

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.02.015

工业机械臂的轨迹规划插补系统设计*

游文辉¹, 王秀锋², 鲁文其^{1*}, 许鑫杰¹, 张 华^{1,3}

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018; 2. 杭州琦星机器人科技有限公司, 浙江 杭州 310010; 3. 浙江大学能源工程学院, 浙江 杭州 310007)

摘要:针对传统梯形速度规划存在的变速冲击和机械臂空间轨迹跟随作业质量低等问题,将五次多项式替换传统梯形速度规划加减速区的方法应用到工业机械臂的轨迹插补系统中。对传统梯形加减速控制的模型和轨迹插补系统进行了分析,推导了五次多项式速度插补算法的数学模型,并在 Matlab 上对该算法进行了建模与仿真分析;为了验证算法的有效性,设计了四轴机械臂轨迹插补系统的硬件及软件,阐述了轨迹插补系统以及空间轨迹插补的实现流程;基于 Linux 开发平台和 SCARA 机械臂,搭建了轨迹插补系统实验,并进行了现场测试。研究表明:该系统在满足参数约束的同时达到了柔性插补的设计要求,在冲击度峰值方面相比传统方法降低 90% 以上,提升了轨迹插补的作业质量和效率。

关键词:工业机械臂;轨迹插补;五次多项式;速度规划;Matlab 仿真

中图分类号:TH39;TP241

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)02-0190-07

Trajectory interpolation system for industrial manipulator

YOU Wen-hui¹, WANG Xiu-feng², LU Wen-qi¹, XU Xin-jie¹, ZHANG Hua^{1,3}

(1. School of Mechanical and Automatic Control, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Hangzhou Qixing Robot Technology Co., Ltd., Hangzhou 310010, China;
3. School of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Aiming at the problems of variable speed impact and low quality of space trajectory following operation in traditional trapezoidal velocity planning, the quintic polynomial method was applied to the trajectory interpolation system of industrial manipulator. The traditional trapezoidal acceleration and deceleration control model and trajectory interpolation system were analyzed. The mathematical model of quintic polynomial speed interpolation algorithm was deduced. The algorithm was modeled and simulated in Matlab. In order to verify the effectiveness of the algorithm, the hardware and software of the trajectory interpolation system for four-axis manipulator were designed. The trajectory interpolation system and the realization process of space trajectory interpolation were also presented. Based on Linux development platform and SCARA manipulator, the trajectory interpolation system was built and tested. The results indicate that the system meets the design requirements of flexible interpolation while satisfying the parameter constraints. Compared with traditional methods, the impact peak value is reduced by more than 90%, and the work quality and efficiency of trajectory interpolation are improved.

Key words: industrial robot arm; trajectory interpolation; five degree polynomial; speed planning; Matlab simulation

收稿日期:2018-07-09

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(LY18E070006, LY18E050016);国家自然科学基金资助项目(51307151, 51677172)

作者简介:游文辉(1995-),男,福建宁德人,主要从事机械臂控制器方面的研究。E-mail:17826856273@163.com

通信联系人:鲁文其,男,副教授,硕士生导师。E-mail:luwenqi@zstu.edu.cn

0 引言

如何让工业机械臂更好更快地完成作业是当今机械臂研究的一大热点^[1-2]。机械臂的轨迹规划一直是机器人学习及其应用中的研究热点和难点,它包括了关节空间的轨迹规划和直角坐标空间的轨迹规划问题。轨迹规划一般分两步进行^[3]:(1)完成路径的规划,形成路径的几何轮廓,即求出空间直线、空间圆弧或其他复杂 NURBS 曲线的参数方程;(2)完成插补,即以时间或距离为参数,采用等时间插补或等距离插补进行参数的密化^[4-7],求出运动轨迹的所有中间点。

