

码垛机器人多箱抓取末端执行器设计与实现

李营¹, 杨传民², 王东爱², 王心宇²

(1.河北工业大学, 天津 300131; 2.天津商业大学, 天津 300134)

摘要: **目的** 为了提高码垛效率, 设计一种能够满足多种产品规格的码垛机器人末端执行器多箱抓取装置, 并通过编程实现码垛控制。**方法** 详细分析末端执行器的结构设计, 借助 SolidWorks 软件平台完成执行器的三维模型。完成真空吸附回路的设计以及真空吸盘的选型计算, 最后通过 PLC 编程完成产品位置点的计算, 并进行实验验证。**结果** 末端执行器依据垛型规划软件的垛型高效地完成了多箱抓取任务。**结论** 此真空吸附式末端执行器具有较高的实用性, 能提高码垛效率。

关键词: 码垛机器人; 多箱抓取; 结构设计; 编程

中图分类号: TB486+.02 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)23-0152-05

Design and Implementation of the Multi-box Grasping End Effector for Palletizing Robot

LI Ying¹, YANG Chuan-min², WANG Dong-ai², WANG Xin-yu²

(1.Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China; 2.Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

ABSTRACT: The work aims to design a multi-box grasping device of palletizing robot end effector that can meet the specifications of various kinds of products and achieve the palletizing control through programming, so as to improve the palletizing efficiency. Through the detailed analysis on the structure design of end effector, the three-dimensional model of effector was set up by means of the SolidWorks platform. The design of vacuum adsorption circuit and the selection calculation of vacuum sucker were finished. In the end, the position point of the product was calculated by PLC programming and the experimental verification was carried out. The end effector efficiently accomplished the task of multi-box grasping according to the stack type in the stack type planning software. The vacuum adsorption end effector has high practicability and can improve the stacking efficiency.

KEY WORDS: palletizing robot; multi-box grasping; structure design; programming

近年来, 码垛机器人广泛应用于物流自动化领域, 机器人技术是现代工业生产的重要基石。机器人应用的原因很多, 包括可靠性和连续不断的高质量的工作。这种自动化技术保证了产品的一致性, 降低了产品的破损率和人工成本^[1]。随着现代企业生产的扩大化, 对码垛机器人的工作能力要求不断提高^[2]。产品的加工和制造所占用的时间远少于包装、检测、存储和运输的时间, 生产线上机器人系统的整体效率与企业的效益直接相关^[3]。目前企业向多品种少批量的生产方式发展, 要求码垛机器人能够处理多种任务来

降低生产成本^[4]。文中拟设计一种吸附式多箱抓取末端执行器。

1 多箱抓取方案分析与确定

文中设计以双箱抓取为例, 实现单双箱码垛的任务。其余多箱抓取装置设计可以参考此结构完成相应设计。为发挥码垛机器人的功能, 需要考虑机器人以怎样的方式抓取产品。码垛机器人的末端执行器抓取方式主要分为吸附式、夹钳式、铲式等类型^[5-7]。由

收稿日期: 2017-04-17

基金项目: “十二五”科技支撑计划(2011BAD24B01)

作者简介: 李营(1988—), 男, 河北工业大学硕士生, 主攻包装机械。

通讯作者: 杨传民(1959—), 男, 天津商业大学教授、博导, 主要研究方向为包装机械和包装材料。

于码放的产品多样,单靠夹持货物抓取方式无法满足使用需求,且刚性接触容易损坏产品,因此设计的执行器采用真空吸附式来码放产品。真空吸附式抓取系统一般由真空发生器和真空吸盘等组成,真空吸盘与产品表面紧密接触形成一定的真空度,保证运动过程中的安全,且抓取或码放时不会对产品造成损坏。为了实现单箱和双箱抓取的任务,需要转换气路装置或 2 条真空气路来完成单双箱的抓取。对于柔性生产线生产出不同规格产品而言,一个机器人应满足不同规格产品的码垛要求^[8],应能够通过调整末端执行器执行机构来实现。通过上述分析,提出了一种可调真空吸盘式多箱抓取末端执行器。

2 结构设计

在 SolidWorks 软件平台上建立了末端执行器的三维模型^[9]。末端执行器主要由联接盘、滑轨、联接块,真空吸盘和真空发生器,电磁阀等组成。吸附式抓取结构方案见图 1。

