

基于位移传感器的包装机械手运动跟踪方法设计

熊新国¹, 徐洪亮², 任枫轩¹

(1.河南职业技术学院, 郑州 450046; 2.开封技师学院, 河南 开封 475000)

摘要: **目的** 为提高包装机械手末端执行器轨迹跟踪精度, 提出一种三维运动轨迹跟踪方法。**方法** 获取拉绳式位移传感器在预先建立的三维坐标系中坐标数据和拉线长度。利用坐标和拉线长度计算运动物体的三维坐标数据, 进而形成所述运动物体的三维运动轨迹。同时, 给出基于 ARM 的轨迹跟踪控制器结构以及软件实现方法。**结果** 实验结果表明, 与传统示教盒相比, 该方法可将定位精度提高 1 倍, 相关误差可控制在 0.3 mm 以内。该方法在执行效率方面大约能够提升 33%, 提高了包装机械手的执行速度和分拣效率。**结论** 所述轨迹跟踪方法能够提高包装机械手末端执行器的定位精度和定位速度, 符合包装、食品、化工等行业的工艺要求。

关键词: 轨迹跟踪; 包装机械手; 定位; 位移传感器; ARM

中图分类号: TB486; TP241 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)09-0244-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.09.034

Design of Motion Tracking Method for Packaging Manipulator Based on Displacement Sensor

XIONG Xin-guo¹, XU Hong-liang², REN Feng-xuan¹

(1.Henan Polytechnic, Zhengzhou 450046, China; 2.Kaifeng Technician College, Kaifeng 475000, China)

ABSTRACT: In order to improve the trajectory tracking accuracy of the end-effector of the packaging manipulator, a 3d trajectory tracking method was proposed. The coordinate data and the cable length of the drawstring displacement sensor in the pre-established 3d coordinate system were obtained. The three-dimensional coordinate data of the moving object was calculated by using the coordinates and the length of the drawing line, and then the three-dimensional motion trajectory of the moving object was formed. At the same time, the structure of trajectory tracking controller and software implementation method based on ARM were presented. The results show that compared with the traditional teaching box, the positioning accuracy can be doubled by this method, and the correlation error can be controlled within 0.3 mm. This method can increase the execution efficiency by about 33%, and improve the execution speed and sorting efficiency of the packaging manipulator. The trajectory tracking method can improve the positioning accuracy and speed of the end-effector of the packaging manipulator, and meet the process requirements of packaging, food, chemical and other industries.

KEY WORDS: track tracking; packaging manipulator; positioning; displacement sensor; ARM

目前, 多关节机器人在包装各环节的应用比较广泛, 例如: 搬运、分拣等。包装自动化、智能化水平

的提高离不开多关节机器人的使用和普及^[1-3]。当前对多关节机器人的研究较多, 例如: 根据用户需求为

收稿日期: 2020-10-24

基金项目: 河南省科技厅科技攻关项目 (182102210085)

作者简介: 熊新国 (1974—), 男, 硕士, 河南职业技术学院副教授, 主要研究方向为机电控制。

机器人末端执行器（机械手爪、喷枪、焊枪等）设计对应的三维轨迹^[4-5]。现阶段机器人末端执行器的三维运动轨迹的设计方法主要包括如下几种。

1) 通过示教编程盒给机器人的各个关节电机发送指令，将末端执行器运转到指定位置后，需要机器人停下动作，示教编程盒读取机器人每个关节位置传感器的数值，然后把该数值保存。该方法由于需要大量记录点，导致过程烦琐，从而使得工作效率低下^[6-7]。

2) 方法是将机器人末端执行器需要的运动轨迹依据需要作业的目标物体的形状在三维作图软件里生成三维图，通过一定的规则抽取和计算出机器人末端执行器需要的三维运动轨迹。这个方法是一个间接获得运动点的方法，当机器人进行轨迹复现时，需要根据实际情况进行反复验证，导致过程烦琐，使得工作效率低下^[8-9]。