早期,BAZAZ 等人^[8]指出在考虑位移、速度和加速度约束的前提下,连接关节空间中各路点最简单的多项式曲线形式为三次样条曲线,并据此提出了相应的轨迹规划算法^[9-11],但是该轨迹规划算法使用三次样条曲线,在路点的连接处加速度并不连续,导致机械臂在路点中切换引起振动^[12-14];PETTER A M^[15]提出了一种能够使得机械臂执行器沿给定空间直线运动的算法,根据机械臂的参数采用 D-H 方法建立了齐次变换矩阵,将机械臂末端执行器在笛卡尔空间下的位移、速度和加速度变换到关节空间下,然后利用等距插补法得到了一些型值点,用二次平滑函数平稳过渡每一轨迹段上关节位移、速度和加速度的突变处,以此来使得各关节的加速度变化连续实达到轨迹插补过程中平稳插补的效果;徐雄等^[15]为了提高轨迹规划的精度,通过增加轨迹曲线上的节点数,并且用余弦函数和多项式相组合的方法进行时间最优的轨迹规划^[17-19],但该方法导致关节轨迹分段数较多,相应的计算量过大,无法实现实时控制;杨锦涛等人用 S 形速度曲线代替梯形速度曲线,对 B 样条曲线进行插补,得到了笛卡尔空间的位置、速度、加速度参数,通过逆运动学求解获得了机械臂关节空间角位移、速度和加速度曲线^[20-26],结果表明各关节加速度连续,机械臂冲击有了明显改善,但是该对称 S 形插补算法无法应对分段规划的速度衔接以及加减速度不同的情况。

为了提高工业机械臂的作业质量,本文将提供一种柔性的轨迹插补算法,以减少关节空间和笛卡尔空间插补作业下的冲击,从而提高作业的精度和质量。

1 轨迹规划插补系统原理分析

1.1 五次多项式拟合及常量计算方法

五次多项式的表达式为:

$$S(t) = At^5 + Bt^4 + Ct^3 + Dt^2 + Et + F \quad (1)$$

其一阶微分方程式表示为:

$$S'(t) = 5At^4 + 4Bt^3 + 3Ct^2 + 2Dt + E \quad (2)$$

其二阶微分方程式表示为:

$$S''(t) = 20At^3 + 12Bt^2 + 6Ct + 2D \quad (3)$$

在已知插补总时间 T 时,由式(1,3)可以推导出五次多项式的常量为:

$$\begin{cases} A = (12(S_T - S_0) - 6(S'_T + S'_0)T - (S''_0 - S''_T)T^2)/2T^5 \\ B = (30(S_0 - S_T) + 2(7S'_T + 8S'_0)T + (3S''_0 - 2S''_T)T^2)/2T^4 \\ C = (20(S_T - S_0) - 4(2S'_T + 3S'_0)T + (3S''_0 - S''_T)T^2)/2T^3 \\ D = \frac{S'_0}{2} \\ E = S'_0 \\ F = S_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: S_0 —初始位移; S'_0 —初始速度; S''_0 —初始加速度; S_T —终点位移; S'_T —终点速度; S''_T —终点加速度。

1.2 基于五次多项式的轨迹插补算法

将五次多项式应用于梯形速度插补的加速区和减速区,其特点是始末加速度为零,计算加减速所需时间 T 采用的是近似加速度处理方法,降低了求解线性方程的复杂度。根据该段的 dV 近似求出加减速所需时间 T 为:

$$T = 2 \frac{dV}{Acc_{max}} \quad (5)$$

式中: dV —速度改变量; Acc_{max} —最大加速度。

采用五次多项式替换梯形速度规划的加减速区需要将整个速度变化的过程分为 3 段,分别为加速段、匀速段和减速度段,其中加速段和减速度段的速度变化曲线都是通过五次多项式进行拟合,通过前瞻计算出该段的插补时间 T ,而后根据等时插补的方式进行插值,匀速段主要进行五次多项式的常量计算以及是否进行变速的前瞻计算。

在进行速度规划时,插补总是受到路程的约束,因此在变速前需要前瞻计算变速所需要的路程以进一步控制五次多项式的参数。加减速段所需要的路程为:

$$S_{Dec} = \frac{T_{Dec}(V_{end} + V_{cur})}{2} \quad (6)$$

$$S_{Acc} = \frac{T_{Acc}(V_m + V_{cur})}{2} \quad (7)$$

其中:

$$T_{Dec} = \frac{2|V_{cur} - V_{end}|}{k_2 D_{ccel}_{max}} \quad (8)$$

$$T_{Acc} = \frac{2|V_{cur} - V_m|}{k_1 Accel_{max}} \quad (9)$$

式中： T_{Dec} — 减速时间； T_{Acc} — 加速时间； $Dccel_{max}$ — 最大减速度； $Accel_{max}$ — 最大加速度； V_{cur} — 当前速度； V_m — 目标速度； V_{end} — 插补终点速度； k_1/k_2 — 加/减速度放大系数。