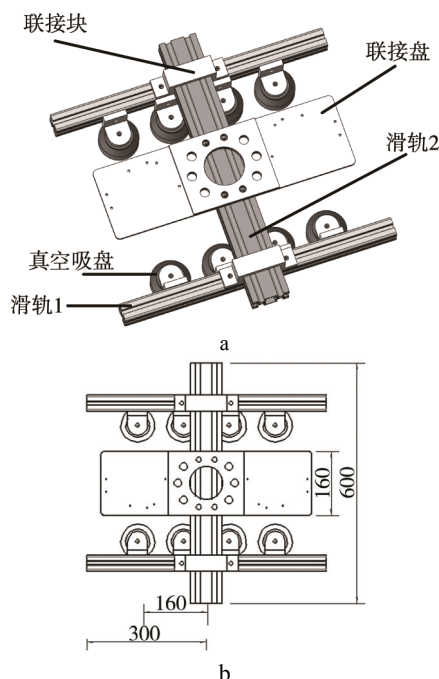


图 1 吸附式抓取结构

Fig.1 The adsorption type gripper

联接盘通过机械接口与机器人腕部直接相连,其余空间用来安装电磁阀,真空发生器,接线端子等^[10]。真空吸盘是产品抓取的重要元器件,8 个吸盘对称分布于滑轨 2 两侧。抓取单箱产品时,图 1a 中间的 4 个吸盘起作用;抓取双箱产品时,8 个吸盘同时起作用,这样保证了对产品均衡的吸附力。抓取的产品中心点始终位于工具坐标系转动中心的正下方,这样减小了机器人腕部所受的惯性力和离心力。吸盘通过 T 型螺母块固定在滑轨 1 上,可以根据产品的宽度做出

调整。滑轨 1 与滑轨 2 通过联结块相连,可以通过移动联结块调整吸盘之间的长度^[11]。由图 1b 可知产品的长度范围为 160~600 mm,宽度范围为 16~300 mm,能够满足市场多种产品的需求。

3 气动系统设计

3.1 气动系统原理

气动系统主要由气源、压力调节回路、电磁阀、节流阀、真空发生器、真空吸盘等组成^[12]。末端执行器的气动原理见图 2。电磁阀由数字输出模块控制,抓取单箱产品时,令控制电磁阀 1 的数字输出口置 TRUE,此时高压气体通过真空发生器形成真空,吸盘与产品表面紧密接触在负压的作用下将产品吸起。当末端执行器运动到放置产品的位置后,电磁阀 1 断电,高压气体通过节流阀直接进入吸盘破坏吸盘内的真空^[13],完成产品的放置工作。电磁阀 1 控制的吸盘为图 2 中间的 4 个,电磁阀 2 控制的吸盘为图 2 中四角的 4 个。通过电磁阀 1 单独作用或电磁阀 1 和 2 同时作用,实现单箱或双箱抓取。

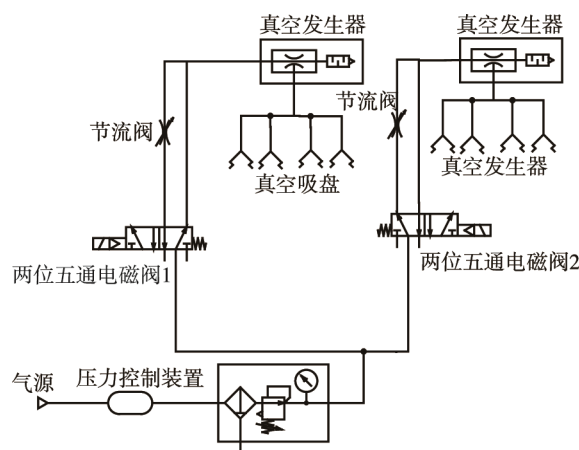


图 2 气动原理

Fig.2 Pneumatic principle

3.2 真空吸盘选型

真空吸盘是真空系统的执行元件,它与真空发生器相连,该设计中真空发生器能够产生的最大真空度为 -91 kPa。经过调压阀的高压、干燥的气体通过电磁阀进入真空发生器形成真空,真空发生器通过 PU 管与吸盘相连接。吸盘的有效面积直接决定产品是否能够安全的到达计算位置,因此吸盘的选择至关重要。在机器人的最大承载能力为 120 kg,由于 8 个吸盘为对称式分布,则每个吸盘的最大吸附力应为 15 kg。吸附工件的真空度设定的如果过高,响应时间就会变长,因此将真空度设定为真空发生器达到真空度的 80%,保留一定的余量。由式 (1) 可求得每个吸盘的吸附力。

$$W = P \times A \times 0.1 \times \frac{1}{S} \quad (1)$$

式中: W 为吸附力 (N); P 为真空度 (kPa); A 为吸盘的面积 (cm^2); S 为安全系数。设安全系数为 2, 吸盘的直径为:

$$D = \sqrt{\frac{4}{3.14 \times 0.1} \times \frac{W \cdot S}{P}} = 72.5 \text{ mm} \quad (2)$$

