

基于并联机器人的包装分拣系统设计

付瑞玲, 禹春来, 范甜甜
(黄河科技学院, 郑州 450000)

摘要: **目的** 针对我国食品生产和包装存在的效率低、分拣精度不高等问题, 基于并联机器人设计一种包装分拣控制系统。**方法** 根据机器人自动分拣系统的结构, 采用一种基于时间和工件位置的图像去重复算法, 以去掉重复信息。为了提高抓取精度, 基于 PID 算法设计一种位置跟踪控制器, 能够判断物体位置并实时调整并联机器人末端执行器, 以实现目标物体的动态跟踪和抓取。结合工业控制机和运动控制卡搭建控制系统, 并进行实验研究。**结果** 实验过程中最快分拣速度可达到 120 次/min, 漏抓率为 0, 误抓率小于 0.2%。**结论** 所述控制系统具有较高的稳定性和准确性, 可满足实时性要求。

关键词: 食品包装; 分拣; 并联机器人; PID 控制; 位置跟踪

中图分类号: TB486; TP242.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)11-0204-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.036

Design of Packaging and Sorting System Based on Parallel Robot

FU Rui-ling, YU Chun-lai, FAN Tian-tian
(Huanghe S&T University, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: The work aims to design a kind of packaging and sorting control system based on parallel robot regarding the problem of low efficiency and sorting accuracy in food production and packaging. According to the structure of automatic sorting system of robot, an image deduplication algorithm based on time and workpiece position was used to remove duplicate information. In order to improve the grasping precision, a position tracking controller was designed based on PID algorithm. The object position could be judged and parallel robot terminal actuator could be adjusted in real time, so as to realize the target object's dynamic tracking and grabbing. Combined with industrial control machine and motion control card, the control system was built and experiment research was carried out. In the experiment, the fastest sorting speed could reach 120 times/min, the leakage rate was 0 and the false catch rate was less than 0.2%. The proposed control system has higher stability and accuracy, which can meet the real-time requirement.

KEY WORDS: food packaging; sorting; parallel robot; PID control; position tracking

随着经济发展和生活水平的不断提高, 劳动力短缺和用人成本上升之间的矛盾日益突出, 显然已经成为制约传统产业发展的主要瓶颈^[1-3]。如何实现传统产业结构的调整和升级已成为行业发展的关键, 例如将运动控制、机器视觉、并联机器人等先进技术应用到食品生产行业, 搭建一种自动分拣包装系统, 不仅能够确保食品卫生安全, 而且可以降低工人劳动强度, 提高生产效率^[4-8]。

分拣是食品生产、包装过程的一个重要环节, 常

用分拣方式大多基于离线编程或示教模式, 目标摆放位置以及机器人动作均需要预先设定^[9-10]。如果机器人的工作环境有出现变化, 势必导致抓取错误。为解决此问题, 可以使用机器视觉技术^[11]。作为一种非接触式的测量方式, 摄像机用来模拟人类视觉实现对客观事物的判断和测量^[12]。同时利用图像处理算法获取准确图像信息, 进而完成定位和抓取。将并联机器人与机器视觉相结合, 可以提高分拣作业的柔性和可靠性, 保证分拣工序和作业对象按需随时变换^[13-15]。

收稿日期: 2018-02-05

基金项目: 河南省科技计划 (172102210379); 河南省教育厅自然科学基金计划 (17A413008)

作者简介: 付瑞玲 (1986—), 女, 硕士, 黄河科技学院讲师, 主要研究方向为机器人定位。

在一定程度上,提高了机器人分拣系统的智能化程度以及工业化生产的效率^[16]。

文中以食品包装分拣为研究对象,重点介绍一种图像去重复算法,以保证图像信息的准确性;设计一种位置跟踪方法和控制系统,可实现分拣机器人的准确抓取,并通过实验验证所属分拣系统抓取的准确性。

1 自动分拣系统

基于并联机器人的食品包装分拣系统见图1。分拣系统主要包括:工业控制计算机、工业相机、图像采集卡、运动控制器、夹持器和并联机器人等。整个系统采用上、下2层控制结构;上位机,以工控机为核心,通过工业相机采集传送带表面食品的原始图像;利用图像处理技术,对食品进行定位、跟踪以及自动分级。下位机,以运动控制器为核心,实现并联机器人和夹持器驱动,按工艺要求将食品送入包装箱,进而完成食品的自动分拣和包装。

