

工业机械臂控制系统设计研究

杨肖尧

(珠海科技学院 广东 珠海 519041)

摘要: 为实现工业机械臂运行轨迹的有效控制,提升工业机械臂在工业生产中的价值,本文在分析机械臂运动学理论的基础上,运用直线插补、空间姿态插补、圆弧插补法,完成笛卡尔空间轨迹规划设计。同时,应用 windows 系统、visual studio 软件、C# 语言,对上位机软件系统进行开发,并在微控制器系统设计、电动机与减速器设计、电动机驱动器设计、电源设计四个方面,对硬件控制系统进行设计,完成了工业机械臂控制系统的设计研究,以期实现机械臂整体运动的有效控制。

关键词: 工业机械臂; 运动学理论; 控制系统; 笛卡尔空间轨迹规划

0 引言

工业机械臂是一种可以自动完成设定生产任务的工业设备,结构上可以分为手臂、手腕和手三个部分^[1]。由于工作内容、复杂性程度不同,机械臂的类型不同。现阶段,基于信息技术的快速发展,机械臂已经深度应用到工业生产实践中,有效提升了生产效率,降低了工业生产的人工成本,推动了社会生产与生活方式的变革。为有效控制工业机械臂运行轨迹,进一步提升其运行实效,本文分析了机械臂运动学理论,并进行笛卡尔空间轨迹规划设计和硬件控制系统设计,旨在提升工业机械臂运动控制质量,提升机械臂在工业生产中的应用实效。

1 机械臂运动学理论分析

为实现工业机械臂控制系统的有效设计,需要对机械臂的运动学理论进行分析,包括运动学与动力学。其中,运动学分为正运动学、逆运动学^[2]。本质而言,工业机械臂的运动是通过机械结构使机械臂末端在空间进行运动的过程。在运动描述时,可以应用列向量 A_p 对机械臂末端的坐标系中的位置进行描述。列向量中的 A 表示刚体坐标位置,如图 1 所示。

在刚体的位姿描述过程中,可以设置平移的位置矢量,根据矢量的分量,得出矢量的投影数据。通过坐标系位置描述矩阵的变换,可以快速建立起坐标系之间的关系。

在刚体旋转变换过程中,可以参考固定的坐标系进行绕轴运动,旋转顺序为:(1)绕 X 轴进行逆时针的旋转;(2)绕 Y 轴进行旋转;(3)绕 Z 轴进行旋转,得到最终的姿态。若在旋转变换中,参考自身坐标系进行旋转运动,则需要分别对自身的 X 轴、 Y 轴、 Z 轴进行运动,

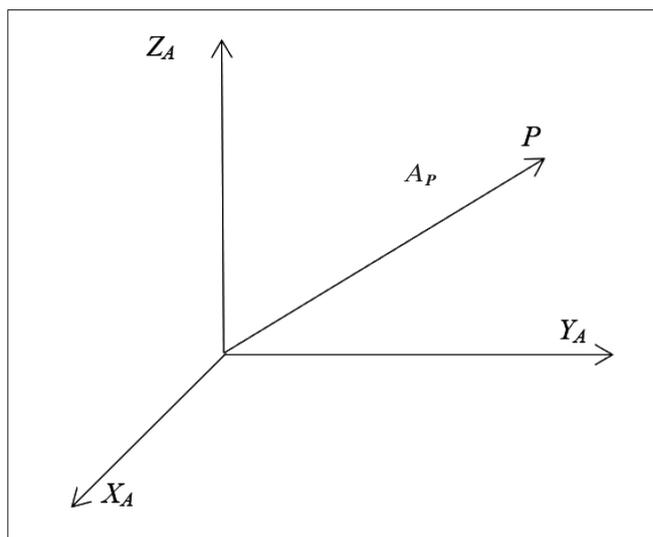


图 1 刚体的空间坐标位置

以得到最终姿态。

在刚体混合变换和组合变换过程中,可以根据位姿变换过程,对混合和组合变换进行多个位姿的拆分,进而得出多个位姿变换。通过多个位姿变换的组合,得出最终的姿态^[3]。

需要特别指出的是,在机械臂逆运动学求解过程中,需要明确机械臂的运动是否可解。由于求解过程属于非线性方程组计算问题,所以在求解时,通常使用遗传算法、Newton-Raphson 等^[4]。

2 笛卡尔空间轨迹规划设计

工业机械臂的主要运动路径是机械臂末端从起点到终点的空间轨迹,对这一轨迹进行规划设计,可以提高机械臂到达目标位置的精准性。为保证路径规划能够满足实际工作需求,需要应用分段函数,并对函数中的拐点进行处理。

