

轻工业包装物品搬运机器人路径跟踪控制

寇舒¹, 胡俊², 费东明³

(1.嘉兴职业技术学院, 浙江 嘉兴 314036; 2.东华大学, 上海 201620;

3.加西贝拉压缩机有限公司, 浙江 嘉兴 314006)

摘要: 目的 为了提高直角坐标搬运机器人的定位精度, 保证机器人能够按照预定路径运动。方法 介绍直角坐标机器人工作原理, 并基于模糊控制理论, 提出一种基于模糊 PID 的直角坐标机器人轨迹跟踪控制算法, 并将其应用于机器人运动轨迹跟踪控制中。结果 仿真和实验结果表明, 基于模糊 PID 的机器人控制器能够保证机器人沿预定路径运动, 机器人轨迹跟踪误差能够很快收敛于 0 附近, 该轨迹跟踪方法具有较好的抗干扰性和鲁棒性。结论 所提方法能够明显提高直角坐标机器人的路径跟踪能力, 对于提升机器人运动精度具有参考价值。

关键词: 直角坐标; 搬运机器人; 模糊 PID; 轨迹跟踪

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)19-0212-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.031

Path Tracking Control of Light Industry Packaging Goods' Handling Robot

KOU Shu¹, HU Jun², FEI Dong-ming³

(1.Jiaxing Vocational Technical College, Jiaxing 314036, China; 2.Donghua University, Shanghai 201620, China;

3.Jiaxipera Compressor Co. Ltd., Jiaxing 314006, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the positioning accuracy of the Cartesian coordinate handling robot, and ensure that the robot can move along the predetermined path. The working principle of Cartesian coordinate robot was introduced. Based on fuzzy control theory, a trajectory tracking control algorithm for Cartesian coordinate robot based on fuzzy PID was proposed, and it was applied to the trajectory tracking control of robot. The simulation and experimental results showed that, the robot controller based on fuzzy PID could ensure the motion of the robot along the predetermined path, and the trajectory tracking error of the robot could quickly converge near zero. The proposed trajectory tracking method had better anti-interference ability and robustness. The proposed method can obviously improve the path tracking ability of the Cartesian coordinate robot, and it has reference value for improving the motion precision of the robot.

KEY WORDS: Cartesian coordinates; handling robot; fuzzy PID; trajectory tracking

直角坐标机器人能够通过反复编程, 实现包装货物搬运、操作各种末端执行器的自动化机械设备, 直角坐标机器人拥有多个轴, 每个轴可以沿直线完成特定动作。该款机器人因其称量范围大、机构简单, 在食品包装和称量等工业领域中被广泛使用^[1-7]。

直角坐标机器人通常工作在复杂恶劣环境下, 由于经常受到外部因素的干扰, 导致机器人控制路径出现偏差。由于实际工作环境的未知性和复杂多变性, 同时由于机器人控制系统是一个多变量、强耦合、参数时变的输入和输出较多的复杂系统, 数学模型的准

收稿日期: 2018-12-19

基金项目: 国家自然科学基金 (51575352)

作者简介: 寇舒 (1984—), 女, 硕士, 嘉兴职业技术学院讲师, 主要研究方向为工业机器人应用、电气自动化。

确建立较为困难,直角坐标机器人控制系统在抗干扰能力以及自适应控制等方面具有很大的挑战^[8-13]。为了提高机器人定位精度,提升机器人的轨迹跟踪能力,国内外学者提出了许多智能控制方法,如滑膜控制法、自适应控制法、神经网络控制法等。滑膜控制法虽然能够提高瞬态响应性,可以降低参数的变化对控制系统的影响,但滑膜控制自身存在较大抖动,为了克服抖动势必增加控制器设计的复杂性^[14-15]。

为了提高机器人的轨迹跟踪性能,简化智能控制算法,提出一种基于模糊 PID 的直角坐标机器人轨迹跟踪控制算法,并将其应用于机器人运动轨迹跟踪控制中,最后通过直线路径和圆形路径仿真以验证该控制方法的有效性。

1 直角机器人工作原理

研究的机器总共有 4 个轴,机器人能够带动末端抓手沿着 x 轴、 y 轴、 z 轴等 3 个方向在立体空间进行动作。机器人结构见图 1,机器人通过 4 个伺服电机分别带动 x 轴、 y 轴、 z 轴以及抓手进行运动,通过 PLC 运动控制模块对伺服驱动器发送脉冲,从而实现机器人的精确控制。机器人启动后,当光电传感器检测到传送带上的包装物品时,将信号传送到可编程控制器 PLC 中,由 PLC 输出信号控制机器人末端执行器夹持物品;当夹持动作完成后,伺服电机驱动 z 轴沿着垂直方向进行移动,当上限位传感器检测到信号时, x 轴与 y 轴进行笛卡尔空间插补运算,机器人沿着预定路径完成物品码放。