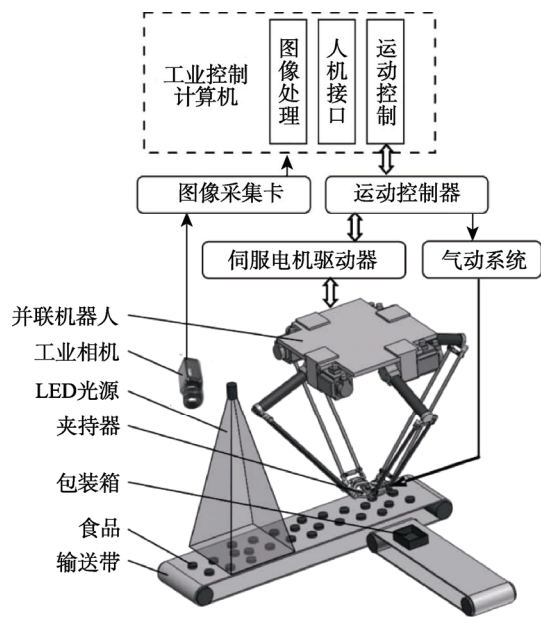


图 1 食品包装分拣系统
Fig.1 Food packaging and sorting system

食品包装分拣系统结合工业控制计算机和运动控制卡进行设计,其中工控机是整个系统的核心;运动控制卡则负责电机直接控制。运动控制卡通过PCI总线与工控机通信,可以用于控制 x 、 y 、 z 轴和 A 轴等4个伺服电机,完成3-DOF并联机器人各关节运动控制以及执行机构的运动控制。控制系统结构见图2。

运动控制卡型号为 ADT-8948A1,其是一种配有PCI总线的高性能四轴运动控制器,具有即插即用、支持多种插补形式等特点。可用于1到4轴伺服电机或步进电机的控制;能够实现2轴直线插补和圆弧插

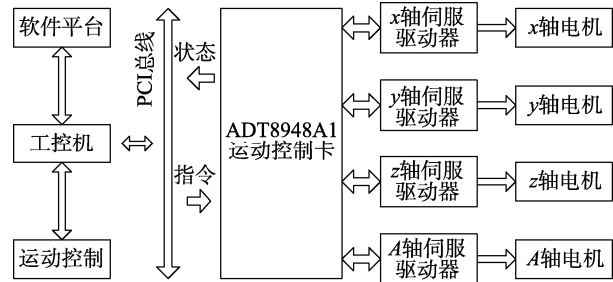


图 2 控制系统结构
Fig.2 Control system structure

补或3轴直线插补。同时具有S形、梯形加减速控制功能,能够实现速度的平滑改变。另外,具有连续插补、多种控制方式等功能,如运动急停、连续运动、定量运动、步进插补功能、同步控制、自动回原点、位置锁存、外部信号驱动等。

伺服驱动系统结合台达 ASDA-B 交流伺服驱动器及伺服电机,支持光耦信号或差分驱动信号输入,并且能够识别反馈信号,如:速度限制、转矩限制、速度到达、定位完成、伺服报警等。另外,该伺服系统具有扭矩控制、速度控制、位置控制等3种控制模式。具体模式可根据工程需要进行选择,文中选用位置控制模式。

2 分拣方法

2.1 图像处理

图像采集过程中容易出现重复信息,严重影响食品的定位、跟踪和抓取。为解决此问题,文中采用一种图像去重复算法,可作如下描述。

建立2个坐标系 $Oxyz$ 和 $O'x'y'z'$,分别代表视觉识别区和机器人抓取区,见图3。沿 x 轴正向将 $Oxyz$ 坐标系平移 l_1 便可获得 $O'x'y'z'$ 坐标系。为确保相机能够捕捉到工件且有足够时间进行图像处理,相机拍摄频率 f 和传送带速度 v 之间需满足:

$$M \times f - v > 0 \tag{1}$$

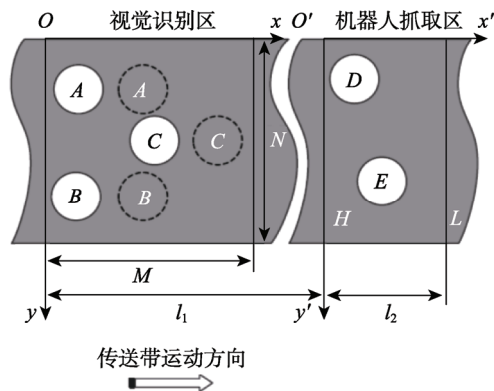


图 3 视觉识别区和抓取区
Fig.3 Visual identification region and picking region

定义当前时刻为 t , 此时 A, B, C 等 3 个工件 (白色圆圈), 对应坐标分别为 (x_a, y_a, z_1) , (x_b, y_b, z_1) , (x_c, y_c, z_1) ; 下一时刻为 t' , 此时 3 个工件已经到达下一位置 (灰色圆圈), 对应坐标分别为 (x'_a, y'_a, z_1) , (x'_b, y'_b, z_1) , (x'_c, y'_c, z_1) 。

如果固定参考位置选定为抓取区域上边界 H , 那么可以将工件 A 抵达抓取区域的时刻 t_a 作为后续动态抓取参数, 能够减少计算量、提高计算速度。

$$t_a = t + \frac{l_1 - x_a}{v} \quad (2)$$

相邻 2 帧拍照时刻满足如下关系:

$$t' = t + \frac{1}{f} \quad (3)$$

此时 A 到达上边界 H 的时刻为:

$$t'_a = t' + \frac{l_1 - x'_a}{v} \quad (4)$$

式 (4) 中存在:

$$x'_a = x_a + \frac{v}{f} \quad (5)$$

由式 (2—5) 可以得到:

$$t_a = t'_a \quad (6)$$

通过上述分析可以看出, 同一物体到达固定参考位置的时刻是不变的, 如果忽略图像采集误差和处理误差, x 坐标不同工件可以用时间维坐标进行区分。同理, 不同帧图像中, 工件的 y 轴坐标也会保持不变, 那么可选取 y 轴坐标作为另外一个参数, 因此坐标 (t_a, y_a) 就是区分图像中不同工件的主要参数。在获取每一帧图像后, 按照式 (7—8) 对比坐标数值, 便能够找出重复工件信息然后将其舍去。

$$|t_a - t'_a| < \varepsilon_1 \quad (7)$$

$$|y_a - y'_a| < \varepsilon_2 \quad (8)$$

2.2 位置跟踪

食品动态抓取过程可描述为: 通过机器视觉获取传送带上目标物位置信息; 机器人控制器通过编码器获取传送带实时速度, 计算当前时刻目标物位置; 当目标到达机器人抓取区域时, 控制器发送控制指令给机器人, 进而实现食品动态抓取。

定义视觉系统坐标系为 V , 机器人系统坐标系为 R , 传送带系统坐标系为 C 。假设视觉系统坐标系中目标物体的位置矢量为 ${}^V\mathbf{P}$, 那么其在机器人系统坐标系中的位置可描述为:

$${}^R\mathbf{P} = {}^R\mathbf{T}^V\mathbf{P} \quad (9)$$

式中: ${}^R\mathbf{T}$ 为 R 到 V 的转换矩阵。同理, 其在传送带系统坐标中的位置可描述为:

$${}^R\mathbf{P} = {}^R\mathbf{T}^C\mathbf{P} \quad (10)$$

式中: ${}^R\mathbf{T}$ 为 R 到 C 的转换矩阵。由式 (10) 可得

到物体在传送带坐标系的位置 ${}^C\mathbf{P}$ 。由于传送带坐标系是移动的, 故有:

$${}^R\mathbf{T}' = \text{Trans}(dx, dy, dz) \times {}^R\mathbf{T} \quad (11)$$

最终得到物体的实际位置为:

$${}^R\mathbf{P} = {}^R\mathbf{T}'^C\mathbf{P} \quad (12)$$

文中采用 PID 算法, 实现传送带上待分拣和包装物体的动态跟踪。一旦食品进入视觉识别区后, 经机器视觉模块处理去掉重复信息, 得到瞬时位置; 然后, 利用坐标系转换, 可以得到机器人系统坐标系下目标物的位置信息 ${}^R\mathbf{P}$; 同时, 利用编码器采集机器人关节信息, 得到机器人末端的位置信息 ${}^R\mathbf{P}_r$, 可表示为 ${}^R\mathbf{P} + \Delta l + vt$, 其中 Δl 表示待抓取目标在传送带上移动距离。那么位置误差可表示为:

$$\begin{aligned} e(t) &= {}^R\mathbf{P} + \Delta l + vt - {}^R\mathbf{P}_r \\ &= {}^R\mathbf{P} - {}^R\mathbf{P}_r + b(t) - b(0) \end{aligned} \quad (13)$$