2.1 直线插补

直线插补可以确定机械臂的末端运动轨迹,是实现机械臂控制的基础环节。设定直线插补中的插值点个数为 N , 则机械臂的末端总位移 S_1 可以表示为:

$$S_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1)$$

式中: (x_1, y_1, z_1) - 机械臂末端的起点空间坐标;

(x_2, y_2, z_2) - 机械臂终端的空间坐标。

在获得位移后,可以求出插值点个数。基于此,需要计算机械臂的位移总时间 T_1 , 用公式表示为:

$$T_1 = 2T_0 + \frac{S_1 - 2S_0}{V_s} \quad (2)$$

式中: T_0 - 机械臂加速度时间;

S_0 - 加速度阶段机械臂的位移距离;

V_s - 加速度阶段的机械臂运动速度。

根据实际机械臂控制需求,对上述公式各要素进行整合计算,可以得出插值点的相对姿态,为实现机械臂的直线运动控制奠定基础。

2.2 空间姿态插补

为保证各插值点的空间姿态一致,需要进行空间姿态插补。在插补过程中,首先设定机械臂的初始位置与终点位置的插补数、插值点数相等^[5];其次,根据机械臂的对应角度,进行空间姿态插补,用公式表示为:

$$\begin{cases} \alpha_{i+1} = \alpha_i + i\Delta\alpha \\ \beta_{i+1} = \beta_i + i\Delta\beta \\ \gamma_{i+1} = \gamma_i + i\Delta\gamma \end{cases} \quad (3)$$

式中: α 、 β 、 γ - 角度。

2.3 圆弧插补

机械臂的圆弧路径规划较为复杂。由于圆弧运动是一种非线性运动,所以需要对圆弧的弧长变化进行分析。为提升计算的精准性与简便性,应用插补的方式,以转角替换弧长进行计算。

假设机械臂绕某一固定轴做旋转运动,那么旋转运动分为正向旋转运动和反向旋转运动。在判断机械臂的旋转运动方向时,可以通过机械臂的末端起点到路径中间、起点与终点之间的角度大小进行判断^[6]。在实际路径规划过程中,首先要对机械臂末端运动的起点到路径中间的角度 $\angle P_1O_1P_2$ 进行计算,公式表示为:

$$\angle P_1O_1P_2 = \arctan(P_{2y}, P_{2x}) + m \times 2\pi \quad (4)$$

式中: (P_{2y}, P_{2x}) - 中间点坐标到坐标系的位置;

m - 待定量,取值为 1 或 0。

通过计算,可以得出机械臂末端进行圆弧路径运转的角度范围,使机械臂的运动轨迹规划更加精准和全面。

3 上位机软件系统设计

为实现工业机械臂的运转控制,需要对上位机软件系统进行设计。本研究在上位机软件设计中,应用 windows 系统、visual studio 软件、C# 语言,对软件系统进行开发和控制。

软件系统界面设计方面,主要在菜单栏中显示串口连接、参数设定、程序运转控制和逆解显示四项内容^[7]。

软件系统程序结构设计方面,设计了主界面,通过主界面,可以进入参数设定模块,能够对机械臂的初始状态进行设定,设定相关数据命名为数据类 1。在初始状态设定完毕后,可以进入仿真模块,对机械臂的圆弧运动、直线运动进行仿真,并在仿真过程中,确定机械臂实际运行路线的起始点、终点与中间点,这部分数据保存在数据类 2 中。通过插值点数据计算,完成路径规划,通过串口连接情况,对是否进入下位机进行判断。

4 硬件控制系统设计

4.1 微控制器系统设计

机械臂的运动控制系统的设计与运行目标在于实现机械臂末端的运动。为执行上位机软件系统相关参数,需要对硬件控制系统进行设计。其中,最重要的是对运动控制系统(图 2)进行设计。

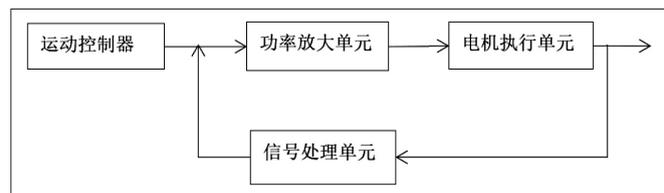


图 2 运动控制系统构成

基于上述分析,本研究确定运动控制器的基本功能为对上位机软件系统中的信息数据进行转换。在信号接收过程中,需要运用传感器,将读取的信号转换为可接收信号。因此,本研究应用微控制器替换运动控制器,将其设计为四个部分。

