

基于袋装食品装箱的并联机器人的轨迹规划研究

胡晓锋

(河南经贸职业学院, 郑州 450001)

摘要: **目的** 为了使机器人能够更加准确高效地完成袋装食品的装箱工作, 对自动完成袋装食品装箱的并联机器人的工作空间和轨迹规划进行研究。**方法** 根据食品包装生产线上自动装箱的工况, 介绍一种对轻小型袋装食品完成自动装箱操作的四自由并联机器人的基本结构, 并运用 Matlab 软件对其进行工作空间分析, 通过修正梯形轨迹规划算法对其进行轨迹规划, 并运用 ADAMS 软件验证分析。**结果** 由得到的机器人工作空间图及机器人动平台的运动曲线图可知, 机器人的作业范围能够达到半径 300 mm、高度 140 mm, 动平台的速度曲线和加速度曲线均变化平滑, 无突变, 在机器人启停时速度与加速度均为 0。**结论** 验证了机器人设计的合理性及修正梯形轨迹规划的可行性, 此轨迹规划可以很好地适用于袋装食品装箱工序。

关键词: 袋装食品; 装箱; 并联机器人; 轨迹规划

中图分类号: TP242.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)17-0209-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.17.029

Trajectory Planning of Parallel Robot Based on Bagged Food Packing

HU Xiao-feng

(Henan Institute of Economics and Trade, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: The work aims to study the workspace and trajectory planning of a parallel robot that automatically completes the packing of bagged food, so as to make the robot more accurate and efficient. According to the working conditions of automatic packing in food packaging production line, the basic structure of a four-free parallel robot for automatic packing of light and small-sized bagged food was introduced, and the workspace was analyzed by MATLAB software. The modified trapezoidal trajectory planning algorithm was used to make the trajectory planning, and ADAMS software was used to verify the analysis. From the obtained workspace diagram of the robot and the motion graph of the robot moving platform, the operating range of the robot could reach a radius of 300 mm and a height of 140 mm and the velocity curve and acceleration curve of the moving platform changed smoothly without sudden change. The velocity and acceleration were 0 when the robot started and stopped. The rationality of robot design and the feasibility of modified trapezoidal trajectory planning are verified. The trajectory planning can be well applied to the packing process of bagged food.

KEY WORDS: bagged food; packing; parallel robot; trajectory planning

随着社会的快速发展, 人们对生产效率和质量的要求越来越高, 在食品包装行业一些重复性高的工序(如分拣、装箱等)正在逐步由高效率的机器人代替原本的人工操作^[1-3]。目前大多数的自动化生产

线上的机器人为串联机器人, 由于串联机器人自身的结构的特点决定了其无法达到较高的速度, 而并联机器人由于其结构惯性低, 能够达到较高的速度, 且其定位精度高, 正在被广泛应用于食品包装行业^[4-5]。

收稿日期: 2019-09-29

作者简介: 胡晓锋(1983—), 男, 硕士, 河南经贸职业学院讲师, 主要研究方向为计算机应用技术。

文中根据食品包装生产线上自动装箱的工况,介绍针对轻小型袋装食品完成自动装箱操作的四自由并联机器人的基本结构,得到其作业范围,并对机器进行合理的轨迹规划。

1 装箱机器人基本结构

根据小型袋装食品生产线装箱工序的要求,需要机器人将无序排列的袋装食品按照一定规则排列在包装箱内,通过分析机器人完成一次装箱操作,其工作流程为:机器人定位到传送带上的袋装食品后,按照一定角度抓取目标物,然后按照既定轨迹将目标物运送到预设位置,最后按照一定角度放置产品。

根据上述作业要求,文中研究的装箱机器人为四自由并联机器人,即在通常的三自由度 DELTA 机器人的基础上增加了一个绕 z 轴旋转的自由度,用于调整拾放角度,其结构见图 1,主要由静平台、3 组结构相同的铰链组件、动平台、伸缩杆等结构组成。当机器人工作时,通过 3 个伺服电机分别带动 3 组铰链机构协调运动实现动平台在 xyz 3 个方向的运动,动平台绕 z 轴的转动通过步进电机实现,此步进电机装在静平台上,通过伸缩杆将转动传递给动平台。