为解决上述问题，文中设计一种捕捉物体三维运动轨迹的方法，其编排目标物体三维运动轨迹的过程简单快速，从而提高编排工作效率。

1 三维运动轨迹捕捉装置

三维运动轨迹捕捉装置见图 1，主要包括底座、支撑架、安装部和 3 个拉绳式位移传感器。其中支撑架的底部固定在底座上，支撑架的顶部固定安装部；3 个拉绳式位移传感器分别固定在安装部的不同位置上，其末端汇聚为一点。另外，该装置还包括拉线长度数据采集装置以及处理装置。

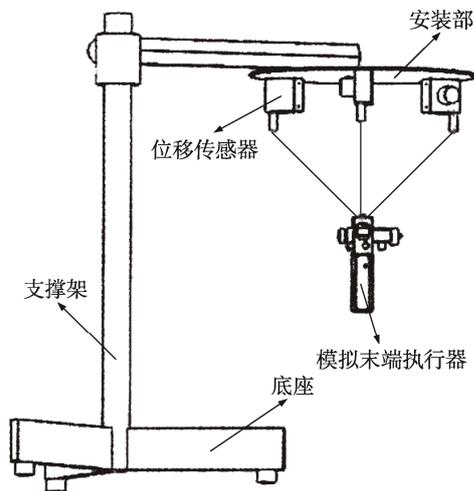


图 1 三维运动轨迹捕捉装置

Fig.1 Schematic diagram of the three-dimensional motion trajectory capture device

将拉绳式位移传感器的拉线末端固定在目标运动物体上，让 3 个位移拉绳式位移传感器的各自拉线跟随运动物体一起运动。通过检测不同时刻位移传感器的拉线长度就可以计算出运动物体的运动轨迹，即末端执行器所需要的作业轨迹。当计算出所述运动物体在对应时刻的三维坐标数据后，可以将所得三维

坐标数据进行保存，或者将该数据直接发送给机器人。机器人就可以根据三维坐标数据重现物体的运动轨迹，即机器人可以根据三维坐标数据完成相应地坐标轨迹。

2 跟踪方法设计

2.1 数学建模

建立三维坐标系见图 2，其中 xy 平面位于拉绳式位移传感器拉线出口所在的平面上， z 轴垂直于 xy 平面。为便于分析，文中将 3 个拉绳式位移传感器拉线出口相互之间等距分布在同一个圆周上，上述三维坐标系的原点与圆周的圆心重合；3 个拉绳式位移传感器的拉线末端汇聚为一点，即运动物体的三维坐标。

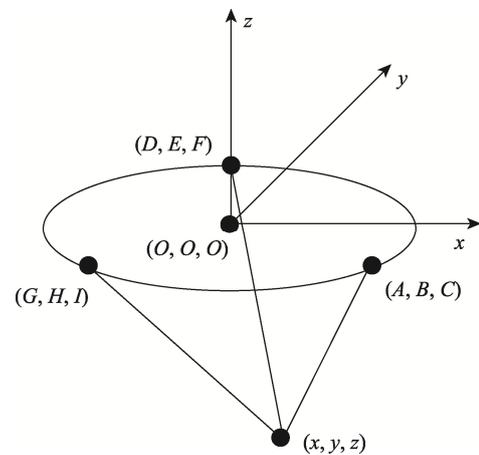


图 2 三维运动坐标系

Fig.2 Three dimensional motion coordinate system

定义拉线出口坐标分别为 $a(A, B, C)$ ， $b(D, E, F)$ ， $c(G, H, I)$ ；拉线长度分别为 L_1, L_2, L_3 ；运动物体坐标为 $w(x, y, z)$ ；圆周半径为 R 。那么根据几何关系可以得到：

$$\begin{cases} A = R \cos(\pi/3) \\ B = R \cos(\pi/3) \\ C = 0 \\ D = 0 \\ E = R \\ F = 0 \\ G = -R \cos(\pi/3) \\ H = -R \cos(\pi/3) \\ I = 0 \end{cases} \quad (1)$$

考虑到 3 个拉绳式位移传感器的拉线长度均可被检测，因此可以建立空间直角坐标系球体方程，即：

$$\begin{cases} L_1^2 = (A-x)^2 + (B-y)^2 + (C-z)^2 \\ L_2^2 = (D-x)^2 + (E-y)^2 + (F-z)^2 \\ L_3^2 = (G-x)^2 + (H-y)^2 + (I-z)^2 \end{cases} \quad (2)$$