第一,程序下载模块。在该模块中,通过数据输入,对电气信号进行检测和判断,并对下载程序进行实时调试,保证了机械臂控制系统运行的稳定性。

第二,串口通信模块。应用 RS232 通信协议,设计 2 个公母接口,可以有效和充分利用信息数据资源,使电路更具有通用性。

第三,存储电路模块。应用 24C02 型号芯片,对机械臂运行的角度信息进行存储,以完成数据的擦除、写入等^[8]。

第四,微控制器最小工作系统模块。应用 F407 芯

片供电,设计复位电路,构成微控制器最小工作系统,确保系统的稳定、正常运行,满足机械臂运行控制的基本功能性需求。

4.2 电动机与减速器设计

与其他驱动方式不同,根据不同的实际运行需求,机械臂的驱动方式会有所不同。基于机械臂各关节受力情况的差异性分析,本研究应用两相闭环步进电动机和精密行星减速机,各参数如下表所示。

表 电动机与减速器参数

机械臂关节编号	步进电动机		减速器		
	转矩 / (Nm)	转动惯量 / (g·cm ²)	转矩 / (Nm)	减速比	转动惯量 / (g·cm ²)
1	0.9	120	35	35/1	0.05
2	1.3	200	35	40/1	0.04
3	0.9	120	35	35/1	0.05
4	0.35	35	13.5	125/1	0.008
5	0.35	35	13.5	125/1	0.008

4.3 电动机驱动器设计

结合上述设计分析,本研究匹配应用CL57型号的闭环驱动器和ASD422R驱动器。CL57型号的闭环驱动器部分参数为:连续输出电流的最大值3A;输入电源电压24V;逻辑输入电流7mA;绝缘电阻100MΩ^[9]。ASD422R驱动器的部分参数为:连续输出电流的最大值2.2A;输入电流0.3A;步进脉冲频率2Hz;输入控制信号电压3.3VDC;方向信号宽度62.5μs;控制信号导通电流7mA。

4.4 电源设计

本研究设计的工业机械臂电动机的供电方式基于驱动器的供电形式,根据电动机驱动器的相关参数设定,选择输出电压36V、输入电压24V的开关电源。为保障机械臂控制系统的运行稳定,在微控制器系统中,应用了DC5V供电方式和USB供电方式。

5 结语

工业机械臂是工业生产中的重要工具。机械臂运动控制系统的设计目标在于保证机械臂按照规定轨迹进

行运动,以提升机械臂使用实效。在设计控制系统前,本文对机械臂的运动学理论进行分析,为控制系统设计奠定理论分析基础。基于此,在笛卡尔空间轨迹规划设计、上位机软件系统设计、硬件控制系统设计三个方面,对机械臂控制系统进行设计,以期提升机械臂控制与应用实效提供参考和借鉴。但综合而言,本研究缺乏动力学模型对大功率机械臂影响的分析,需要在后续研究中进行补充和完善。

参考文献:

- [1] 焦宏涛,赵嵩. 机器视觉的伺服机械臂运动平稳性控制系统[J]. 机械设计与研究,2022,38(02):71-74.
- [2] 刘汇,王恒升,郭新平,等. 重型机械臂电液系统的神经网络辨识与反步控制[J/OL]. 机械科学与技术:1-12[2022-10-25]. DOI:10.13433/j.cnki.1003-8728.20220104.
- [3] 翟文正. 基于Speedgoat的dVRK机械臂控制系统开发[J]. 机床与液压,2022,50(14):91-95.
- [4] 陈晓彤,祁文哲,孟建军,等. 一种改进差分进化算法的单关节机械臂控制方法[J]. 组合机床与自动化加工技术,2022(07):38-41+47.
- [5] 丁萌,顾秀涛,郑先杰,等. 基于模糊补偿的连续型空间机械臂预定时间控制[J]. 浙江大学学报(工学版),2022,56(06):1175-1180.
- [6] 牛硕丰,李鑫,刘训彻,等. 基于机械臂的转换开关自动控制系统[J]. 电工技术,2022(10):42-43+131.
- [7] 朱大昌,杜宝林,盘意华,等. 基于轮廓误差补偿的机械臂自适应非奇异终端滑模控制[J]. 机床与液压,2022,50(08):172-180.
- [8] 崔凌,曹福凯. 新一代多自由度工业机械臂DCS系统设计[J]. 制造业自动化,2022,44(04):171-174+195.
- [9] 王雨娇. 基于机器视觉的工业机械臂自动控制系统[J]. 流体测量与控制,2021,2(06):37-40+43.

作者简介: 杨肖尧(2001.02-),男,汉族,吉林长春人,本科,助教,研究方向:机械设计制造及自动化模具。