图 1 机器人基本结构
Fig.1 Basic structure of robot

2 机器人工作空间研究

机器人的工作空间是机器人动平台中心点能够达到位置的集合^[6-7],若已知机器人各个杆的尺寸和角度,可以得到动平台中心点的位置坐标。机器人的结构参数见表 1,把机器人模型经过简化后得到空间几何图见图 2。图 2 中 Oxyz 坐标系是以静平台的中心点为原点建立的静坐标系, O'x'y'z 是以动平台的中心点为原点建立的动坐标系,设 (x, y, z) 为动平台中心点的坐标,3 个驱动臂与静平台平面的夹角分别为 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$,驱动臂长度为 L_1 ,从动杆长度为 L_2 ,静平台半径为 R,动平台半径为 r。

表 1 机器人各部件结构参数
Tab.1 Structural parameters of robotic components

动平台半径/ mm	静平台半径/ mm	驱动臂长度/ mm	从动杆长度/ mm
65	130	160	385

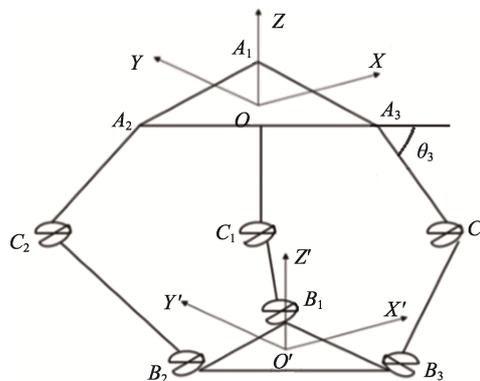


图 2 机器人空间几何模型
Fig.2 Geometric model of robot space

由空间几何关系可得:

$$\begin{cases} L_2^2 = [x - (R - r + L_1 \cos \theta_1) \cos \alpha_1]^2 + [y - (R - r + L_1 \cos \theta_1) \sin \alpha_1]^2 + (z - L_1 \sin \theta_1)^2 \\ L_2^2 = [x - (R - r + L_1 \cos \theta_2) \cos \alpha_2]^2 + [y - (R - r + L_1 \cos \theta_2) \sin \alpha_2]^2 + (z - L_1 \sin \theta_2)^2 \\ L_2^2 = [x - (R - r + L_1 \cos \theta_3) \cos \alpha_3]^2 + [y - (R - r + L_1 \cos \theta_3) \sin \alpha_3]^2 + (z - L_1 \sin \theta_3)^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别为 3 个铰链与静坐标系的夹角,一般在建立坐标系时已经得知,所以如果已知 3 个驱动臂与静平台平面的夹角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$,便可求得动平台中心点的坐标(x, y, z),而 3 个驱动臂与静平台平面的夹角是由 3 个支链的驱动电机的转动角度决定。可以通过给定 3 个驱动电机的转角,得到动平台中心点的位置,并将各个位置集合起来,就可以得到机器人的工作空间。

根据并联机器人机构的约束条件和结构参数,编写 Matlab 程序^[8],得到机器人的工作空间图见图 3。由图 3 可知,机器人能够满足半径为 300 mm,高度为 140 mm 的作业空间要求,验证了机器人结构参数的合理性。

3 机器人的轨迹规划

要确保机器人在工作过程中,尤其是高速运行时能够平稳运动,没有冲击,并联机器人的运动必须满足:机器人启停时,其速度和加速度必须都为 0;机器人在运动过程中的速度和加速度对于时间的函数必须连续可导^[9-11]。轨迹规划的主要目的是保证机器人的运动的平稳性,也就是保证速度和加速度对于时