当前插补剩余的路程表示为：

$$dist = target - progress \quad (10)$$

式中： $target$ — 插补总路程； $progress$ — 当前插补路程。

当 $dist$ 小于前瞻的路程 S_{Dec}/S_{Acc} 时，需要调整目标速度，即：

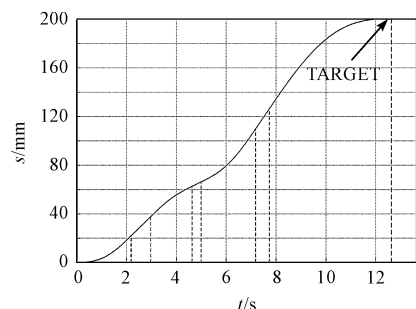
$$\left(\frac{V_{cur} + V_x}{2}\right)T_{Acc} + \left(\frac{V_{end} + V_x}{2}\right)T_{Dec} = dist \quad (11)$$

整理后可得新求得的目标速度：

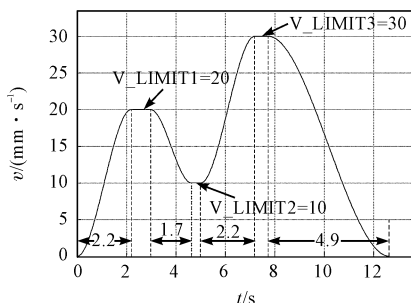
$$V_x = \sqrt{\frac{k_1 k_2 Accel_{max} Dccel_{max} dist + k_1 V_{end}^2 + k_2 V_{cur}^2}{k_1 + k_2 Accel_{max} Dccel_{max}}} \quad (12)$$

至此，将当前路程、目标路程、当前速度、目标速度、当前加速度、目标加速度以及变速时间代入式(4)中，即可求得五次多项式的所有常量。

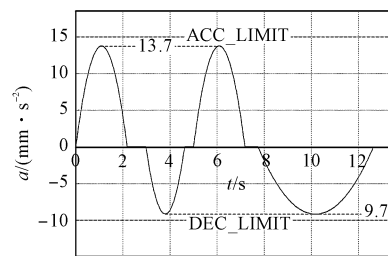
在插补过程中，匀速段插补时的路程、速度和加速度表示为：



(a) 插补时间-位移曲线



(b) 插补时间-速度曲线



(c) 插补时间-加速度曲线

图 1 改变进给速度情况下的仿真

其插补参数如下：插补总路程 200 mm，起始速度 0，终点速度 0，加速度 15 mm/s²，减速度 10 mm/s²，进给速度 20 mm/s，插补周期为 0.02 s。在 3 s 处改变进给速度为 10 mm/s，在 5 s 处设置进给速度为 30 mm/s，分析波形可知：在一段速度插补总路程为 200 mm 的规划中，在 2.2 s 时速度已达到了原来设定的进给速度 20 mm/s；而在第 3 s 处改变进给速度为 10 mm/s，插补加速度按照约束的减速度开始减速。同理，在 5 s 时，改变进给速度为 30 mm/s，则立即按照约束的加速度开始加速，最终完成插补。

根据以上仿真结果知：本文提出的轨迹插补算法具备了设置首末速度、加减速以及调节进给速度的功能，满足轨迹分段规划下进行速度衔接的功能，且插补过程中加速变化始终连续变化满足了柔性插补的设

$$\begin{cases} progress = progress + V_{cur} * cycle_time \\ V_{cur} = V_{cur} \\ Accel_{cur} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

式中： $cycle_time$ — 一个插补周期时间。

变速段插补时的路程、速度和加速度表示为：

$$\begin{cases} progress = At^5 + Bt^4 + Ct^3 + Dt^2 + Et + F \\ V_{cur} = 5At^4 + 4Bt^3 + 3Ct^2 + 2Dt + E \\ Accel_{cur} = 20At^3 + 12Bt^2 + 6Ct + 2D \\ t = t + cycle_time \end{cases} \quad (14)$$