查 SMC 真空吸盘样本, 选取 SMC 风琴型吸盘 HB80, 材料为丁腈橡胶, 具有耐磨性、耐热性、寿命长等优点。

4 PLC 编程及码垛实验

4.1 PLC 编程

机器人的编程方法有在线示教编程和离线编程^[4]2种。在线编程占用机器人大量的有效时间, 降低设备的使用率, 而离线编程能够提高市场的竞争力和市场反应速度, 因此采用离线编程的方法。PLC 的编程语言遵循 IEC61131-3, 可以用所熟悉的编程语言来编写各项功能。文中 PLC 编程采用 ST 语言^[15], 用 ST 语言编写的程序易读易理解且简洁紧凑。图 3 中的垛型优化软件属于第三方软件, 软件对产品的布局做了规划, 保证了托盘利用率的最大化和垛型的稳定性。在垛型规划软件中输入托盘的尺寸和产品的长宽高等数据, 能够仿真出实际的码垛三维模型。软件通过内部算法将托盘进行了分区, 最多可分为 4 个区域, 仿真完成之后, 将每个区的产品数量及码垛层数等数据发送到机器人控制器, 然后通过 PLC 编程对数据进行处理, 完成位置点的计算。控制系统分为 2 部分, 其中 SoftPLC 部分负责逻辑控制, Robot Control 部分负责运动控制。码垛机器人的工作流程见图 3。

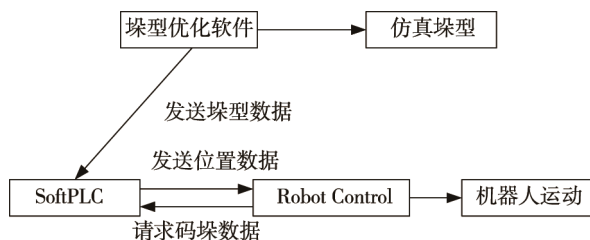


图3 工作流程
Fig.3 Work flow

考虑到产品的多样性, 在更换托盘和箱型时由垛型规划软件得到的 4 个区域的二维布局会有不同。每个区域都有可能采用双箱抓取或单双箱混合的抓取的方式, 因此所编写的 PLC 程序应该具有通用性, 以便适应不同布局时的位置计算。文中以市场上的特仑苏产品为例, 介绍 PLC 编程对产品位置点的计算。产品为特仑苏, 包装规格 285 mm×168 mm×148 mm, 每箱瓶数 12 瓶, 每箱质量 6 kg, 每层箱数 24 箱, 每

板层数 10, 托盘尺寸 1100 mm×1100 mm。

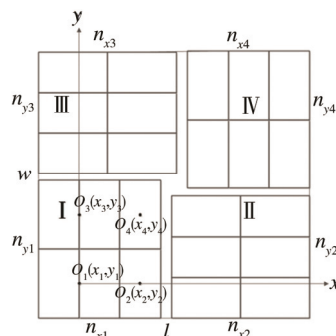


图4 奇数层码垛
Fig.4 Odd layer stacking

由垛型优化软件生成的奇数层的码垛见图 4。垛型优化软件将托盘上产品分为 I, II, III, IV 这 4 个区域, 其中 n_{xi} 为 i 区 x 方向的产品数量, n_{yi} 为 i 区 y 方向的产品数量, L 为托盘长度, W 为托盘宽度。每个区域单独码放完成后旋转一定角度再进行下一区域的码垛任务。设置每个区域的码放顺序为先沿 x 轴方向码放, 再沿 y 方向码放。由图 4 知 I 区的码垛过程称为: 末端执行器先抓取双箱产品运动到 O_1 位置, 再抓取单箱产品运动到 O_2 位置; 然后抓取双箱产品放到 O_3 位置, 最后抓取单箱产品放到 O_4 位置。其他三区域的码垛过程与第 1 区域的码垛类似。PLC 的控制流程见图 5。

