此,首先要消除图像的重复。文中采用相机距离间隔拍摄采集图像,通过实际测试,选择相机视野长度的 1/2 作为相机拍摄的距离间隔。由于距离间隔小于视野的长度,相邻图形存在重复目标。由于传送带沿水平方向直线移动,相邻图像后一幅的重叠目标坐标如式(15)所示。

$$\begin{cases} x'_i = x_i + (c_2 - c_1)d_c \\ y'_i = y_i \end{cases} \quad (15)$$

式中:

c_1, c_2 ——图像 1 和图像 2 的编码器值。

上述分析的是一种理想的情况,在实践中会出现误差。因此,有必要引入误差值 ϵ_x 和 ϵ_y 。误差小于 ϵ_x 和 ϵ_y ,确定为重复目标进行消除。

假设传送带沿 x 轴方向移动,机器人抓取区域上限在 x 方向的坐标为 x_{up} 和下限坐标为 x_{down} ,传送带的运行速度为 v ,目标物离开工作区的时间 T 可用式(16)计算。

$$T = \frac{x_d - x_{down}}{v} \quad (16)$$

式中:

x_d ——抓取目标首次进入抓取空间的 x 方向坐标。

按 T 时间排序的目标采集顺序记为 S_{rank} ,并对其进行优化,为了提高机器人的抓取率,可以考虑最短分拣路径的抓取模式。

假设有两个目标物体 A 和 B ,坐标分别为 (x_a, y_a) 和 (x_b, y_b) ,机器人起始位置的坐标 O 为 (x_0, y_0) ,对应两个放置点 F_1 和 F_2 的坐标 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 。机器人抓取路径为 $O \rightarrow A \rightarrow F_1 \rightarrow B \rightarrow F_2$,位移如式(17)所示。

$$\begin{cases} L_{AB,1} = \sqrt{(x_0 - x_a)^2 + (y_0 - y_a)^2} \\ L_{AB,2} = \sqrt{(x_a - x_1)^2 + (y_a - y_1)^2} \\ L_{AB,3} = \sqrt{(x_1 - x_b - vt_1)^2 + (y_1 - y_b)^2} \\ L_{AB,4} = \sqrt{(x_b - x_2 + vt_1)^2 + (y_b - y_2)^2} \end{cases} \quad (17)$$

式中:

t_1 ——机器人将第一个目标物体从起始点放置到目标位置所需的时间, s 。

总路径 S_{AB} 是上述四段的总和。同理可以得到先抓 B 后抓 A 的距离 S_{BA} 。 t_1 可由式(18)求得。

$$t_1 = \sqrt{\frac{L_{AB,1}}{\left(\frac{2}{n\pi} + \frac{1}{n}\right)a_{\max}}} + \sqrt{\frac{L_{AB,2}}{\left(\frac{2}{n\pi} + \frac{1}{n}\right)a_{\max}}} \quad (18)$$

根据上述思路,找到最优抓取顺序。

3 结果与分析

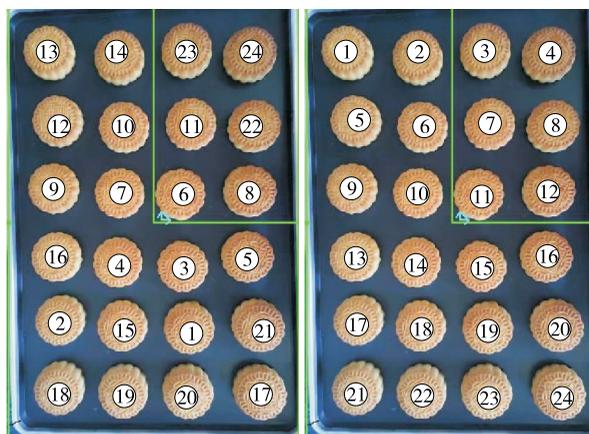
3.1 试验参数

为了验证所提控制方法的有效性,对优化前后的控制方法进行对比分析。为了确保准确性,对优化前后两种抓取方法进行多次试验取平均值。Delta 机器人采用 PMAC 系列运动控制器、交流伺服驱动器 A-SV15、伺服电机 60ST-M0190、减速机 PLX60-5 和相机 acA1600-20gc-Baslerace。电脑为联想 PC,操作系统为 windows 10 64 位旗舰,Intel i5 2450m CPU,2.5 GHz 主频,8 GB 内存,人机界面由 VS2018 开发。

