

文章编号: 2095-2163(2020)12-0016-02

中图分类号: O232

文献标志码: A

多自由度机械臂反演自适应滑模智能控制方法设计

郭海全, 刘 焱, 周秋坤

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201600)

摘要: 为了改善多自由度机械臂移动精精度, 提高机械臂控制效果, 提出了多自由度机械臂反演自适应滑模智能控制方法。采用轻质材料的多自由度机械臂为研究对象, 建立智能机械臂控制系统, 结合智能感应技术对距离信息进行感应, 根据感应结果对机械臂的随期望运动轨迹进行规划, 通过对反演自适应滑模控制器进行设计, 结合滑模控制方式, 利用自适应控制理论补偿扰动信号, 实现控制稳定性。由实验结果可知, 该方法横向、纵向运动与实际情况一致, 且具有良好控制效果。

关键词: 多自由度; 机械臂; 反演自适应; 滑模控制

Design of Backstepping Adaptive Sliding Mode Intelligent Control Method for Multi-degree Freedom Manipulator

GUO Haiquan, LIU Ye, ZHOU Qiukun

(School of Electronics and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering and Technology, Shanghai 201600, China)

[Abstract] In order to improve the movement accuracy and control effect of multi DOF Manipulator, a backstepping adaptive sliding mode intelligent control method is proposed. The multi degree of freedom manipulator with light material is used as the research object, and the intelligent sensing technology is used to sense the distance information. According to the sensing results, the trajectory of the manipulator is planned according to the expected motion. The backstepping adaptive sliding mode controller is designed, and the disturbance signal is compensated by using the adaptive control theory to achieve control stability. The experimental results show that the method is consistent with the actual situation, and has good control effect.

[Key words] Multiple degrees of freedom; Robotic arm; Inversion adaptive; Sliding mode control

0 引言

人工智能是一个涉及自动化、计算机、生物学、认知科学等多学科高度交叉的研究领域, 近年来受神经科学、深度学习、大数据、云计算等理论与技术发展的推动, 人工智能迎来了新一轮的发展高潮。人工智能对于机器人领域的重要性不言而喻, 尤其在理解自然语言、机器视觉、智能认知与决策的研究中, 也得到越来越广泛的应用。机械臂是一个强耦合、时变的非线性系统, 由于内部结构参数的改变和外部干扰的影响, 使实际的控制受到了影响^[1]。虽然非线性扰动观测器观测系统具有较强的鲁棒性, 但易受外界干扰, 导致控制效果较差^[2]; 而采用有限元法将多自由度连续单元理想化为一组有限自由度单元, 但该方法也容易受外界干扰, 存在控制效果较差的问题^[3]。基于此, 提出了一种多自由度机械臂反演自适应滑模智能控制方法。

1 智能机械臂控制系统设计

研究的多自由度机器人采用合金或新型碳纤维等轻质材料, 一方面可大大降低其自身重量, 另一方面机器人必须增加承载的自重比, 使其具有更多的

自由度。

智能感应机械臂控制由智能感应系统和执行系统两部分构成。智能感应系统由 Arduino UNO 控制板、Arduino IDE 开发环境、超声波传感器以及电源组成执行系统由控制器、底座、支架、手爪和电源构成, 智能机械臂控制系统以 Arduino 控制板为核心, 连接感应元器件和控制器, 通过 Arduino IDE 集成开发环境开发控制程序作用于控制器的电机驱动模块, 电机驱动模块驱动机械臂的准确运动, 以此构成闭合的控制系统, 通过系统调试, 实现对机械臂多自由度准确的作业控制。其中, 控制模块包含硬件和软件开发环境, 超声波智能感应模块通过超声波传感模块检测与物体的距离信息, 并将接受到的信息通过智能转化, 发送给控制中心模块。控制器的电机驱动模块通过 16 路舵机控制器实现驱动, 上位机监控软件界面, 实现机械臂多自由度协调运动规划和存储动能, 同时接受控制中心发送的驱动信息, 调动不同的舵机运动, 以此实现多自由度机械臂反演自适应滑模的智能控制。

外部干扰会对多自由度智能机械臂控制系统的

作者简介: 郭海全(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 滑模、智能控制、非线性系统。

收稿日期: 2020-08-12

控制性能造成影响。当存在干扰时,有

$$K(x, y) = g(x, y) / gt + D(x, y). \quad (1)$$

其中, $K(x, y)$ 为控制运动效果; g 为控制系数; t 为时间; D 为干扰因子。

为保证多自由度机械臂系统能按要求的轨迹和受抑制的连杆的振动在一定范围内, 保证系统在控制器的作用下完成高精度的轨迹运行, 并使系统的振动受限制在工程允许的范围内。分析机械臂在弹性状态下的最大位移量, 即弹性值, 弹性值确定公式如下所示:

$$r = \exp L(1 - y). \quad (2)$$

其中, r 代表影响半径; L 代表臂长; y 代表材料的韧性强度。

在此基础上, 分析多自由度机械臂的受力情况:

$$F = \frac{gp}{q} + \frac{s}{vL}. \quad (3)$$

其中, F 为多自由度机械臂整体的受力情况; p 为机械臂分项抗力系数; q 为机械臂极限受力标准值; v 代表机械臂持力端极限端阻力标准值; s 代表积累比材料参数。