由式(1)和(2)可以得到:

$$\begin{cases} (L_1^2 - L_2^2 - A^2 + D^2 - B^2 + E^2 - C^2 + F^2)/2 = \\ (D-A)x + (E-B)y + (F-C)z \\ (L_2^2 - L_3^2 - D^2 + G^2 - E^2 + H^2 - F^2 + I^2)/2 = \\ (G-D)x + (H-E)y + (I-F)z \\ (L_1^2 - L_3^2 - A^2 + G^2 - B^2 + H^2 - C^2 + I^2)/2 = \\ (G-A)x + (H-B)y + (I-C)z \end{cases} \quad (3)$$

为简化公式,引入以下变量和对应公式:

$$\begin{cases} J = (L_1^2 - L_2^2 - A^2 + D^2 - B^2 + E^2 - C^2 + F^2)/2 \\ K = (L_2^2 - L_3^2 - D^2 + G^2 - E^2 + H^2 - F^2 + I^2)/2 \\ M = D - A \\ N = E - B \\ P = G - D \\ Q = H - E \end{cases} \quad (4)$$

那么式(3)可简化为:

$$\begin{cases} J = Mx + Ny \\ K = Px + Qy \end{cases} \quad (5)$$

联立式(1—5)可以得到x和y的最终公式,为:

$$\begin{cases} x = (J/N - K/Q)/(M/N - P/Q) \\ y = (J/M - K/P)/(N/M - Q/P) \end{cases} \quad (6)$$

运动物体的z值在x和y已求出的情况下,用空间直角坐标系球体方程得到z值计算公式,即:

$$z = \sqrt{L_1^2 - (x-A)^2 - (y-B)^2} \quad (7)$$

2.2 实现步骤

根据上述内容,捕捉物体运动轨迹的方法如下所述。

- 1) 获取3个拉绳式位移传感器的拉线出口在预先建立的三维坐标系中的各自坐标数据,位移传感器的拉线末端均链接在运动轨迹待捕捉的运动物体上。
- 2) 获取由预设的数据采集装置在不同时刻采集到并发送过来的3个拉绳式位移传感器的拉线长度数据;拉线长度数据有对应的拉线式位移传感器检测出来,并发送给预设的数据采集装置。
- 3) 根据拉线出口的坐标数据以及不同时刻的拉线长度数据计算出运动物体在对应时刻的三维坐标数据,以形成运动物体的三维运动轨迹。

3 实验研究与结果分析

3.1 实验装置搭建

为验证所述轨迹跟踪方法的可行性和有效性,文中搭建实验装置并进行实验研究。实验装置主要包括STM32控制板、接口板、位移传感器、数据采集装置等,其结构见图3。

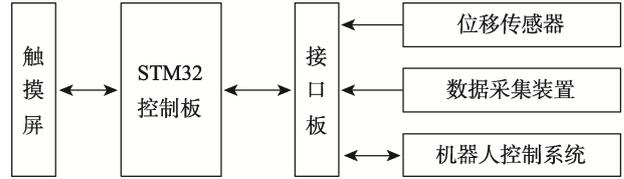


图3 实验装置系统
Fig.3 System block diagram of experimental installation

STM32控制板选用STM32F103芯片,其内核为ARM Cortex-M3,最高工作频率可达7MHz,处理速度比较快,可实现单周期乘法和硬件除法。定时器既可以生成机器人电机驱动脉冲信号又可以接收编码器反馈信号。同时,该芯片可与触摸屏进行连接,可接收位移传感器、数字采集装置信号。总体来说,STM32控制板既可以直接将控制信号发送给机器人控制系统,也可以只将末端执行器的位置坐标发送给机器人^[10-11]。

接口板用于连接STM32控制板和位置传感器、数据采集装置、机器人控制系统,其主要作用是实现控制信号和现场信号之间电压匹配,减小不同模组之间的干扰。通常情况下,接口板自带电源,控制信号经光耦隔离后变成驱动信号传送至机器人控制系统。同理,传感器信号经光耦隔离后可变成控制信号传送至控制板。总体来说,接口板不仅能够实现电平转换而且可以减少控制板和伺服系统之间的相互干扰^[12-14]。

