

# 基于D-H规则的双臂协作工作空间位置动态精度优化

王熙杰

(湖南铁路科技职业技术学院,铁道机车学院,湖南省株洲市,412006)

**摘要** 为了提高服务机器人机械臂在抓取物品交接时对多种控制状态的适应能力,设计了一种基于D-H规则的双臂协作工作空间位置动态精度控制方法。各个运动副的轨迹获得末端控制部件的轨迹集合,形成服务机器人双臂的工作空间。研究表明:为各部件设定了最小间距,确保两个手臂间不发生动作碰撞的情况下,使两臂间形成协调控制的效果。本研究有助于提高双臂协作动作效率,为后续的参数优化奠定一定的理论基础。

**关键词** 双臂协作;工空间位置;D-H规则;动态精度

中图分类号:TH122 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)06-0006-02

目前,关于双臂控制系统开展的研究工作主要集中在手臂动力传输与动作协调方面。周晟等<sup>[1]</sup>通过D-H规则建立机械臂空间坐标系,根据正运动学求出机械臂末端工作空间云图,运用蒙特卡洛法对末端执行器不同对接位置分析,获得动态精度最优情况下位置参数。荆学东等<sup>[2]</sup>根据D-H参数分析双臂机器人运动学,利用蒙特卡洛法求解双臂工作空间,优化了机构连杆长度和关节范围。

为提高机械臂对多种控制状态的适应能力,需全面解决机械臂在工作空间中的重叠限制,为两条手臂设置适当相对间距,以达到最大相交面积与尽量获得更多手臂端部重合点,最终使两个机械臂之间形成完整工作区。

## 1 双臂协作结构设计

本实验选择具有6个自由度的机器人控制臂作为测试载体,每个自由度分别对应一个旋转关节。

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(2023JJ60234)

湖南省教育厅科学研究优秀青年项目(24B1050);湖南铁路科技职业技术学院资助项目(HNTKY-KT-2025-6)

作者简介:王熙杰(1986~),男,河南商丘人,硕士,讲师,研究方向:机器人技术研究。

获得较大的作业操控空间并实现对外部环境的快速响应<sup>[3]</sup>。在机器人手臂末端的执行结构上设置了视觉辨识功能,通过控制器对肩部与肘部末端部位的执行系统进行操作,使其移动到中央区域,之后调整腕部的角度。为增大机械臂的操作间隙,避免在独立操作过程中与辅助操作臂发生空间冲突,本系统中将机械臂置于Y方向的正向500mm位置处,在发生物品反转时控制Y轴来回移动过程,使副臂朝主臂位置移动。之后待副臂离开主臂到达设定距离时,再控制两条手臂分别完成反转操作,将物品精确地从主手臂传递至次臂处。

## 2 运动学分析

### 2.1 坐标系建立

根据以上测试结果,本研究提出了一种基于运动学原理的机械臂长计算方法,通过理论计算机械臂长来实现基于D-H规则的机械臂运动控制系统,具体见图1。对其上述各项系统参数进行顺序求解,得到表1中的D-H数据<sup>[4]</sup>。

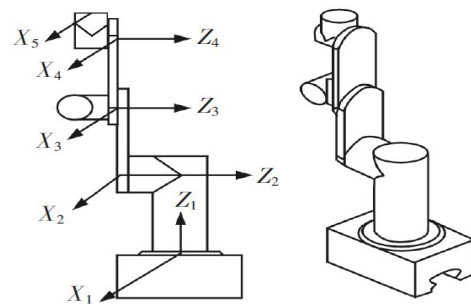


图1 关节坐标系

表1 D-H参数表

序号	$a_i$	$\alpha_i$	$d_i$
1	30	-90	50
2	150	0	0
3	100	0	0
4	20	0	0
5	0	-90	0
6	0	90	0

