

基于精简模糊推理的机械手移动路径智能控制设计

李百尧

(广东智科电子股份有限公司 广东 佛山 528200)

摘要: 本文以模糊推理理论为核心,设计了一种机械手移动路径智能控制方法,基于机械手运动学模型,提取移动路径转折点,通过制定编队控制顺序,最终实现对机械手移动路径的智能控制。

关键词: 固定阈值;模糊推理;机械手;移动路径;智能控制;约束条件

0 引言

机械手的工作环境复杂多变,在某些场景下机械手的运动路径控制既需要保证运动路径最短^[1],同时还必须及时规避静态和动态的障碍物,保证控制精度。相关学者在这一领域取得了一定的研究进展。孔慧芳等提出基于干扰观测器的路径跟踪控制方法,利用干扰观测器方法建立移动路径控制模型,但该方法忽略了过程控制,实际输出的转角数值过大,控制效果不佳^[2];马晓敏等提出基于双幂次趋近律的模路跟踪控制方法,主要是利用向量追踪算法对机械手的移动路径控制数值模拟,不断趋近最小值,从而实现智能控制,但该方法面对工程较为复杂的环境,其计算量较大,不易于工程实现^[3]。

1 机械手移动路径智能控制方法设计

1.1 机械手运动学建模

机械手在作业时以预定速度(0~1)直线移动,遇到超过指定大小的障碍物则避开障碍物,较小的障碍物则直接跨越,最小转弯半径为0,且在移动过程中,转弯打滑率小于15%^[4]。因此,机械手预定移动路径以预定速度完成直线移动,按照实际路面决定的转弯半径转弯。机械手运动分析如图1所示。

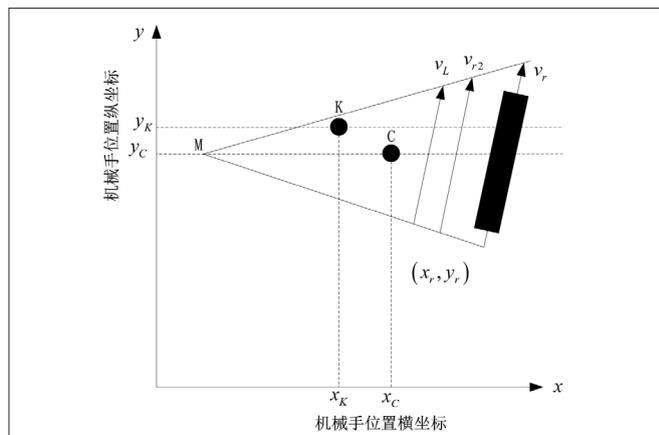


图1 机械手移动分析图

图1中,黑色矩形为机械手初始位置,其移动方向为坐标原点方向,终点为M点。机械手的运动轨迹位姿为L,初始速度为 v_L 和达到匀速时的速度为 v_R ,最终合成速度为 v 。同时考虑机械手的倾斜角和位置变化,本文研究的机械手在其移动过程中几乎不发生滑动,不考虑机械手的倾斜角度,即机械手在运动过程中的倾斜角度始终为 0° ,且移动速度一直保持为 $v_R=v_L=v$ 。理想状态下的运动学方程为:

$$p = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ \theta_c \end{bmatrix} = p(t) \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ v \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

在实际应用中,机械手上下关节的结构由于制造差异参数存在一定偏差,所以移动的速度也无法保持一致。因此,机械手的移动方向与位姿会出现一定变化^[5]。假定机械手移动到K点时,其倾斜角为 θ_k ,则在K点时的运动学模型为:

$$p_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sin \theta_k}{2} & \frac{\sin \theta_k}{2} \\ \frac{\cos \theta_k}{2} & \frac{\cos \theta_k}{2} \\ \frac{1}{D+2b} & -\frac{1}{D+2b} \end{bmatrix} \quad (2)$$

由式(2)机械手的运动学模型可知,机械手的位姿偏差主要取决于关节的移动速度变化,当关节移动速度突变时,机械手就会产生较大的位姿偏差^[6,7]。结合以上计算与分析,机械手在移动过程中,对其移动路径的控制可以通过控制其关节差速来实现,得到位姿偏差输出。

1.2 移动路径转折点精简算设计

基于上述机械手运动学模型,在路径转折点序列中存在一定数量的冗余项,需要提取机械手可能移动的路径中的转折点,进一步控制和优化移动路径。本文研究中利用滑动窗口的方法提取路径转折点,提出一种转折点精简策略。窗口滑动示意图如图2所示。



图2 窗口滑动示意图

图2中的虚线框表示滑动窗口，滑动窗口从原始路径点序列最左侧开始，选择出三个路径点序列，如果三个路径点共线，则删掉中间的路径点，此时窗口中有一个路径点位置处于空缺状态，但是窗口不滑动^[8]。更新路径点序列后，窗口右侧路径点向左移动，填补这一空缺位置。如果三个路径点不共线，则窗口向右滑动一个路径点单位，重复之前的判断并循环，直至窗口到达路径点序列最右侧。还需要判断最后三个路径点是否共线，如果共线则删除掉中间路径点。将初始提取到的移动路径转折点中的冗余项剔除，达到精简转折点的目标。经过转折点序列处理之后，所有的冗余转折点都被删除，转折点序列得到进一步精简优化。提取出的转折点序列^[9]为：

$$X = p_k \cdot \left[\rho_1 \frac{(X_{rand} - X_{nearest})}{|X_{rand} - X_{nearest}|} + \rho_2 \frac{(X_{goal} - X_{nearest})}{|X_{rand} - X_{nearest}|} \right] \quad (3)$$