2 轨迹插补算法建模与仿真

2.1 轨迹插补算法的模型搭建

在轨迹规划中，轨迹插补算法直接影响到了轨迹规划的质量，因此，在进行轨迹规划系统设计之前，需要对轨迹插补算法的可行性进行建模与仿真分析。本文采用 Matlab 的 GUI 工具对轨迹插补算法进行建模。

2.2 改变进给速度情况下的轨迹插补

本研究根据搭建好的模型进行仿真，得到的插补位移、速度和加速度波形曲线，如图 1 所示。

计要求。

3 轨迹规划插补系统设计

3.1 轨迹插补系统总体方案设计

轨迹插补系统的主要功能是对用户命令进行解析以及周期的输出插补点，其总体方案如图 2 所示。

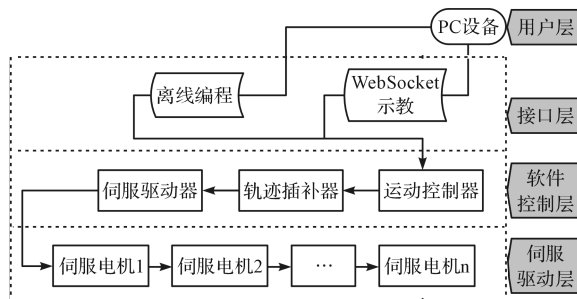


图 2 轨迹规划插补系统总体方案设计

用户可以通过 WebSocket 在线控制,或者离线编程得到的脚本文件来对机械臂进行运动规划。当用户通过 PC 设备添加一段运动时,运动控制器将会对用户数据进行提取,转化为计算机能够识别的参数,而后由轨迹规划器进行插补。轨迹规划器的功能是对添加的轨迹进行周期的插补,同时周期地输出各关节的变量,最后由底层的伺服驱动器对各关节进行驱动。

3.2 SCARA 机械臂硬件组成

SCARA 机械臂是一种拥有 3 个旋转关节以及一个上下移动关节的四自由度机械臂,其样机如图 3 所示。

图 3 中,大臂长度 250 mm,小臂长 150 mm,Z 轴丝杆能够上下移动的距离最大为 150 mm。由于采用 ARM 板作为运动控制器,使得其外部不需要额外的控制箱,机械臂的结构非常紧凑;在本体之外只有急停开关以及电源,运动控制器、伺服驱动器都集成在了样机本体内部。