表中： $a_i$ --连杆长度； $\alpha_i$ --连杆扭曲； $d_i$ --连杆偏置； $\theta_i$ --关节转角。

### 2.2 正向运动学模型

采用正解算法计算双臂机械手处于工作空间中的坐标数据,再通过MATLAB软件对其进行计算获得工作空间的云图分布数据。结果发现,终端驱动器的姿态是通过(4×4)矩阵的形式进行控制。

将终端执行器的定位方式表示成由基准坐标系起点到终端执行器中心之间的向量P,即终端执行器位于基准坐标系中的坐标。

### 2.3 双臂协作工作空间分析

利用Link功能模块建立了双臂距离为H的两臂机构,并对逆计算结果的合理性进行了检验,建立机器人模型<sup>[5]</sup>。通过对两个机械臂实现协调控制来达到最大协同工作空间,实现对机器人的高精度运动控制。

机器人手臂各关节尺寸可结合具体的操作条件进行确定,通过算法遍历各个运动副的轨迹获得末端控制部件的轨迹集合,由此形成控制臂空间。

## 3 仿真试验与分析

### 3.1 物品交接位置坐标选取

为了方便构建控制系统,本文将Y=0,Z=0设置为中心点,在周围按照固定距离设置10个坐标,以此作为机械臂协同物品位置。本研究按照T=4s的时间完成翻转与交接操作,构建了以运动精度控制作为优化指标的总控制模式,本次选择各坐标位置见表2。

表2 工作空间位置参数表

序号	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$
1	43.15	-28.90	17.58	-178.27	-16.47	2.12
2	-7.83	87.99	16.77	29.89	3.85	-1.03
3	-24.30	50.95	59.02	115.01	82.78	1.62

### 3.2 运动特性仿真与分析

通过研究终端驱动器运动阶段形成的全局加速效果,针对翻转交接过程确立了合理的翻板转换位置控制指标。

为表2工作空间坐标与参考点建立了映射函数,将其映射到笛卡尔坐标系统中,本文选择Ikine方程进行求解,进行模拟测试,为各部件设定最小间距,并设置满足模拟试验要求的条件,可以确保两臂间形成协调控制的效果。

进行模拟试验时,设定工作时间为T=4s,对机械臂端部加速度进行对比,并对处于稳定状态的翻转位置进行了分析。得到图2所示的双机械臂运动轨迹与加速度。

可以看出,第4组曲线形成了最低的峰,尽管在T=4s时,没有达到最小加速度,此时曲线呈现平滑分布的特点,能满足当前工况作业要求,并能在对应的工作区域中达到总体精度控制指标。

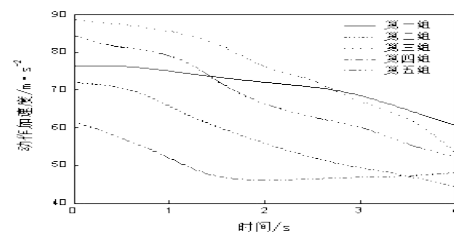


图2 总体加速度曲线

## 4 结语

本文开展基于D-H规则的双臂协作工作空间位置动态精度优化分析。为各部件设定了最小间距,使两臂间形成协调控制的效果。能够满足当前实际工况作业要求,达到总体精度控制指标。

### 参考文献

- [1] 周晟,孔建益,侯宇,等.双臂协作机器人动态精度设计及工作空间分析[J].机械设计与制造,2020(07):260-263+269.
- [2] 荆学东,薛毓铨,陈亚楠.6R双臂服务机器人协作空间分析及参数优化[J].机械科学与技术,2021,40(06):840-845.
- [3] 贺晓莹,高兴宇,王海舰,等.七自由度双臂协作机器人操作稳定性分析[J].工程设计学报,2019,26(06):706-713.
- [4] 杨冬,李继强,董跃巍,等.冗余双臂工业机器人实时协调避碰方法研究[J].机械设计与制造,2019(03):36-40.
- [5] 丰飞,杨海涛,唐丽娜,等.大尺度构件重载高精加工机器人本体设计与性能提升关键技术[J].中国机械工程,2021,32(19):2269-2287.