3.2 顺序优化分析

为了验证顺序优化方法的性能,与未优化效果进行对比分析。通过机器人视觉识别图像中的目标,去除图像中目标物体的重复后,重新排列机器人的目标抓取顺序。图 5 为 Delta 机器人抓取顺序优化前后对比图。

从图 5(a)中可以看出,未优化的抓取顺序为识别序列随机排序,非常混乱,第一个抓取目标位于最后,此外,抓取目标 14 和 15 位于图像两端,大大增加了机器人的抓取路径。同时,如果传送带速度过快,目标物体可能会跑出工作区域。从图 5(b)可以看出,Delta 机器人的优化抓取顺序为最优顺序,抓取路径明显短于优化前。通过缩短机器人的路径,来提高抓取效率。



(a) 优化前 (b) 优化后

图 5 优化前后的抓取顺序

Figure 5 Crawl order before and after optimization

3.3 性能分析

对文中方法在抓取稳定性和效率方面的性能进行试验验证,为了尽可能接近实际工况,将相机的拍摄频率设置为 100 帧,传送带速度分别设置为 20, 30, 40 mm/s。末端的最大速度和加速度分别为 $v = 4 \text{ m/s}$ 、 $a_{\max} = 300 \text{ m/s}^2$ 。通过优化目标物体的抓取顺序,提高机器人抓取效率。月饼托盘长 600 mm, Delta 机器人抓取最大长度 600 mm, 目标总数为 240 个, 机器人进行动态抓取试验。

3.3.1 抓取成功率 通过实际抓取试验,对优化前后抓取成功率进行了对比分析。共有 240 个月饼,确保每次测试中,传送带上的食品数量、分布密度和抓取速度相同。对优化前后两种抓取方法进行多次试验以获得平均值,结果如表 1 所示。

表 1 抓取方法优化前后准确率对比

Table 1 Comparison of the accuracy before and after the optimization of the grasping method

算法	试验序号	输送食品数/个	抓取食品数/个	输送速度/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	抓取成功率/%
优化前	1	240	232	20	96.67
	2	240	220	30	91.17
	3	240	201	40	83.75
优化后	1	240	240	20	100.00
	2	240	240	30	100.00
	3	240	230	40	95.83

从表 1 可以看出,整个系统的目标识别率相对稳定。在相同的食品运输速度下,如果未优化机器人抓取顺序,随着带速增加不断降低。输送速度为 20 mm/s 时抓取成功率为 96.67%,输送速度为 30 mm/s 时抓取成功率为 91.17%,输送速度为 40 mm/s 时抓取成功率为 83.75%,优化后分别提高到 100.00%, 100.00%, 95.83%。优化后,当传送带速度为 20, 30 mm/s 时,不存在漏抓现象,但当传送带速度增加到 40 mm/s 时,存在漏抓现象,主要原因是机器人的抓取频率跟不上传送带的运输能力。

3.3.2 分拣效率 当传送带速度相同且食品分布密度相同时,记录抓取 240 个月饼的总时间,并重复 30 次取平均值。根据试验数据,计算优化前后的平均抓取率,结果见表 2。

从表 2 可以看出,在相同的带速下,对目标物体的优化后 Delta 机器人的抓取效率得到了显著提高。主要原因是由于排序的随机性,抓取目标分布混乱,等待时间较长,随机排序会增加机器人的路径。

4 结论

针对食品生产线中 Delta 机器人的抓取控制问题,提

表 2 抓取方法优化前后效率对比

Table 2 Efficiency comparison before and after optimization of the grasping method