触摸屏可以直观显示整个系统的各种参数,同时可直接修改工艺参数,可为用户提供较好的人机交互界面。文中选用DWIN_HMI触摸屏,其内部包括处理器、电源模块、TFT屏、存储模块和接口电路等。采用串口通信,控制板可将相关工况数据实时传输到触摸屏,用户根据控制要求实时调整控制参数并传输到控制板^[15]。

3.2 实验结果与分析

以包装生产线常用抓取机械手为实验对象,分别采取示教仪和文中所述方法获取机械手运动轨迹上点的坐标并将其发送至包装控制系统,由机械手再现轨迹。实验选用激光跟踪仪测量末端执行器的实际位置,并进行对比。

系统所选拉线传感器型号为FASTECHNIK FPS系列,量程最大为1500mm,分辨率可以达到0.01mm。在实验过程中,机械手以100次/min进行抓放工作,运行轨迹为标准S型,随机挑选10个点进行统计,相关结果见表1。

从实验结果可以看出:采用文中所述方法,x方向的最大偏差为0.3mm,y方向最大偏差为0.3mm,z方向最大偏差为0.3mm;采用示教仪,x方向的最大偏差为0.6mm,y方向最大偏差为0.6mm,z方向最大偏差为0.6mm;定位精度提高了1倍。实验结

表 1 实验数据
Tab.1 Experimental data

序号	文中方法			示教仪		
	x 方向偏差/mm	y 方向偏差/mm	z 方向偏差/mm	x 方向偏差/mm	y 方向偏差/mm	z 方向偏差/mm
1	-0.2	0.2	0.1	-0.4	0.4	0.3
2	-0.1	-0.2	0.2	-0.2	-0.4	0.5
3	-0.2	-0.2	0.2	-0.4	-0.5	0.5
4	0.2	-0.2	0.1	0.4	-0.5	0.2
5	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.2
6	0.2	-0.2	0.3	0.5	-0.4	0.6
7	0.3	0.1	0.2	0.6	0.3	0.4
8	-0.2	0.3	-0.2	-0.4	0.6	-0.5
9	0.1	0.3	0.2	0.2	0.6	0.3
10	-0.2	-0.1	0.1	-0.5	-0.2	0.3

果表明：所述轨迹跟踪方法可以准确地定位末端执行器的实际位置，为轨迹跟踪和位置修正提供了数据基础。

另外，相同轨迹下，文中所述方法平均耗时大约 5 s，而示教盒则平均耗时约 7.5 s；通过与示教盒捕获方法相比，文中所述方法在执行效率方面大约能够提升 33%，在很大程度上提高了机械手的执行速度和分拣效率。

4 结语

以包装机械手为研究对象，为提高定位效率，文中设计了一种末端执行器三维运动轨迹跟踪方法。利用 3 个拉线式位移传感器和拉线长度计算末端执行器的三维坐标并存储，然后发送给机器人，供其轨迹规划和调整使用。实验结果表明：所述定位和跟踪方法的定位精度较高，执行效率大幅提升，可满足包装、食品等相关行业要求。

参考文献：

- [1] 杜巧连, 陈旭辉, 舒柏和. 一种改进的机器人轨迹规划方法[J]. 机械设计, 2017, 34(3): 31—35.
DU Qiao-lian, CHEN Xu-hui, SHU Bai-he. An Improved Study of Robot Trajectory Planning Method[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(3): 31—35.
- [2] 韩东霖, 薛伟. 基于 STM32 的高速制袋机控制系统设计[J]. 信息技术, 2016(2): 43—46.
HAN Dong-lin, XUE Wei. Design of Making Machine Control System Based on the STM32[J]. Information Technology, 2016(2): 43—46.
- [3] 彭泽光, 陈忠, 许美强, 等. 制袋机连续送料嵌入式

控制系统开发[J]. 机电工程技术, 2014, 43(3): 45—46.

PENG Ze-guang, CHEN Zhong, XU Mei-qiang, et al. Development of Embedded Control System for Continuous Film Feeding of Bag-Making Machine[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2014, 43(3): 45—46.