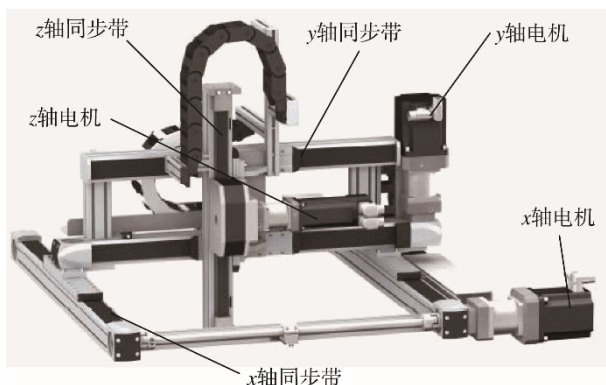


图 1 机器人本体结构
Fig.1 Body structure of robot

2 机器人路径跟踪控制

为了克服机器人控制系统的非线性问题,提出了一种视线控制法,控制直角坐标机器人末端执行器始终以期望轨迹运行。视线法是指将机器人末端机械抓手的期望轨迹与机器人视线的交点设置为目标点,从而可以不断获取机器人的预定路径,机器人便可按照预定路径进行精确定位。

为了保证机器人始终以期望轨迹运行,实现机器人的路径跟踪控制,需满足:

$$\psi(t) = \psi_d(t) \quad (1)$$

式中: $\psi_d(t)$ 为期望轨迹。

定义末端执行器控制器为:

$$\begin{cases} z_1 = \psi - \psi_d \\ z_2 = r - \alpha \end{cases} \quad (2)$$

式中: r 为末端执行器角速度; α 可通过稳定性方程来确定。

又有:

$$\dot{z}_1 = r - r_d = \alpha + z_2 - r_d \quad (3)$$

$$(I_{zz} - N_r)\dot{z}_2 = \tau - N_h - (I_{zz} - N_r)\dot{\alpha} \quad (4)$$

式中: N_h 为其他力矩。

选取 Lyapunov 函数为:

$$v = \frac{1}{2}z_1^2 + \frac{1}{2}(I_{zz} - N_r)z_2^2 \quad (5)$$

对式(5)求导可得:

$$\dot{v} = z_1\dot{z}_1 + (I_{zz} - N_r)z_2\dot{z}_2 = z_1(\alpha + z_2 - r_d) + z_2[\tau - N_h - (I_{zz} - N_r)\dot{\alpha}] \quad (6)$$

假设控制系统稳定性控制参数 α 为:

$$\alpha = -cz_1 + r_d \quad (7)$$

则有:

$$\dot{v} = -cz_1^2 + z_2[\tau - N_h - (I_{zz} - N_r)\dot{\alpha}] \quad (8)$$

如果:

$$\tau_N = (I_{zz} - N_r)\dot{\alpha} + N_h - kz_2 - z_1 \quad (9)$$

那么:

$$\dot{v} = -cz_1^2 - kz_2^2 \leq 0 \quad (10)$$

由式(10)可知 v 在 $(z_1 = 0, z_2 = 0)$ 处是趋向于稳定的,因此为了保证机器人按照预定路径运动,只需使机器人末端控制器满足 $(\psi = \psi_d, r = 0)$ 便可。

3 模糊 PID 控制器设计

传统 PID 控制方式为:

$$O(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{i=1}^k e(i)T + K_D \dot{e}(k) \quad (11)$$

式中: K_p , K_I , K_D 为 PID 控制器参数; $e(k)$ 为直角坐标机器人轨迹偏差量; $\dot{e}(i)$ 为轨迹偏差量变化率。

为提高控制系统的响应性能,定义滑动误差为:

$$S^*(k) = \frac{S(k)}{G_e} = \frac{(\lambda e(k) + (1-\lambda)\dot{e}(k))}{G_e} \quad (12)$$