式中: $b(t)$ 和 $b(0)$ 分别为采样时刻和拍照时刻传送带编码器的读值。

由于动态跟踪过程中不考虑姿态变化, 仅仅是目标物的位置变化, 因此式 (13) 可分解成:

$$\begin{cases} e_x(t) = x_1 - x_r + [b(t) - b(0)] \times \sin \theta \times \cos \gamma \\ e_y(t) = y_1 - y_r + [b(t) - b(0)] \times \cos \theta \times \cos \gamma \\ e_z(t) = z_1 - z_r + [b(t) - b(0)] \times \sin \gamma \end{cases} \quad (14)$$

式中: (x_1, y_1, z_1) 为拍照时刻目标物的位置分量; (x_r, y_r, z_r) 表示采样时刻机器人执行末端的位置分量; γ 为传送带和 xy 平面之间夹角; θ 为传送带和 x 轴之间夹角。

在跟踪过程中, 机械人执行末端目标位置 $\mathbf{P}_{n-1}$ 可表示为:

$$\mathbf{P}_{n-1} = \mathbf{P}_r + m(t) \quad (15)$$

式中: $m(t)$ 为 t 时刻调整量。

$$m(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \Delta t \times e(t) + T_d \frac{e(t)}{\Delta t} \right] \quad (16)$$

各轴分量可表示为:

$$\begin{cases} m_x(t) = K_p \left[e_x(t) + \frac{1}{T_i} \Delta t \times e_x(t) + T_d \frac{e_x(t)}{\Delta t} \right] \\ m_y(t) = K_p \left[e_y(t) + \frac{1}{T_i} \Delta t \times e_y(t) + T_d \frac{e_y(t)}{\Delta t} \right] \\ m_z(t) = K_p \left[e_z(t) + \frac{1}{T_i} \Delta t \times e_z(t) + T_d \frac{e_z(t)}{\Delta t} \right] \end{cases} \quad (17)$$

3 实验与分析

为验证文中所述控制系统的可行性和有效性, 以某型号 Delta 高速分拣机器人为研究对象, 将其应用到食品分拣包装生产线中, 并移植所述控制系统。相机

则选用Cognex CAM-CIC-300-120-G，帧率为120 帧/s；抓取对象采用直径为70 mm的圆片。

实验过程中主要测试不同传送带速度下控制系统的稳定性和准确性。综合考虑尺寸测量、图像采集、图像处理等误差以及实验对象尺寸，选择参数：时间容差 $\varepsilon_1=50\text{ ms}$ ； x 方向位置容差 $\varepsilon_2=4\text{ mm}$ ；迭代误差 $\varepsilon_3=1\text{ mm}$ ，实验结果见表1。

表 1 实验结果
Tab.1 Experiment results

传送带速度/ ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	总数	漏抓数	误抓数
100	500	0	0
150	504	1	0
200	507	1	0

实验过程中，最大抓取速率可达到120 次/min，测试时间持续2 h，误抓率为0，漏抓率小于0.2%。实验结果表明：控制系统具有较高的准确性与稳定性。与文献[16]中实验结果相比，文中所述方法在准确性方面具有一定优势。

经实验发现，所述分拣系统可用于绝大多数食品生产、包装场合，普遍适用于圆形、方形等物品的抓取和分拣。根据机械抓手类型，分拣物体的尺寸跨度比较大，可从10 mm到几百毫米，适用范围较广。

4 结语

分拣是食品生产、包装过程的一个重要环节，常用分拣方式大多基于离线编程或示教模式，容易出现抓取错误。为解决此问题，将并联机器人和机器视觉技术相结合，以提高分拣作业的柔性和可靠性。重点论述了图像去重复算法和位置跟踪控制器的设计方法。实验结果表明：控制系统具有较高的准确性与稳定性，对食品包装分拣生产线的控制系统设计具有一定的借鉴意义。