- [4] 卢佳园, 谢宗武, 吴广鑫. 空间机器人遥操作系统设计[J]. 机械与电子, 2020, 38(2): 71—75.
LU Jia-yuan, XIE Zong-wu, WU Guang-xin. Design of Space Robot Tele Operating System[J]. Mechanical and Electronic, 2020, 38(2): 71—75.
- [5] 徐雪松, 杨胜杰, 陈荣元. 复杂环境移动群机器人最优路径规划方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(2): 274—282.
XU Xue-song, YANG Sheng-jie, CHEN Rong-yuan. Dynamic Differential Evolution Algorithm for Swarm Robots Search Path Planning[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(2): 274—282.
- [6] 张树刚, 赵佳. 基于 S 型曲线的包装堆垛机器人轨迹规划[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 136—140.
ZHANG Shu-gang, ZHAO Jia. Trajectory Planning of Packaging Palletizing Robot Based on S-Curve[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 136—140.
- [7] 张志松. 基于双 S 形速度曲线的混联码垛机器人轨迹规划[J]. 机电工程, 2018, 35(3): 330—334.
ZHANG Zhi-song. Trajectory Planning of Palletizing Robot Based on Double S-Shaped Velocity Curve[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018, 35(3): 330—334.
- [8] 赵亮, 仲崇权, 郑飞翔. 一种机器人最优加速度轨迹规划算法研究[J]. 大连理工大学学报, 2017, 57(2):

- 177—183.
ZHAO Liang, ZHONG Chong-quan, ZHENG Fei-xiang. Research on Robot Trajectory Planning Algorithm with Optimal Acceleration[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2017, 57(2): 177—183.
- [9] 付瑞玲, 禹春来, 范甜甜. 基于并联机器人的包装分拣系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 204—208.
FU Rui-ling, YU Chun-lai, FAN Tian-tian. Design of Packaging and Sorting System Based on Parallel Robot[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 204—208.
- [10] 向丹, 王文涛, 原健钟, 等. 基于 ARM 嵌入式的三维机械手远程控制系统设计[J]. 电子与封装, 2009, 9(6): 21—24.
XIANG Dan, WANG Wen-tao, YUAN Jian-zhong, et al. The Design of Tele-Manipulator System Based on ARM Embedded Internet[J]. Electronics & Packaging, 2009, 9(6): 21—24.
- [11] 徐建明, 张健, 吴世民, 等. 基于 ARM 的机械手运动控制系统设计[J]. 浙江工业大学学报, 2014, 42(3): 243—248.
XU Jian-ming, ZHANG Jian, WU Shi-min, et al. Design of Manipulator Motion Control System Based on ARM[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2014, 42(3): 243—248.
- [12] 吕燕兵. 基于 SG 算法和 BP 神经网络的角度传感器信号处理研究[J]. 机械与电子, 2020, 38(2): 30—33.
LU Yan-bing. Research on Signal Processing of Angle Sensor Based on SG Algorithm and BP Neural Network[J]. Mechanics and Electronics, 2020, 38 (2): 30—33.
- [13] 苏海新, 韩宝玲, 罗庆生, 等. 基于 PMAC 的工业码垛机器人控制特性研究[J]. 机械与电子, 2009(9): 57—60.
SU Hai-xin, HAN Bao-ling, LUO Qing-sheng, et al. Research of Control Characteristic of Palletizing Robot Based on PMAC[J]. Machinery & Electronics, 2009(9): 57—60.
- [14] 范鲁一, 王冬青, 李芳, 等. 基于 STM32 的码垛机器人控制系统的设计[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(11): 69—71.
FAN Lu-yi, WANG Dong-qing, LI Fang, et al. Design of Palletizing Robot Control System Based on STM32[J]. Industrial Control Computer, 2014, 27(11): 69—71.
- [15] 宋婷婷, 徐世许, 伍经纹, 等. Delta 机器人传送带制系统研究[J]. 软件, 2017, 38(5): 121—124.
SONG Ting-ting, XU Shi-xu, WU Jing-wen, et al. Delta Robot Conveyor Control System Research[J]. Software, 2017, 38(5): 121—124.