基于此, 在智能机械臂控制系统基础上设计反演自适应滑模控制器。

2 反演自适应滑模控制器设计

在实际多自由度机械臂智能感应控制过程中, 受到外部扰动信号影响, 影响控制效果。为了避免上界受限问题, 在多自由度机械臂反演自适应滑模控制器设计上, 结合人工智能技术, 使用自适应控制理论补偿扰动信号, 以此满足控制条件, 其设计为:

$$d = K(x, y) (g + D(x, y)) / F. \quad (4)$$

同时, 设计了系统满足的理论条件 Lyapunov 函数稳定化和渐近稳定化指数两种形式的自适应逆滑模控制器。

$$E = \exp [gK(x, y) + D(x, y)] / Ft. \quad (5)$$

通过该控制器, 使得多自由度机械臂满足假设条件, 从而保证控制器具有全局指导意义下的渐进稳定性, 保证多自由度机械臂各个关节按照空间内期望轨迹运动。保证了系统指数渐近稳定化的全球意义, 即每个关节的机械手都能按预期轨迹运动。

再此基础上, 可以得出该设计的系统稳定性分析结果为:

$$\begin{cases} x = g(x_1, x_2) t + D(x_1, x_2) K(x_1, x_2) / F, \\ y = K(y_1, y_2) gt + K(y_1, y_2) \cdot (-D(y_1, y_2)) / F. \end{cases} \quad (6)$$

3 实验

为了验证多自由度机械臂反演自适应滑模智能控制方法研究合理性, 进行实验验证分析。定量分析通信网络路由协调控制器, 统计多自由度机械臂在横向和纵向运动情况, 结果如图 1 所示。

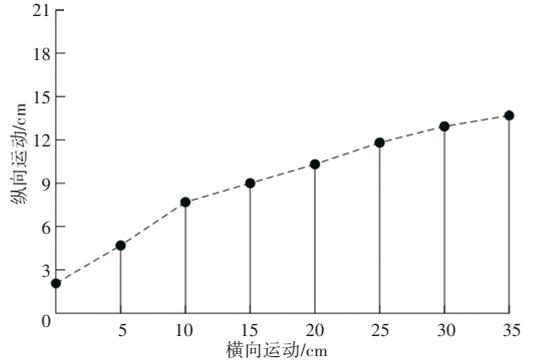


图 1 多自由度机械臂在横向和纵向运动情况

Fig. 1 Multi-degree-of-freedom manipulator in horizontal and longitudinal motion

由图 1 可知: 当横向运动为 35 cm 时, 纵向运动达到最长为 13 cm; 而当横向运动为 15 cm 时, 纵向运动达到最长为 9 cm; 当横向运动为 0 cm 时, 纵向运动为 2 cm。由此可知, 机械臂横向运动与纵向运动虽有一定误差, 但也基本呈正比例形式。

使用滑模反演法受到非线性扰动观测器观测干扰因素影响, 导致纵向运动控制效果与实际值存在一定误差, 最大误差为 4 cm; 采用有限元法纵向运动控制效果不佳, 与实际值存在一定误差, 最大误差为 3 cm; 而反演自适应滑膜控制方法纵向运动控制效果与实际值一致, 误差为 0 cm。因此, 多自由度机械臂反演自适应滑模智能控制方法具有合理性。

4 结束语

提出了一种多自由度逆自适应滑模智能控制方法, 解决了系统控制中外部干扰的不确定性问题。首先基于智能感应建立智能机械臂控制系统, 针对系统的不确定度和外部干扰的不确定度来设计控制器用自适应逆滑模方法对未观察到的干扰进行补偿实现了机械臂跟踪控制所需要的轨迹, 保证了闭环系统的全局稳定性。

参考文献

- [1] 刘希, 黄茹楠, 高英杰. 电液位置伺服系统自适应反演滑模控制[J]. 液压与气动, 2019, 6(7): 14-19.
- [2] 张森, 张元亨, 普杰信, 等. 轮式移动焊接机器人自适应反演滑模控制[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(7): 65-70.
- [3] 宋立业, 邢飞. 移动机器人自适应神经滑模轨迹跟踪控制[J]. 控制工程, 2018, 25(11): 1965-1970.