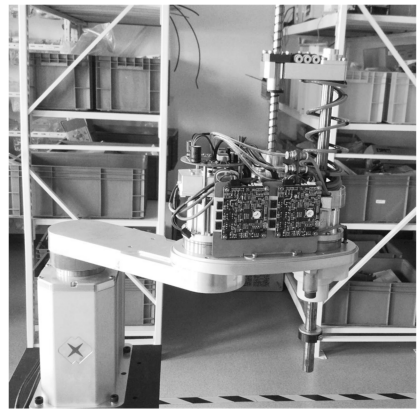


图 3 SCARA 机械臂样机本体

3.3 轨迹插补系统主程序设计

轨迹插补主程序的实现流程主要包含了对轨迹队列的操作以及对插补状态的逻辑控制等功能,轨迹插补系统软件设计如图 4 所示。

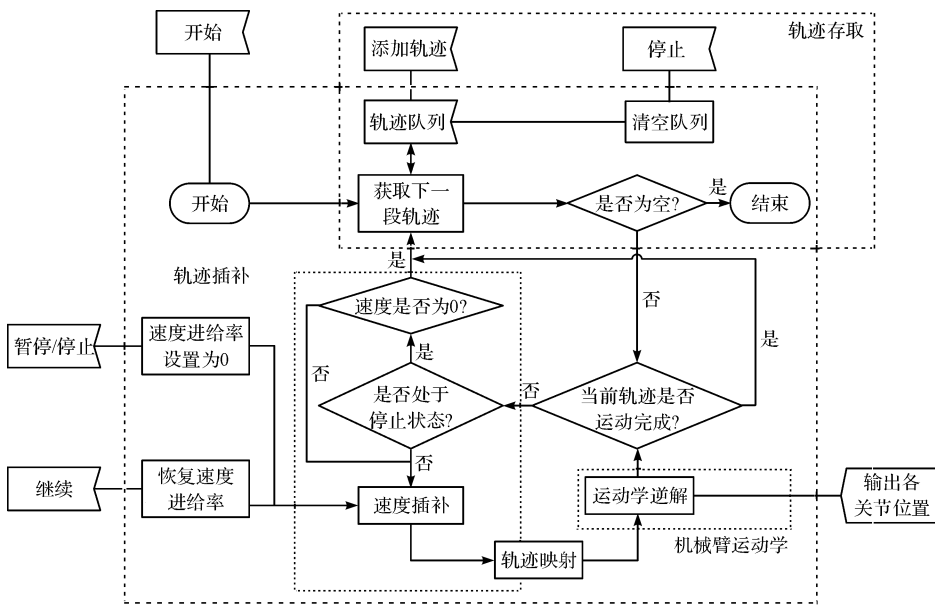


图 4 轨迹插补系统软件设计

首先,通过轨迹队列实现各段轨迹的存取,轨迹队列包含两个位置指针,分别表示最后一段轨迹存放的位置以及当前轨迹的存放位置,当这两个指针位置重合时则运动结束。轨迹队列中的任一成员包含所有该段轨迹的运动参数以及描述参数。使用运动参数进行速度插补,而后通过轨迹映射,实时的将当前位移占总路程百分比通过描述参数转化为对应轨迹描述的变量,如样条曲线的节点矢量 u 、圆弧的转角等。通过得到的实时变量,就可以求出当前点的笛卡尔位姿,最后进行机械臂逆运动学求解即可得到一个周期的关节变量。

3.4 轨迹添加子程序设计

轨迹添加子程序的功能是将上位机设定的简单参数、路点提取,并转化为插补参数,而后添加到轨迹队列中以进行轨迹插补。

添加直线轨迹的流程图如图 5 所示。

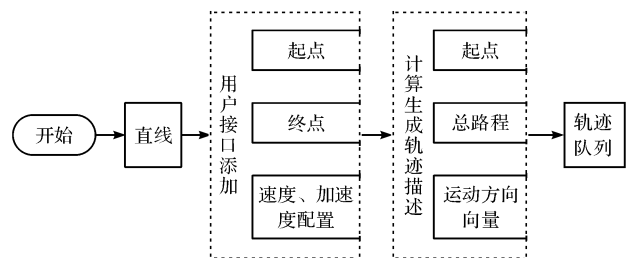


图 5 添加直线轨迹流程图

用户添加起点、终点以及该段运动的运动参数。子程序则通过始末点计算出总路程以及运动方向,其中总路程和运动参数作为速度插补参数,起点和运动方向则最为轨迹映射的参数。

添加圆弧轨迹的流程图如图 6 所示。

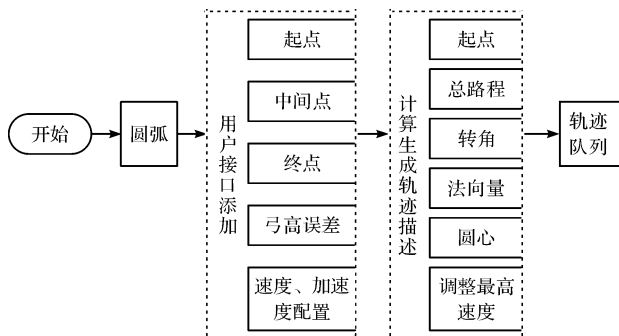


图 6 添加圆弧轨迹流程图

其中,总路程和运动参数作为速度插补参数,而起点、转角、法向量以及圆心作为轨迹映射参数。之后根据插补路程和总路程的比值可以计算出对应的转角,从而得到圆弧的插补位姿。

4 实验测试与分析

4.1 实验平台搭建

为了验证轨迹插补系统的有效性,本研究通过 Linux 开发平台搭建了轨迹插补系统,在 PC 中通过脚本以及 WebSocket 对设备进行远程控制及实验测试。

4.2 轨迹插补系统的计算速度测试

SCARA 机械臂控制器采用 ARM 处理器以及 RT-Linux 系统,保证插补的实时性。为了确保在一个周期内能够完成这些计算,需要将完成的轨迹插补系统主程序置于 ARM 板中进行运动速度测试。笔者对每种轨迹周期计算时间进行 10 万次测试,结果如表 1 所示。