输送带速度/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	平均抓取率/($\text{个} \cdot \text{s}^{-1}$)	
	优化前	优化后
20	0.756	0.860
30	0.885	1.130
40	0.890	1.230

出了一种新的动态目标抓取方法。通过传送带的偏移量和编码器的反馈值计算目标的动态位置。为了优化目标的抓取顺序,采用门型轨迹与改进的梯形加减速算法结合实现动态目标抓取。结果表明,当传送带速度为 20, 30 mm/s 时,无漏抓现象,效率分别达到 0.860, 1.130 个/s。与优化前的方法相比,优化后的方法可以有效提高 Delta 机器人抓取效率和准确率。但试验中采用位置预测方法计算实际抓取位置,在实际应用中存在打滑等情况导致抓取误差,有必要结合新的方法分析传送带偏差情况,改进序列优化算法,进一步提高 Delta 机器人的智能化水平。

参考文献

- [1] 赵利平, 吴德刚. 基于小波与模糊相融合的苹果分级算法[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 142-145.
ZHAO Li-ping, WU De-gang. Apple grading algorithm based on Wavelet and fuzzy fusion[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 142-145.
- [2] 宋海涛, 何文浩, 原魁. 一种基于 SIFT 特征的机器人环境感知双目立体视觉系统[J]. 控制与决策, 2019, 34(7): 1 545-1 552.
SONG Hai-tao, HE Wen-hao, YUAN Kui. A binocular stereo vision system for robot environment perception based on SIFT feature[J]. Control and Decision Making, 2019, 34(7): 1 545-1 552.
- [3] 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, 110.
SU Ting-ting, ZHANG Hao-jian, WANG Yun-kuan, et al. Delta robot dynamic target grasping algorithm based on Ferrari method[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2018, 46(6): 128-132, 110.
- [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.
HAO Da-xiao, SHU Zhi-bing, SUN Xue. Design of delta robot sorting and tracking system based on machine vision[J]. Machine Tools and Hydraulics, 2019, 47(17): 36-42.
- [5] 陈志伟, 徐世许, 刘云鹏. 基于视觉筛选的并联机器人平面抓取系统设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40(5): 44-47.
CHEN Zhi-wei, XU Shi-xu, LIU Yun-peng. Design of parallel robot plane grasping system based on visual screening[J]. Manufacturing