式中: λ 为加权系数, $0 < \lambda \leq 1$; G_e 为 $S(k)$ 的归一化因子。将 $S^*(k)$ 作为模糊控制器的输入,由此也可以得到模糊控制器的输出为:

$$e_f^*(k) = \frac{e_f(k)}{G_u} \quad (13)$$

式中: G_u 为 $e_f(k)$ 的归一化因子。

为了简化控制算法, 模糊控制器的输入输出关系曲线可采用 Sigmoid 函数近似逼近, 即:

$$e_f^*(k) = \frac{2.0}{1.0 + \exp(-K \cdot S^*(k))} - 1.0 \quad (14)$$

综上, 采用的模糊 PID 控制算法可描述为:

$$O(k) = K_P G_u e_f^*(k) + K_I \sum_{i=1}^k e(i)T + K_D \dot{e}(k) \quad (15)$$

所涉及的参数包括 K_P , K_I , K_D , G_e , G_u , λ 和 K 。

定义机器人轨迹跟踪误差为:

$$e_\psi(k) = \psi_d(k) - \psi(k) \quad (16)$$

由式(16)可知, 直角坐标机器人路径跟踪的模糊 PID 控制器可表示为:

$$O_\psi(k) = K_P G_u e_{f\psi}^*(k) + K_I \sum_{i=1}^k e_\psi(i) - K_D r(k) \quad (17)$$

式中: $r(k)$ 为任意时刻机器人末端执行器角速度; $O_\psi(k)$ 为任意时刻末端执行器控制力矩。

4 仿真分析

为了验证基于模糊 PID 的直角坐标搬运机器人轨迹跟踪方法的可行性和有效性, 采用 MATLAB 软件进行了相关仿真实验。

对直角坐标机器人的直线轨迹跟踪, 设初始位姿误差为 $(0, 0, -\pi/3)$, 参考轨迹的输入值为 $\sqrt{2}$ m/s, 机器人转向角为 $\pi/3$, 跟踪轨迹见图 2。对机器人的圆形轨迹进行跟踪, 设机器人初始位置误差为 $(0, 0, -7\pi/12)$, 参考轨迹的输入值为 $\sqrt{2}$ m/s, 机器人转向角为 $\pi/4$, 仿真结果见图 3。由仿真结果可知: 不论是直线实验还是曲线实验, 在模糊 PID 控制模式下, 轨迹跟踪速度较快、相对比较平稳, 轨迹跟踪效果好。

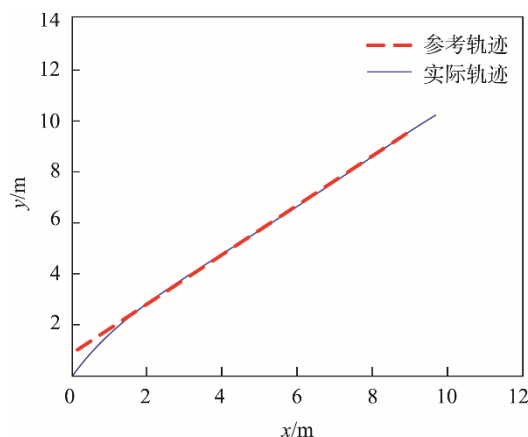


图 2 直线轨迹跟踪结果
Fig.2 Straight line trajectory tracking results

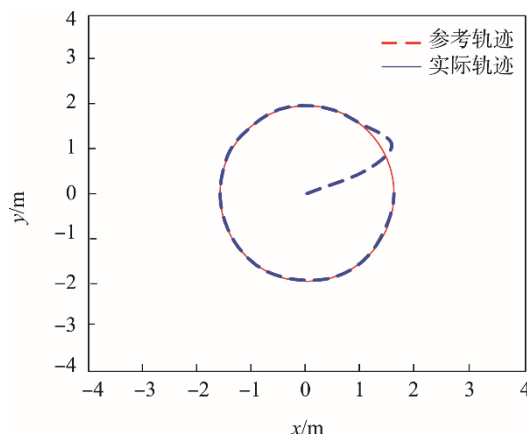


图 3 圆形轨迹跟踪结果
Fig.3 Circular trajectory tracking results

其次, 在圆形曲线跟踪仿真实验中, 观察位置误差收敛情况, 仿真结果见图 4。由仿真结果可知, 在模糊 PID 控制模式下, 位置误差曲线收敛速度较快, 振荡次数相对较少, 曲线比较平滑。

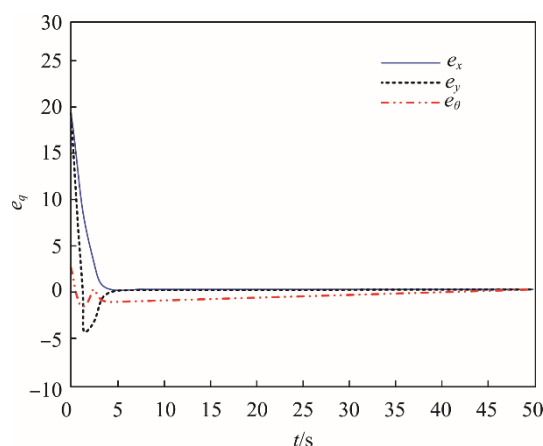


图 4 e_x , e_y 和 e_θ 误差曲线
Fig.4 e_x , e_y and e_θ error curves

5 结语

为了提高直角搬运机器人的定位精度, 减小机器人轨迹跟踪误差, 提出了一种基于模糊 PID 的机器人轨迹跟踪控制方法, 并将其应用于机器人运动轨迹跟踪控制中, 在外部存在干扰的情况下仍可保证机器人沿着预定轨迹运动。最后的仿真实验表明, 基于模糊 PID 的控制方法能够实现机器人直线和圆弧轨迹的精确跟踪控制, 该轨迹跟踪方法是一种具有较好控制性能的控制方法, 具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 林文建, 钟杭, 黎福海, 等. 两轮自平衡机器人控制系统设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(8): 750—759.