表 1 轨迹插补系统主程序周期计算时间

	关节空间规划	空间直线曲线	样条曲线
运行周期数	$1e^7$	$1e^7$	$1e^7$
插补段数	20 986	1 178	326
平均计算周期/ns	4 510	35 526	246 873

结果表明:轨迹插补系统主程序一周期的平均计算时间属于微秒级别,即便最复杂的样条曲线一周期计算耗时也仅需要 0.24 ms,远小于给定插补周期 2 ms,因此轨迹插补系统主程序计算效率满足插补要求。

4.3 两种轨迹插补算法冲击度测试

在进行速度控制时,研究加加速度(即冲击度、加速度对时间的导数)的峰值能直观体现变速过程中产

生的冲击。在笛卡尔空间设置多个路点,分别采用梯形速度插补算法以及本文的五次多项式插补算法进行插补,得到的位移、速度、加速度和加加速度如图 7 所示。

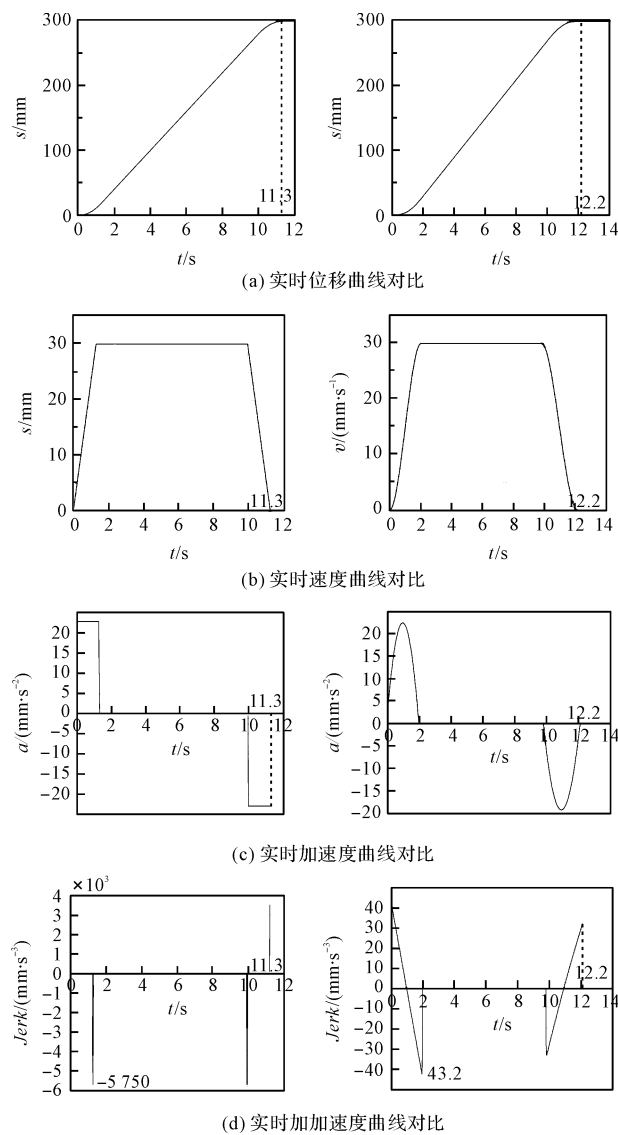


图 7 梯形插补算法与基于五次多项式插补算法对比

其中,插补参数如下:插补总路程 300 mm,起始速度 0, 终点速度 0 mm/s, 加速度 23 mm/s^2 , 减速度 18 mm/s^2 , 进给速度 30 mm/s, 插补周期为 0.004 s。分析图 7 可知:对比梯形插补算法,采用五次多项式的插补算法在变速过程中加速度的变化始终连续,大大减小了加加速度的突变,加加速峰值由原来的 5 750 mm/s^3 降低至 43.2 mm/s^3 ,表明本文的轨迹插补算法在降低设备冲击上效果好。

对于不同插补周期,设置插补参数如下:插补路程 300 mm,进给速度 30 mm/s,加速度 10 mm/s^2 。分别采用梯形速度插补算法以及本文的五次多项式插补算法进行插补,实验结果如表 2 所示。

表 2 相同路程、进给速度和加速度在不同插补周期下冲击度的对比

加加速度/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-3}$)	插补周期/ms		
	2	4	20
传统的梯形算法	5 000	2 500	500
本文提出的算法	13.7	9.2	8.5