参考文献：

[1] 郎需林, 靳东, 张承瑞, 等. 基于实时以太网的 DELTA 并联机械手控制系统设计[J]. 机器人, 2013, 35(5): 576—581.
LANG Xu-lin, JIN Dong, ZHANG Cheng-rui, et al. Control System Design of DELTA Parallel Manipulator Based on Real-time Ethernet[J]. Robot, 2013, 35(5): 576—581.
[2] TAN D P, JI S M, JIN M S. Intelligent Computer-aided Instruction Modeling and a Method to Optimize Study

Strategies for Parallel Robot Instruction[J]. IEEE Trans Educ, 2013, 56(3): 268—273.
[3] 王保升, 汪木兰. 基于货单的多品种产品自动分拣系统[J]. 包装工程, 2010, 31(19): 109—112.
WANG Bao-sheng, WANG Mu-lan. Automatic Sorting System for Multi-variety Product Based on Manifest[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(19): 109—112.
[4] YU D. Parallel Robots Pose Accuracy Compensation Using Back Propagation Network[J]. International Journal of Physical Science, 2011, 6(21): 5005—5011.
[5] 刘善增. 三自由度空间柔性并联机器人动力学研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2009.
LIU Shan-zeng. Kinetic Study of Three Degree of Freedom Space Flexible Parallel Robot[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009.
[6] 胡俊峰, 张宪民, 朱大昌, 等. 柔性并联机器人动力学建模[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 209—213.
HU Jun-feng, ZHANG Xian-min, ZHU Da-chang, et al. Dynamic Modeling of Flexible Parallel Robot[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 209—213.
[7] 晏祖根, 王立权, 孙智慧, 等. 面向食品生产的高速自动分拣系统的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 16—18.
YAN Zu-gen, WANG Li-qun, SUN Zhi-hui, et al. Study of High-speed Auto-sorting System for Food Production[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 16—18.
[8] 王攀峰, 梅江平, 陈恒军, 等. 基于多并联机械手的锂离子电池自动分拣装备控制系统设计[J]. 机械工程学报, 2007, 43(11): 63—68.
WANG Pan-feng, MEI Jiang-ping, CHEN Heng-Jun, et al. Control System Design for Automatic Sorting of Lithium Ion Battery Using Multiple Parallel Manipulators[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(11): 63—68.
[9] CHU M, CHEN G, HUANG F J, et al. Active Disturbance Rejection Control for Trajectory Tracking of Manipulator Joint with Flexibility and Friction[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 325/326: 1229—1232.
[10] 庄开岚, 王吉忠, 周洁. 机器视觉技术在角度检测方面的应用研究[J]. 装备制造技术, 2011(4): 9—10.
ZHUANG Kai-lan, WANG Ji-zhong, ZHOU Jie. Application of Machine Vision in Angle Inspection[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011(4):

- 9—10.
- [11] 付伟. PLC 在材料自动分拣系统中的应用[J]. 制造业自动化, 2012, 34(6): 136—138.
FU Wei. Application of PLC in Automatic Sorting System[J]. Manufacturing Automation, 2012, 34(6): 136—138.
- [12] 张文昌. Delta 高速并联机器人视觉控制技术 & 视觉标定技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
ZHANG Wen-chang. Control Technique and Kinematic Calibration of Delta Robot Based on Computer Vision[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.
- [13] 邓明星, 刘冠峰, 张国英. 基于 Delta 并联机器人的传送带动态跟踪[J]. 机械工程与自动化, 2015(1): 153—154.
DENG Ming-xing, LIU Guang-feng, ZHANG Guo-ying. Dynamic Conveyor Tracking for Delta Robot[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2015(1): 153—154.
- [14] 方泳, 袁召云. 基于网络图法的卷烟分拣排程的算法与应用[J]. 烟草科技, 2011(1): 18—22.
FANG Yong, YUAN Zhao-yun. Algorithm of Cigarette Sorting Scheduling Basing on Network Graph and Its Application[J]. Tobacco Science & Technology, 2011(1): 18—22.
- [15] 金美华. 基于 PLC 的滑块自动分拣系统[J]. 制造业自动化, 2011, 33(11): 138—140.
JIN Mei-hua. The Design of Based on PLC Logistics Sorting System[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(11): 138—140.
- [16] 张策. 高速包装机械手视觉控制系统研究与开发[D]. 天津: 天津大学, 2008.
ZHANG Ce. R&D of Vision Control System for a High Speed Packaging Robot[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.