- LIN Wen-jian, ZHONG Hang, LI Fu-hai, et al. Design and Implementation of Control System for Two-wheeled Selfbalancing Robot[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(8): 750—759.
- [2] GREGORK, IGORS. Tracking-error Model Based Predictive Control for Mobile Robots in Real Time[J]. Robotics and Autonomous System, 2007, 55(6): 460—469.
- [3] 王志林, 闻凯, 陈杰. 基于 Android 的小型移动机器人控制系统[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(9): 4—7. WANG Zhi-lin, WEN Kai, CHEN Jie. Small Mobile Robot Control System Based on Android[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2014, 33(9): 4—7.
- [4] YUE M, HU P, SUN W. Path Following of a Class of Non-holonomic Mobile Robot with Under Actuated Vehicle Body[J]. IET Control Theory and Applications, 2010, 4(10): 1898—1904.
- [5] DONG W, HUO W, TSOSK, et al. Tracking Control of Uncertain Dynamic Non-holonomic System and Its Application to Wheeled Mobile Robots[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000, 16(6): 870—874.
- [6] PARK B S. Adaptive Neural Sliding Mode Control of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots with Model Uncertainty[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2009, 17(1): 207—214.
- [7] 牛瑞燕, 许午嘯, 徐金琨. 欠驱动机械臂滑模控制与实验研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(2): 348—355. NIU Rui-yan, XU Wu-xiao, XU Jin-kun. Sliding Mode Control and Experiment Study for Under Actuated Manipulator[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(2): 349—355.
- [8] 高剑, 徐德民, 严卫生, 等. 欠驱动自主水下航行器轨迹跟踪控制[J]. 西北工业大学学报, 2010, 28(3): 404—408. GAO Jian, XU De-min, YAN Wei-sheng, et al. Trajectory Tracking Control of the Underactuated Autonomous Underwater Vehicle[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2010, 28(3): 404—408.
- [9] 甘永. 水下机器人运动控制系统体系结构的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007. GAN Yong. Research of Underwater Robot Motion Control System Architecture[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007.
- [10] 田宇, 张艾群, 李伟. 基于混合模糊 P+ID 控制的欠驱动 AUV 路径跟踪控制及仿真[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(5): 1—6. TIAN Yu, ZHANG Ai-qun, LI Wei. Path-following Control and Simulation of Underactuated Autonomous Underwater Vehicles Based on Fuzzy Plus ID Control[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(5): 1—6.
- [11] 邓顺, 周康渠. 基于 DSP 的焊装机器人控制算法研究与仿真设计[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2017, 34(1): 87—93. DENG Shun, ZHOU Kang-qu. Research and Simulation of Control Algorithm Design of Welding Robot Based on DSP[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2017, 34(1): 87—93.
- [12] 唐旭东, 朱炜, 庞永杰, 等. 水下机器人光视觉目标识别系统[J]. 机器人, 2009, 31(2): 171—178. TANG Xu-dong, ZHU Wei, PANG Yong-jie, et al. Target Recognition System Based on Optical Vision for AUV[J]. Robot, 2009, 31(2): 171—178.
- [13] 张杰, 魏维. 基于视觉注意力模型的显著性提取[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(11): 109—113. ZHANG Jie, WEI Wei. Saliency Extraction Based on Visual Attention Model[J]. Computer Technology and Development, 2010, 20(11): 109—113.
- [14] 贾鹤鸣, 程相勤, 张利军, 等. 基于自适应 Backstepping 的欠驱动 AUV 三维航迹跟踪控制[J]. 控制与决策, 2012, 27(5): 652—657. JIA He-ming, CHENG Xiang-qin, ZHANG Li-jun, et al. Three-dimensional Path Tracking Control for Underactuated AUV Based on Adaptive Backstepping[J]. Control and Decision, 2012, 27(5): 652—657.
- [15] RAIMONDI F M, MELLUSO Maurizio. Hierarchical Fuzzy/lyapunov Control for Horizontal Plane Trajectory Tracking of Under Actuated AUV[J]. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2010, 1875—1882.