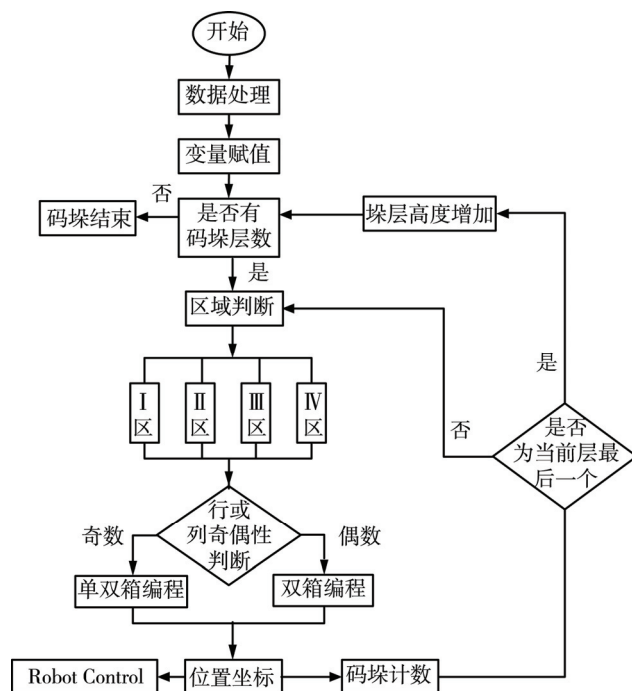


图5 PLC 控制流程
Fig.5 PLC control flow chart

奇数层的抓取次数计算: 当 n_{xi} 为奇数时, $N_i = n_{yi} \cdot \text{INT}\left(\left[\frac{n_{xi}}{2}\right] + 1\right)$, 当 n_{xi} 为偶数时, $N_i = n_{yi} \cdot \text{INT}\left[\frac{n_{xi}}{2}\right]$,

其中 i 为 I, IV 区; 当 n_{yi} 为奇数时, $N_i = n_{xi} \cdot INT\left(\left[\frac{n_{yi}}{2}\right] + 1\right)$,

当 n_{yi} 为偶数时, $N_i = n_{xi} \cdot INT\left[\frac{n_{yi}}{2}\right]$, 其中 i 为 II, III 区。式中 INT 为取整函数; N_i 为 i 区的抓取次数, i 为 I, II, III, IV 区。总的抓取次数 $N = \sum_{i=1}^4 N_i$ 。

4.2 码垛试验

文中采用 DJM1200 型机器人, 是典型的混联四自由度关节型机器人。实验样机由铝合金、不锈钢等材料制作, 结构紧凑, 质量较轻, 在此样机的基础上对特仑苏产品进行了码垛试验。首先末端执行器抓取产品运动到托盘的最远端, 采用试教的方法建立托盘坐标系。采用手动控制的方式依次将末端执行器移动到产品位置试教为抓点和竖直上升一段距离设为抓后点, 产品的放置位置由 PLC 计算可得。准备工作完成后, 初始化程序并开始运动, 机器码垛机器人末端执行器从初始位置运动到生产线末端的抓点抓取产品, 再竖直上升到抓后点, 然后运动到 PLC 计算位置, 放下产品后回到抓后点完成一次抓取和码放工作^[16], 下一次重复动作运动到 PLC 计算的第 2 个位置, 如此反复直到码垛任务完成。码垛机器人一个位置到另一个位置的指令控制可采用 PTP(点到点运动指令)或者 Lin(直线运动指令)完成, 旋转指令在 PLC 中实现。多箱抓取特仑苏的码垛实验见图 6。

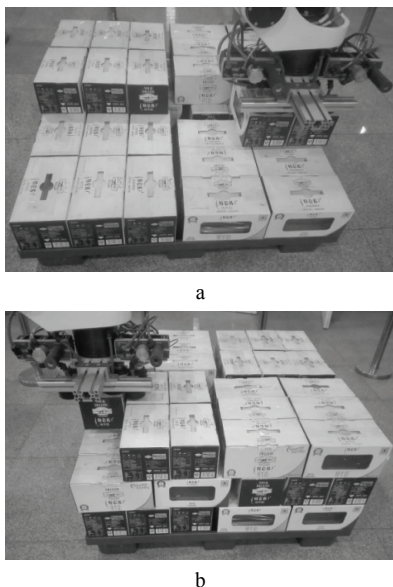


图 6 特仑苏产品码垛实验
Fig.6 Delux product stacking test

对特仑苏产品进行了 3 层的实验验证, 垛型实际情况与垛型仿真软件的三维垛型相同, 完成了多箱抓取的目的。由实验结果可知, 若采用传统单箱抓取方

式, 每层需要抓取 24 次, 若采用依据垛型单双箱实时控制抓取, 每层抓取 16 次, 大大提高了效率。

5 结语

为了提高码垛效率, 满足多种产品的码垛任务, 确定了末端执行器的设计方案, 设计了真空吸附式末端执行器。末端执行器采用真空吸附技术, 真空发生器加真空吸盘等构成的真空系统安全可靠, 能够快速完成码垛工作任务。末端执行器的八吸盘对称分布式结构保证了抓取力的平衡且通过调整机构能够满足不同产品的需求。通过 PLC 编程完成了托盘上产品位置点的计算。文中设计的末端执行器结构简单、通用性强, 能够满足企业多样化产品的需求, 大幅度提高了码垛效率, 具有较高的应用前景。