式中： p_k 为机械手运动学模型； ρ_1 为路径点数目； ρ_2 为路径点长度； X_{rand} 为机械手随机采样位姿点； $X_{nearest}$ 为初始位姿点； X_{goal} 为目标位姿点。

1.3 基于模糊推理的移动路径控制器构建

在路径的转折点精简序列中，机械手的执行模块、驱动模块和控制模块分别对应着不同路径转折点，从而组成执行式结构。以初始轨迹修正过程产生的信息来选择执行方向，下层的执行启发参数可表示为：

$$R(t) = \frac{\alpha}{\sum_{p_k} [\tau(t)\eta_i]} \quad (4)$$

式中： α 为产生的路径点数量； $\tau(t)$ 为能见函数； η_i 为转移参数； p_k 为机械手运动学模型。

执行上述搭建的结构式，设定随机概率常数，将信息固定在一个环境区间内，搭建一个路径点更新过程，在更新过程基础上，以机械手产生路径位姿数值作为控制器的控制对象，建立一个数值控制过程，可表示为：

$$u(e) = e \frac{\sum_{i=1}^q e(i)}{X-1} \quad (5)$$

式中： e 为控制输入参数； $e(i)$ 为数值比例函数； q 为机械手移动路径的积分参数； X 为路径转折点。

对应不同控制层的机械手，结合不同类型的抓取动作，利用模糊推理理论设定一个控制过程，其结构如图3所示。

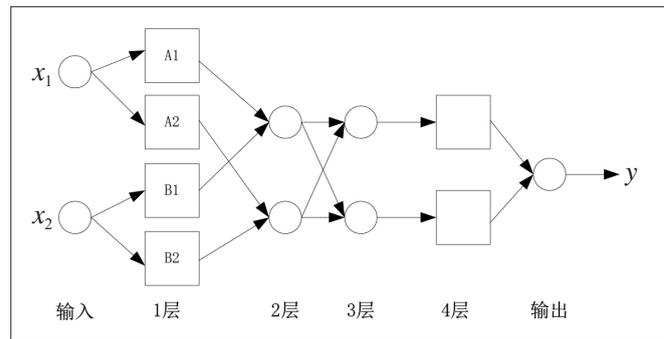


图3 模糊推理控制结构

图3中， x_1 、 x_2 表示路径控制器的输入参数， y 表示模糊推理输出参数。设定基于模糊推理的移动路径控制器为4层网络结构，图3中的矩形表示模糊节点，该节点中包含可控制参数和不可控制参数；圆形表示不可变节点，其中不包含控制参数。对于整个控制器而言，可控制的参数集合为模糊节点的并集，其中第1层结构的参数为预设参数，第4层结构的参数为结论参数。该控制过程可表示为：

$$J = -l \cdot u(e) \frac{e}{w(i)} \quad (6)$$

式中： $w(i)$ 为控制层内的神经元函数； l 为转移数量； $u(e)$ 为数值控制。

在上述模糊推理控制下，将机械手固定接入到坐标系内，在空间范围内，机械手形成的旋转过程可表示为：

$$V_s = \frac{J(\theta)L_r}{T} \quad (7)$$

式中： V_s 为控制器函数； $J(\theta)$ 为旋转函数； L_r 为路径点更新过程。

将机械手运动旋量控制在一个最小数值状态后，设定智能编队控制顺序，实现机械手的智能控制过程。

使用上述设计的路径控制器，构建经模糊推理理论控制的机械手产生的运动过程，可表示为：

$$\frac{\bar{M}}{V} \kappa = \frac{\bar{B}\tau}{V_s} \quad (8)$$

式中： \bar{M} 为机械臂产生的角速度； \bar{B} 为机械臂产生的姿态函数； κ 为编队参数； τ 为时间转换矩阵； V_s 为机械手旋转过程。

在机械手不同的路径下，对应产生的编队参数数值不同，将编队参数模糊处理后，输出一组输出参数，可表示为：

$$\begin{cases} \tau_1 = \frac{\sum_{j=1}^X \mu_{j-1}}{\kappa} \\ \tau_2 = \frac{\sum_{j=1}^X \mu_{j+1}}{\kappa} \end{cases} \quad (9)$$

式中： τ_1 、 τ_2 为输出的参数； u_j 为模糊输出函数。

处理上述输出处理参数，整合为一个数据集，为了编排所有输出参数为一个合理的输出顺序，控制机械手的移

动速度函数关系的收敛性,控制移动速度满足如下的数值关系:

$$\lim_{j \rightarrow j+1} \left\| \frac{U_F \tau_1}{U_1 \tau_2} \right\| = 0 \quad (10)$$