- Automation, 2018, 40(5): 44-47.
- [6] 胡斐, 李维嘉, 汪潇. 基于视觉引导的 Delta 型并联机器人运动优化[J]. 机械与电子, 2018, 36(6): 71-75.
HU Fei, LI Wei-jia, WANG Xiao. Motion optimization of delta parallel robot based on vision guidance[J]. Machinery and Electronics, 2018, 36(6): 71-75.
- [7] 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 Teng, QIN Teng-fei, ZHANG Ru-ru, et al. Fruit sorting system based on machine vision[J]. Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition), 2017, 30(1): 93-96.
- [8] 周伟, 徐颖若. 基于 PLC 和图像处理的水果分类智能控制系统[J]. 农机化研究, 2021, 12(5): 235-239.
ZHOU Wei, XU Ying-ruo. Intelligent control system of fruit classification based on PLC and image processing[J]. Agricultural Mechanization Research, 2021, 12(5): 235-239.
- [9] 赵小霞, 李志强. 基于 PLC 和机器视觉的水果自动分级系统研究[J]. 农机化研究, 2021, 12(8): 75-79.
ZHAO Xiao-xia, LI Zhi-qiang. Research on automatic fruit grading system based on PLC and machine vision[J]. Agricultural Mechanization Research, 2021, 12(8): 75-79.
- [10] 李雅倩. 并联机器人夹持机构串类水果夹取控制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2020: 27-29.
LI Ya-qian. Research on the control of parallel robot clamping mechanism for serial fruit clamping[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2020: 27-29.
- [11] 杨双艳, 杨紫刚, 张四伟, 等. 基于近红外光谱和 PSO-SVM 算法的烟叶自动分级方法[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(12): 141-144.
YANG Shuang-yan, YANG Zi-gang, ZHANG Si-wei, et al. Automatic tobacco grading method based on near infrared spectroscopy and PSO-SVM algorithm[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(12): 141-144.
- [12] 王阳阳, 黄勋, 陈浩, 等. 基于同态滤波和改进 K-means 的苹果分级算法研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 47-51, 112.
WANG Yang-yang, HUANG Xun, CHEN Hao, et al. Apple grading algorithm based on homomorphic filtering and improved K-means[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 47-51, 112.
- [13] 王立扬, 张瑜, 沈群, 等. 基于改进型 LeNet-5 的苹果自动分级方法[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(7): 105-110.
WANG Li-yang, ZHAN Yu, SHEN Qun, et al. Automatic apple classification method based on improved LeNet-5[J]. Chinese Journal of Agricultural Mechanochemistry, 2020, 41(7): 105-110.
- [14] 于蒙, 李雄, 杨海潮, 等. 基于图像识别的苹果的等级分级研究[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(7): 39-43.
YU Meng, LI Xiong, YANG Hai-chao, et al. Apple grading based on image recognition[J]. Automation and Instrumentation, 2019, 34(7): 39-43.
- [15] 樊泽泽, 柳倩, 柴洁玮, 等. 基于颜色与果径特征的苹果果实检测与分级[J]. 计算机工程与科学, 2020, 42(9): 1 599-1 607.
FAN Ze-ze, LIU Qian, CHAI Jie-wei, et al. Apple fruit detection and grading based on color and fruit diameter characteristics[J]. Computer Engineering and Science, 2020, 42(9): 1 599-1 607.
- [16] 王冉冉, 刘鑫, 尹孟, 等. 面向苹果硬度检测仪的声振信号激励与采集系统设计[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(1): 111-118.
WANG Ran-ran, LIU Xin, YIN Meng, et al. Design of acoustic vibration signal excitation and acquisition system for Apple hardness tester[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences Edition), 2020, 46(1): 111-118.
- [17] 于文妍, 杨坤林. 四旋翼无人机串级模糊自适应 PID 控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2019, 12(1): 227-231.
YU Wen-yan, YANG Kun-lin. Design of cascade fuzzy adaptive PID control system for quadrotor UAV[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2019, 12(1): 227-231.
- [18] 张树生, 马静雅, 岑强, 等. 煤矿综采工作面巡检机器人系统研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 136-140.
ZHANG Shu-sheng, MA Jing-ya, CEN Qiang, et al. Research on inspection robot system of fully mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10): 136-140.
- [19] 滕游, 刘安东, 俞立. 采用内点法和图像反馈的机器人视觉伺服预测控制[J]. 小型微型计算机系统, 2021, 42(1): 196-200.
TENG You, LIU An-dong, YU Li. Predictive control of robot visual servo based on interior point method and image feedback[J]. Minicomputer System, 2021, 42(1): 196-200.
- [20] GAUTAM J V, PRAJAPATI H B, DABHI V K, et al. Empirical study of job scheduling algorithms in hadoop map reduce[J]. Cybernetics and Information Technologies, 2017, 21(1): 146-163.
- [21] CAETANO C E F, LIMA A B, PAULINO J O S, et al. A conductor arrangement that overcomes the effective length issue in transmission line grounding[J]. Electric Power Systems Research, 2018, 46(5): 159-162.
- [22] JIA Zhi-wei, WANG Li-jun, ZHANG Jin-chuan, et al. High efficiency, low power-consumption DFB quantum cascade lasers without lateral regrowth[J]. Nanoscale Research Letters, 2017, 12(1): 88-95.
- [23] 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.
LIU Jie, SUN Yan-yong, GAO Lei. Design of delta robot dynamic grasping control system based on NJ motion controller [J]. Electronic Devices, 2018, 41(6): 1 554-1 559.