参考文献:

- [1] ALATARTSEV S, STELLMACHER S, ORTMEIER F. Robotic Task Sequencing Problem: A Survey[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015, 80(2): 279—298.
- [2] 胡洪国, 高建华, 杨汝清. 码垛技术综述[J]. 组合机床与自动加工技术, 2000(6): 7—9.
HU Hong-guo, GAO Jian-hua, YANG Ru-qing. Palletizing Technology Overview[J]. Molecular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2000(6): 7—9.
- [3] 王晓磊, 王延年. 基于 PLC 的自动包装码垛生产线的控制系统研究[J]. 科技视界, 2013(29): 92.
WANG Xiao-le, WANG Yan-nian. Research on Control System of Automatic Packaging Palletizing Production Line Based on PLC[J]. Science & Technology View, 2013(29): 92.
- [4] 王建. 面向飞机自动化装配的多功能末端执行器研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
WANG Jian. Research on Multifunctional End Effector for Aircraft Automatically Assembled[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.
- [5] 黄贤新. 工业机器人机械手设计[J]. 装备制造技术, 2012(3): 220—221.
HUAN Xian-xin. Industrial Robot Manipulator Design[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2012(3): 220—221.
- [6] 李增强, 章军, 刘光元. 苹果被动抓取柔性机械手的结构与分析[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 14—17.
LI Zeng-qiang, ZHANG Jun, LIU Guang-yuan. Structure and Analysis of Flexible Manipulator for Apple Passive Grasp[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 14—17.
- [7] 陈军. 猕猴桃采摘机器人末端执行器设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 151—154.
CHEN Jun. Design of End Effector for Kiwi Picking

- Robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 151—154.
- [8] 赵伟, 李响, 郭爱华, 等. 工业机器人码垛线的设计[J]. 制造业自动化, 2011, 32(20): 117—120.
- ZHAO Wei, LI Xiang, GUO Ai-hua, et al. Design of Industrial Robot Palletizing Line[J]. Manufacturing Automation, 2011, 32(20): 117—120.
- [9] 李晓刚, 刘晋浩. 码垛机器人多功能末端执行器的设计[J]. 包装工程, 2011, 32(7): 80—84.
- LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. Design of Multifunctional End Actuator for Palletizing[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7): 80—84.
- [10] ZHANG Yi, LIU Nian-jun, CAI Jun. A Automatic Matching Algorithm and Simulation for Irregular Cigarette Package Stacking[J]. Procedia Engineering, 2017, 174: 1235—1243.
- [11] 杨传民, 田少龙, 杨锰. 码垛机器人末端执行器的设计[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 60—63.
- YANG Chuan-min, TIAN Shao-long, YANG Meng. Design of the end Effector of the Palletizing Robot[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 60—63.
- [12] 罗庚兴, 宁玉珊. 气动安装机械手的 PLC 控制[J]. 制造业自动化, 2011, 33(1): 82—84.
- LUO Geng-xing, NING Yu-shan. PLC Control of Pneumatic Manipulator[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(1): 82—84.
- [13] 张楠, 何玉成, 王南. 操作机器人机械手抓的设计研究及应用[J]. 机械设计, 2013, 30(3): 17—20.
- ZHANG Nan, HE Yu-cheng, WANG Nan. Design and Application of Manipulator Grasping for Manipulator[J]. Machine Design, 2013, 30(3): 17—20.
- [14] 殷际英, 伊峰. 机器人离线编程系统运动误差分析[J]. 机械传动, 2011, 35(11): 71—74.
- YIN Ji-ying, YI Feng. Motion Error Analysis of Robot Off-Line Programming System[J]. Mechanical Transmission, 2011, 35(11): 71—74.
- [15] 黄贤新. 工业机器人机械手设计[J]. 装备制造技术, 2012(3): 220—221.
- HUANG Xian-xin. Design of Industrial Robot Manipulator[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2012 (3): 220—221.
- [16] LIAO Xiu-hui. Analysis of Working Principle and Faults Diagnose of the Six Axis Robot[J]. Mechanical & Electrical, 2015(6): 52—55.