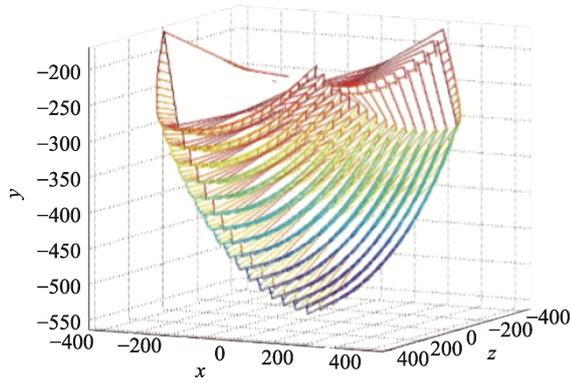


图 3 机器人的工作空间
Fig.3 Workspace of the robot

间的函数曲线平滑，无突变。文中通过修正梯形轨迹规划算法来确定机器人的运动轨迹^[12]。

修正梯形轨迹规划算法的加速度函数为：

$$a = \begin{cases} a_{\max} \sin\left(\frac{4\pi}{t_{\text{总}}}t\right) & \left(0 \leq t \leq \frac{1}{8}t_{\text{总}}\right) \\ a_{\max} & \left(\frac{1}{8}t_{\text{总}} \leq t \leq \frac{3}{8}t_{\text{总}}\right) \\ a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{t_{\text{总}}}\left(t - \frac{3}{8}t_{\text{总}}\right)\right] & \left(\frac{3}{8}t_{\text{总}} \leq t \leq \frac{5}{8}t_{\text{总}}\right) \\ -a_{\max} & \left(\frac{5}{8}t_{\text{总}} \leq t \leq \frac{7}{8}t_{\text{总}}\right) \\ -a_{\max} \cos\left[\frac{4\pi}{t_{\text{总}}}\left(t - \frac{3}{8}t_{\text{总}}\right)\right] & \left(\frac{7}{8}t_{\text{总}} \leq t \leq t_{\text{总}}\right) \end{cases} \quad (2)$$

式中： $t_{\text{总}}$ 为机器人完成一段位移运动用的总时间； a_{\max} 为机器人设定的最大运动加速度。

对加速度函数关于时间 t 积分可以得到机器人的速度函数，对速度函数再次关于时间 t 积分可以得到机器人的位移函数，整理可以得到机器人的位移与运行时间和加速的关系为：

$$S = \left(\frac{1}{4\pi} + \frac{1}{8}\right) a_{\max} t_{\text{总}}^2 \quad (3)$$

可以得到机器人完成一段位移所用总时间为：

$$t_{\text{总}} = \sqrt{\frac{s}{\left(\frac{1}{4\pi} + \frac{1}{8}\right) a_{\max}}} \quad (4)$$

机器人完成一次装箱作业过程可以简化为 5 个运动过程，分别为识别目标物状态后按照一定角度抓取产品；抓取物体后竖直提升到一定位置，此过程是为了避免在水平移动过程中与周边物体发生干涉；水平移动到放置点上方；竖直下降到放置点；按照设定角度放置产品。因为运动过程 1 和 5 只涉及动平台的旋转运动，所以在整个过程中需要做轨迹规划的只有第 2, 3, 4 个运动过程。此过程可以看作机器人在平面直角坐标系内完成了“上升—平移—下降”3 个运

动。假设机器人在完成一次操作时，上升运动的位移为 120 mm，平移运动的位移为 400 mm，下降运动的位移为 120 mm。由式 (4) 可以求得，上升运动所用时间为 0.108 s，平移运动所用时间为 0.198 s，下降运动所用时间为 0.108 s。

将三维模型简化后导入 ADAMS 仿真软件中^[13-15]，然后通过参设置，添加运动副和驱动等操作后，设置总仿真时间为 0.45 s，仿真步数为 1000，仿真计算得到机器人动平台的位移、速度、加速度曲线见图 4—6。图中实线为动平台在竖直方向的运动曲线，虚线为动平台在水平方向的运动曲线。