对于梯形算法,其加加速度为设定加速度与设定插补周期的比值,因此插补周期越小,其加加速度

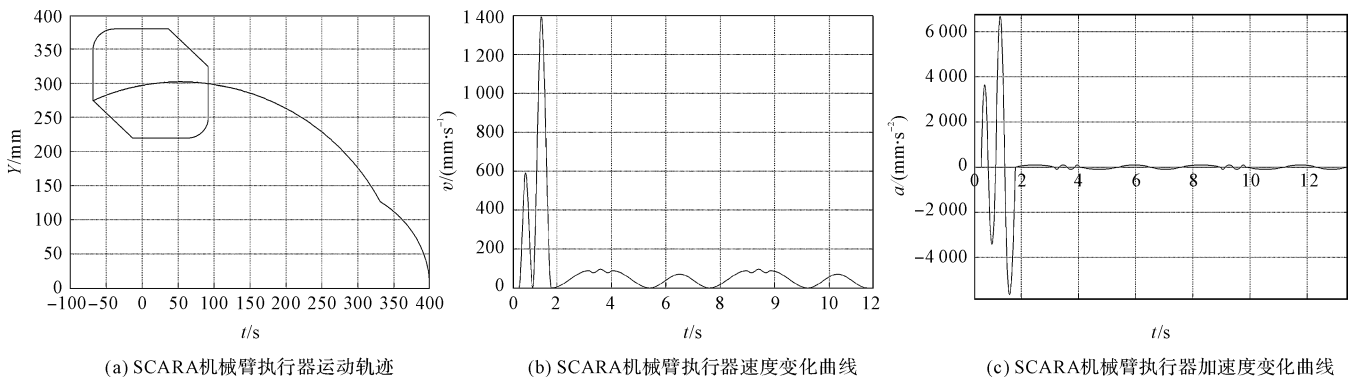


图 8 SCARA 机械臂执行器运动参数变化曲线

由图 8 可知:SCARA 机械臂末端执行器在空间运动的轨迹由两端关节运动与笛卡尔空间运动组成;在直线与圆弧衔接时速度并没有减小为 0,而是根据两段运动衔接处的切矢量而自适应调整前后段运动的首末速度;在同时进行关节空间和笛卡尔空间的轨迹插补时,各关节加速度变化始终连续,笛卡尔运动加速度没有超过设定的峰值 1 000 mm/s 。

结果表明:对比传统的算法,本文提出的算法在控制机械臂运动时可以确保执行器加速度的连续可导,保证了插补作业的质量;在多段轨迹连续的情况下,通过设置首末速度的功能,提高了插补效率。

5 结束语

本文采用五次多项式替换 T 形速度曲线加减速区的方法实现了轨迹插补变速时加速度曲线的连续变化,通过 Matlab 对该插补算法进行了建模与仿真。仿真结果表明:该算法在变速过程中满足给定约束且加速度变化始终连续,满足了柔性插补的设计要求。为验证该算法的有效性,笔者对四轴 SCARA 机械臂进行了轨迹插补系统的硬件和软件设计,进行了相同插补参数以及不同插补周期下新算法与传统算法的冲击度对比等实验,并对轨迹插补系统的轨迹规划的功能和性能进行了实验测试。

实验结果表明:相比传统方法,该系统极大地降低了插补变速时冲击度的峰值,在进行笛卡尔空间和关

的峰值也就越大,而五次多项式规划的插补算法则与插补周期无明显关系。研究表明:采用五次多项式进行速度插补可以有效控制冲击度,插补质量高。

4.4 轨迹插补系统的轨迹规划功能测试

本研究最后对轨迹插补系统的功能进行实验测试,编写一段轨迹进行插补,得到的结果如图 8 所示。

节空间的轨迹插补过程中,执行器加速度变化不存在明显突变。

参考文献 (References):