式中: u_F 为机械手产生的理想函数关系; u_1 为时间周期内机械手产生的实际收敛函数; j 为路径转折点编号。

在上述数值控制下,最小化处理收敛参数,控制机械手输出的转角。

2 实验论证

2.1 实验准备

为测试基于模糊推理的机械手移动路径智能控制方法的控制性能,对设计的方法性能进行验证。本文研究对象为 UR5 串联机械手,其相关 D-H 参数仿真结果如表所示。

以机械手的质心为坐标原点,起点坐标为 (300, 300, 150), 终点坐标为 (400, 500, 100)。机械手的手指位姿始终为向下方向。在同等参数设置下,运行实验机械手。

2.2 实验结果

实验中在相同参数控制下,同时采用文献 [2] 基于干扰观测器的路径跟踪控制(方法 1)、文献 [3] 基于双幂次趋近律的模路径跟踪控制方法(方法 2) 作为本文方法的实验对照组,三种控制方法对机械手移动路径的控制效果及对比如图 4 所示。分析图 4 可知,方法 2 对机械手的移动路径控制与期望移动路径之间产生的偏移量最大,相对误差最大约为 0.013,其控制效果相对较差;方法 1 控制的移动路径与期望路径之间产生的相对误差要小于方法 2,对应的控制方法控制效果有所改善;本文设计的方法控制的移动路径与期望路径基本吻合,两者之间的相对误差更小,具有更加优良的控制效果。

3 结语

目前,机械手是工业控制领域必不可少的一部分,传

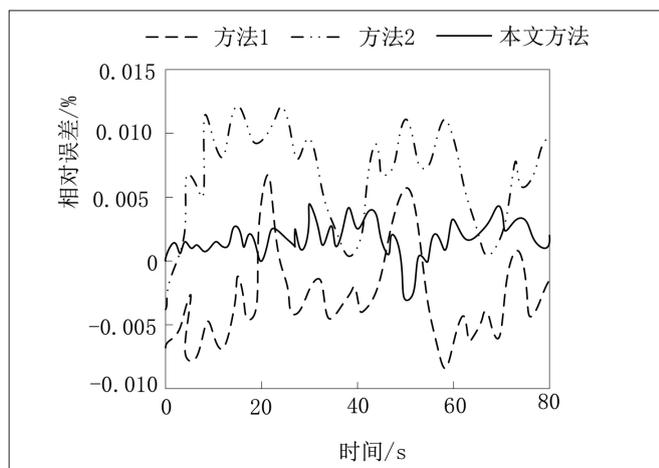


图 4 不同方法对机械手移动路径控制效果对比

表 机械手 D-H 参数

序号	参数名称	参数详情
1	机械手抓重 /kg	10
2	自由度参数	5 个自由度
3	坐标形式	圆柱坐标
4	工作半径 /mm	2000
5	关节运动参数 / (mm/s)	旋转 300
6	最大中心高度 /mm	1500
7	手腕运动参数 / (mm/s)	回转速度 150
8	手指夹持范围	0° ~ 180°
9	定位精度 /mm	1
10	转动范围	±360°

统移动路径智能控制方法存在控制误差较大、控制效果不佳等问题,而利用模糊推理理论对机械手移动路径智能控制则可以很好地弥补传统方法的缺陷。为此,本文提出了基于模糊推理的机械手移动路径智能控制方法,并与常规方法仿真实验对比后,得出模糊推理理论对机械手移动路径的控制效果明显优于常规控制方法。

参考文献:

- [1] 华洪,张志安,施振稳,等. 动态环境下多重 A* 算法的机器人路径规划方法 [J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(10): 173-180.
- [2] 孔慧芳,丁道远,房耀. 基于干扰观测器的移动机器人路径跟踪控制 [J]. 电光与控制, 2021, 28(12): 91-96.
- [3] 马晓敏,杨焯,冯子金,等. 基于双幂次趋近律的移动机器人反演滑模路径跟踪控制方法 [J]. 电子测量技术, 2021, 44(12): 29-33.
- [4] 王影,杨家鑫,刘麒,等. 复杂环境下移动机器人路径规划与跟随 [J]. 吉林化工学院学报, 2022, 39(07): 34-41.
- [5] 芮宏斌,曹伟,王天赐. 基于改进型自抗扰控制的光伏板清洁机器人路径跟踪控制研究 [J]. 机械设计, 2021, 38(S2): 79-83.
- [7] 臧强,张国林,靳雨桐,等. 一种基于动态步长的 AAPF-RRT* 移动机器人路径规划新算法 [J]. 中国科技论文, 2021, 16(11): 1227-1233+1270.
- [8] 王茜. 基于模糊控制的移动机器人路径规划仿真研究 [J]. 江西煤炭科技, 2021(04): 178-180.
- [9] 王海群,王水满,张怡,等. 未知环境的移动机器人路径规划研究 [J]. 机械设计与制造, 2021(10): 233-235+240.

作者简介: 李百尧 (1974.09-), 男, 汉族, 广东梅州人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 智能控制器、物联网技术及无人驾驶技术的研究开发。