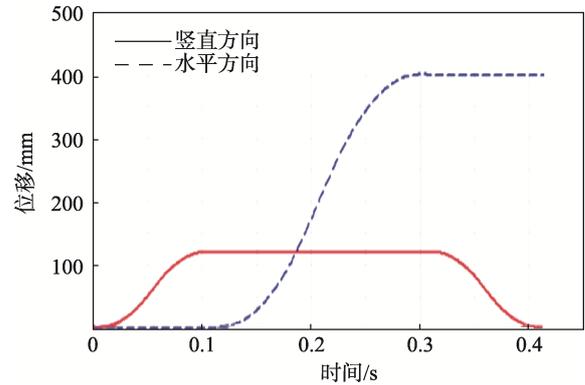


图 4 动平台位移曲线
Fig.4 Displacement curve of moving platform

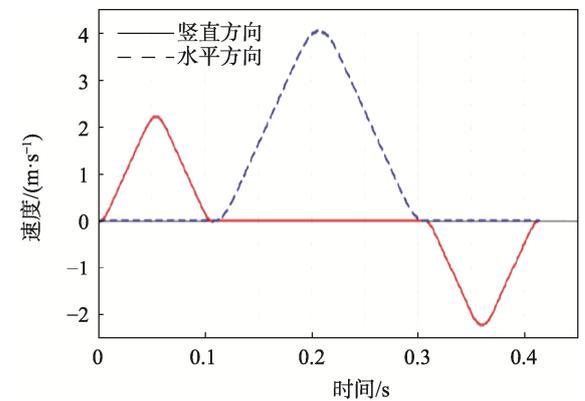


图 5 动平台速度曲线
Fig.5 Velocity curve of moving platform

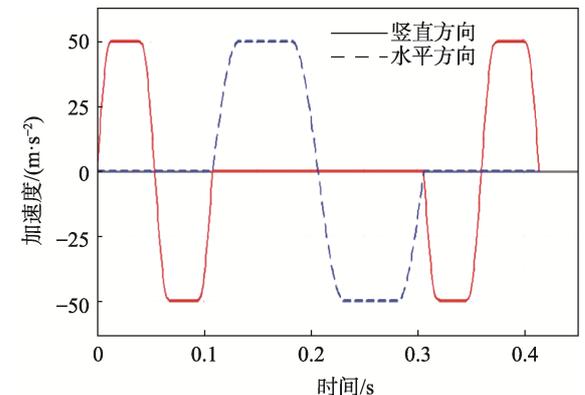


图 6 动平台加速度曲线
Fig.6 Acceleration curve of moving platform

由图4可以看出,动平台在竖直方向和水平方向的位移曲线均平滑过度,能够按照既定的轨迹运动。由图5可以看出,动平台的速度曲线变化平滑,无突变,且在3段运动的起始和结束,运动速度均为0,符合设计要求。由图6可以看出,动平台的加速度运动曲线符合修正梯形加速度规律,且曲线平滑无突变,在机器人启停时加速度均为0。综上,此修正梯形轨迹规划算法符合机器人的轨迹规划要求,能够使机器人在运动过程中运动平稳,振动小,使其具有较好的运动特性。

4 结语

文中根据食品包装生产线上自动装箱的工况,介绍了一种对轻小型袋装食品完成自动装箱操作的四自由并联机器人,它主要由静平台,3组结构相同的铰链组件、动平台、伸缩杆等结构组成,得到了其工作空间图,证明了结构尺寸设计的合理性。通过修正梯形轨迹规划算法对其进行轨迹规划,并运用ADAMS软件作了验证分析,机器人动平台的运动曲线图,验证了设计的合理性及轨迹规划的可行性。

参考文献:

- [1] 伍胜. 机器人在食品包装中的应用[J]. 食品安全导刊, 2010(6): 62—63.
WU Sheng. Robot Application in Food Packaging[J]. Food Safety Guide, 2010(6): 62—63.
- [2] LI Yang-min, XU Qing-song. Kinematic Analysis and Design of a New 3-DOF Translational Parallel Manipulator[J]. Journal of Mechanical Design, 2006, 128(7): 729—737.
- [3] 郭洪鑫. 我国食品和包装机械行业发展趋势[J]. 机械工程师, 2013(2): 3—7.
GUO Hong-xin. Development Trend of China's Food and Packaging Machinery Industry[J]. Mechanical Engineer, 2013(2): 3—7.
- [4] 梅江平. 高速包装机器人技术与应用[J]. 机器人技术与应用, 2007(5): 18—20.
MEI Jiang-ping. High Speed Packaging Robot Technology and Application[J]. Robot Technology and Application, 2007(5): 18—20.
- [5] 刘凤臣, 姚赞峰, 刘黎明, 等. 高速搬运机器人产业应用及发展[J]. 轻工机械, 2012, 30(2): 108—111.
LIU Feng-chen, YAO Yun-feng, LIU Li-ming, et al. Application and Development of High-speed Handling Robot Industry[J]. Light Industrial Machinery, 2012, 30(2): 108—111.
- [6] 张立杰, 李永泉, 黄真. 一种四自由度并联机器人的位置正解分析[J]. 机械设计与研究, 2006, 22(4): 21—24.
ZHANG Li-jie, LI Yong-quan, HUANG Zhen. Analysis of Position-forward Solution of a 4-ptt Parallel Robot[J]. Mechanical Design and Research, 2006, 22(4): 21—24.
- [7] 郭宇和, 段建国, 郝秀清. 4-PTT 并联机构位置正解与工作空间分析[J]. 农业机械学报, 2008(7): 144—148.
GUO Yu-he, DUAN Jian-guo, HAO Xiu-qing. 4-PTT Parallel Mechanism Position Positive and Negative Solution and Workspace Analysis[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2008(7): 144—148.
- [8] LARIBI M A, ROMDHANE L. Analysis and Dimensional Synthesis of the DELTA Robot for a Prescribed Workspace[J]. Mechanism and Machine Theory, 2007, 42(7): 859—870.
- [9] 杨尹, 顾寄南, 郭林. 基于 ADAMS 的 4-RUPaR 高速搬运并联机器人轨迹规划与运动学仿真[J]. 工程设计学报, 2013, 20(5): 375—378.
YANG Yin, GU Ji-nan, GUO Lin. Trajectory Planning and Kinematics Simulation of 4-RUPaR High-speed Transport Parallel Robot Based on ADAMS[J]. Journal of Engineering Design, 2013, 20(5): 375—378.
- [10] AFROUN M, CHETTIBI T, HANCHI S. Planning Optimal Motions for a DELTA Parallel Robot[C]// 14th Mediterranean Conference on Control and Automation, 2006: 28—30.
- [11] 梁香宁, 牛志刚. 三自由度 Delta 并联机器人运动学分析及工作空间求解[J]. 太原理工大学学报, 2008, 39(1): 93—96.
LIANG Xiang-ning, NIU Zhi-gang. Kinematics Analysis and Workspace Solution of Three-PTT Delta Parallel Robot[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2008, 39(1): 93—96.
- [12] TING Y, LEI W I, JAR H C. A Path Planning Algorithm for Industrial Robots[J]. Computers & Industrial Engineering, 2002, 42: 299—308.
- [13] 刘凉, 陈超英. 考虑关节摩擦的并联机器人平滑轨迹规划[J]. 机械工程学报, 2014, 50(19): 10—12.
LIU Liang, Chen Chao-ying. Smooth Trajectory Planning of Parallel Robot Considering Joint Friction[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(19): 10—12.
- [14] CONSTANTINESCU D, CROT E A. Smooth and Time-optimal Trajectory Planning for Industrial Manipulators along Specified Paths[J]. Journal of Robotic Systems, 2000, 17(5): 233—249.
- [15] 宫赤坤, 熊吉光, 黄成林. Delta 并联机器人运动学与动力学仿真分析[J]. 制造业自动化, 2013, 35(3): 5—9.
GONG Chi-kun, XIONG Ji-guang, HUANG Cheng-lin. Kinematics and Dynamics Simulation Analysis of Delta Parallel Robot[J]. Manufacturing Automation, 2013, 35(3): 5—9.