- [1] 计时鸣,黄希欢. 工业机器人技术的发展与应用综述[J]. 机电工程,2015,32(1):1-13.
- [2] 程辉辉,刘燕坡,陈礼安,等. 串联机械手空间轨迹运动控制方法研究[J]. 机电工程技术,2017,46(9):58-61,145.
- [3] 周刚. 垂直关节型 6 自由度机器人笛卡尔空间轨迹规划的研究[D]. 广州:华南理工大学机械工程学院,2011.
- [4] 史中权,叶文华. 多轴联动条件下插补速度实时可调的前瞻控制算法[J]. 航空学报,2014,35(2):582-592.
- [5] 陈伟华. 工业机器人笛卡尔空间轨迹规划的研究[D]. 广州:华南理工大学机械与汽车工程学院,2010.
- [6] 刘好明. 6R 关节型机器人轨迹规划算法研究及仿真[D]. 山东:山东理工大学机械工程学院,2008.
- [7] 付晓龙,何建萍,王付鑫. 焊接机器人轨迹规划的研究现状[J]. 轻工机械,2015(2):138-141.
- [8] 牛永康. 六自由度串联机器人轨迹规划时间最优研究[D]. 长春:长春工业大学机电工程学院,2013.
- [9] 盛巍. 基于多自由度工业机械臂的避障路径规划技术的研究[D]. 无锡:江南大学通信与控制学院,2012.
- [10] WANG L, CAO J. A look-ahead and adaptive speed control algorithm for high-speed CNC equipment[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 63(5-8):705-717.
- [11] 林仕高. 搬运机器人笛卡尔空间轨迹规划研究[D]. 广州:华南理工大学机械与汽车工程学院,2013.

- [12] 刘晓麟,林仕高,欧元贤. 双五次多项式过渡机械手轨迹规划[J]. 机械设计与制造,2014(4):47-50.
- [13] YAMAWAKI T, YASHIMA M. Arm trajectory planning by controlling the direction of end-point position error caused by disturbance[C]. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, New York: IEEE, 2008.
- [14] 宁学涛,潘玉田,杨亚威,等. 基于运动学和动力学的关节空间轨迹规划[J]. 计算机仿真,2015,32(2):409-413.
- [15] 冯高洁. 基于 De_Boor 递推算法的一种实时 NURBS 曲线插补算法研究[D]. 广州:广东工业大学机电工程学院,2011.
- [16] 胡绳荪,庾宇鲲,申俊琦,等. 基于 B 样条空间等距线的机器人轨迹优化算法[J]. 天津大学学报:自然科学与工程技术版,2015,48(8):723-727.
- [17] 黄国辉. 基于 DSP 的 NURBS 曲线高速高精度实时插补算法的研究与实现[D]. 广州:广东工业大学机电工程学院,2013.
- [18] 罗 钧,汪 俊,刘学明,等. 基于 S 型加速度的自适应前瞻 NURBS 曲线插补算法[J]. 计算机集成制造系统,2013,19(1):55-60.
- [19] 富宏亚,李茂月,刘 源,等. 基于曲率特性的柔性加减速 NURBS 插补器[J]. 计算机集成制造系统,2012,18(9):1921-1929.
- [20] 杨锦涛,姜文刚,林永才. 工业机器人冲击最优的轨迹规划算法[J]. 科学技术与工程,2014(28):70-75.
- [21] 王 昕,王均伟,饶 志,等. 基于 NURBS 曲线轨迹规划与速度规划的研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(15):3973-3980.
- [22] 刘能广. 基于遗传算法的二层优化在喷漆机器人轨迹规划中的研究[D]. 武汉:武汉理工大学机电工程学院,2008.
- [23] 耿英博,杜向阳,张克平. 基于 Eeher CAT 总线的涂胶机器人控制系统设计[J]. 轻工机械,2018,36(1):66-70.
- [24] 司艳伟,陈诺立. 六自由度果蔬采摘机器人关节空间轨迹规划[J]. 轻工机械,2017,35(4):8-12.
- [25] 阎思达,陈 雁,陈文卓. 六自由度机器人运动特性分析[J]. 液压气动与密封,2017(11):26-29.
- [26] SHI Bu-hai, HE Jing-peng. The robot motion trajectory algorithm research based on B-spline and new velocity planning[C]. Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Yinchuan: IEEE, 2016.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

游文辉,王秀锋,鲁文其,等. 工业机械臂的轨迹规划插补系统设计[J]. 机电工程,2019,36(2):190-196.

YOU Wen-hui, WANG Xiu-feng, LU Wen-qi, et al. Trajectory interpolation system for industrial manipulator[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(2):190-196.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn