

弧焊机器人与数控变位机协同作业规划

焦恩璋, 陈美宏

(南京林业大学 机电学院, 江苏 南京 210037)

摘要:在研究了弧焊机器人和变位机协同作业的路径规划之后, 提出用仿真进行协同作业规划的方法。该方法以位置和速度约束来规划机器人和变位机的运动, 并根据作业路径建立样条函数, 以样条函数作为仿真时焊枪位姿的点驱动函数。利用仿真结果, 提取出仿真过程中弧焊机器人和变位机各关节的角位移函数, 并由此生成弧焊机器人系统的焊接作业程序。经过机器人专用平台验证, 采用该方法规划的弧焊机器人与数控变位机协同作业, 其运动轨迹完全满足焊接作业要求。

关键词:弧焊机器人; 协同作业; 离线编程; 仿真

中图分类号: TG409 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2009)12-0078-04

Cooperative operation planning of arc-welding robot and NC positioner

JIAO En-zhang, CHEN Mei-hong

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Researching on the path planning of arc-welding robot and positioner under their cooperative operation, the method of cooperative operation planning was proposed by means of simulation. In this method, the movements of arc-welding robot and positioner were restricted by their position and speed. As the drive function of General point motion, the spline function was created by the working path. According to the simulation results, the angular displacement function of each joint of arc-welding robot and positioner was obtained, and then the arc-welding program was generated by these functions. After verified on the special platform, it was proved that the trajectory completely satisfied the requirements of welding operations, when using this method to plan cooperative operation.

Key words: arc-welding robot; cooperative operation; off-line programming; simulation

0 前言

焊接生产系统柔性化是焊接生产自动化的主要标志之一, 其发展方向是以弧焊机器人为主体的, 配合多自由度变位机及相关的焊接传感控制设备和先进的弧焊电源, 在计算机的综合控制下实现对空间焊缝的精确跟踪和焊接参数的在线调整, 从而实现对熔池形状动态过程的智能控制^[1]。多自由度变位机的作用是通过与弧焊机器人的协同作业使焊缝处于最佳焊接位置, 从而保证焊接质量, 清除焊接死角位置。

焊接空间焊缝时, 从运动学上分析只需要六个自由度, 而弧焊机器人和多自由度变位机组成的弧

焊机器人系统通常有八个以上的自由度, 是一个冗余机器人系统, 而且存在着很强的耦合关系。冗余机器人运动学规划中的逆运动学求解是一个较为复杂的问题。文献[2]采用遗传模拟退火算法对弧焊机器人系统协调路径规划进行了研究, 由于遗传模拟退火算法是一种随机搜索迭代算法, 计算效率相对较低。文献[3]采用神经网络方法进行机器人逆运动学求解, 由于采用局部逼近方法, 效率同样较低。在此以典型的马鞍形焊缝船形焊为例, 提出了一种基于 ADAMS 平台的仿真算法来求解冗余机器人系统逆运动学问题, 采用该方法进行协同作业规划, 可视直观、简单快捷^[2-3]。

1 弧焊机器人系统的建模

ADAMS 软件是目前世界上最具权威性、使用范围最广的机械系统动力学分析软件, 其仿真可用

收稿日期: 2009-07-23

作者简介: 焦恩璋(1954—), 男, 江苏苏州人, 副教授, 主要从事机器人学、机电一体化和计算机图形方面的研究工作。

于预测机械系统的性能、运动范围、碰撞检测、峰值载荷以及计算有限元的输入载荷等^[4],但是 ADAMS 软件的几何建模功能较弱,难以建立一些比较复杂的模型。因此,先在 AutoCAD 平台上建立弧焊机器人、数控变位机和工件的实体模型,再通过图形格式转换把模型导入 ADAMS 平台。

工件的建模过程相对简单,利用 AutoCAD 的“圆柱体”命令建立两个正交的圆柱体,然后利用“并集”命令将这两个圆柱体合并即可。在对弧焊机器人和数控变位机进行实体建模时,要先将机器人和变位机从关节连接处拆分成几个部件,然后利用 AutoCAD 平台提供的实体建模、实体编辑、布尔运算等功能,对各个部件分别进行实体建模, MOTOMAN UP6 型弧焊机器人的部件模型如图 1 所示。完成各个部件的实体建模后,根据部件之间的装配关系以及工件在变位机上的装夹位置调整好各部件的相对位置,然后将 *.DWG 格式的模型图转换成 *.IGES 格式,再导入 ADAMS 平台。根据部件之间的连接方式添加相应的运动副,以约束部件之间的相对运动,比如弧焊机器人的转动关节处要添加旋转副,其底座和基座之间要添加固定副。添加完运动副之后,就在 ADAMS 平台上建立了弧焊机器人系统的运动仿真模型,如图 2 所示。

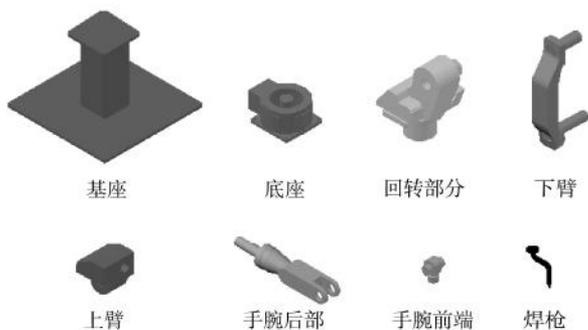


图 1 MOTOMAN UP6 机器人部件模型
Fig.1 Assembly parts of MOTOMAN UP6 robot

2 以作业路径建立样条函数

CAD 图形是表达机器人作业路径最直接的方法。按照曲线可以由一组点来表示思路,在 AutoCAD 平台上将马鞍形焊缝的焊接路径曲线转化为一组点,点的数量可根据焊接质量要求和作业精度而定。运用 AutoCAD 的相关命令可直接提取各点的坐标值,并生成这组点坐标值的表格文件,如图 3 所示。这样就能提取焊缝路径的位置信息。

在船形焊过程中,数控变位机要进行连续变位



图 2 弧焊机器人系统运动学模型
Fig.2 Kinematics model of arc-welding robot system

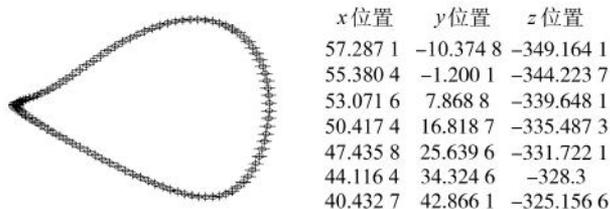


图 3 一组点表示的焊接路径和这组点的坐标值

Fig.3 A set of points on behalf of welding path and their coordinates

以保证待焊点始终处于船形焊位置,这就要求焊枪与焊缝之间不仅有位姿约束,而且还有相对运动约束。位姿约束要求焊枪相对焊缝保持一定姿态的前提下不能脱离焊缝;运动约束要求焊枪和焊缝之间满足一定的相对运动,从而实现焊缝的焊接^[5]。针对这个问题,在 VC 环境下开发了一个弧焊机器人系统船形焊规划软件,该软件可通过焊接点的位置信息和数控变位机的相关参数,规划出焊接过程中数控变位机的姿态、焊枪位置以及弧焊机器人系统的速度参数,并可以把这些数据保存成表格文件,如图 4 所示。



图 4 弧焊机器人系统船形焊规划软件

Fig.4 Fillet welding planning of arc-welding robot system

如果把焊枪完成焊接作业时的轨迹抽象为坐标值对时间的函数 $x, y, z=f(t)$, 那么这个函数同样还可分解为 $x=f(t), y=f(t), z=f(t)$ 。按照这个思路, 在 ADAMS 仿真环境下, 读入规划后弧焊机器人系统的位姿和速度表格文件, 通过 ADAMS 的相关命令, 可得到进行船形焊作业时焊枪运动轨迹上的三个样条曲线函数: $x=f(t), y=f(t), z=f(t)$, 以及变位机两个转动关节的样条曲线函数: $\omega_1=f(t), \omega_2=f(t)$ 。这五个函数描述了机器人及变位机各关节随时间变化的运动规律, 是以作业路径建立的样条函数。

3 焊接过程仿真

机器人末端执行器到达某控制点的运动参数可根据对机器人运动学逆问题的求解来获取。求解这组参数通常要进行较为复杂的运算, 而且还是一个多解结果。如果对作业路径上的各点逐一求解, 则运算量是非常大的。由于船形焊过程中要求焊枪的姿态始终保持不变, 因此, 利用 ADAMS 仿真平台上的功能模块, 在焊枪末端添加一个点驱动, 以 $x=f(t), y=f(t), z=f(t)$ 这三个样条曲线函数作为点驱动函数, 然后在数控变位机的两个旋转副上分别添加旋转驱动, 以 $\omega_1=f(t), \omega_2=f(t)$ 这两个样条曲线函数作为旋转驱动函数。设置好驱动后, 即可对弧焊机器人系统的船形焊作业进行运动仿真。此时, 在 ADAMS 平台上可以看到数控变位机始终将待焊点调整到船形焊位置, 焊枪也随之不断调整作业位置, 实现了整条马鞍形焊缝的船形焊, 如图 5 所示。用机器人 D-H 方程可以证明, 通过该仿真获得的弧焊机器人运行路径是一条最优工作路径。利用 ADAMS 提供的传感器功能, 还可以限定弧焊机器人和数控变位机各关节的转角范围, 当杆件之间有干涉时, 仿真就会自动停止并报错。

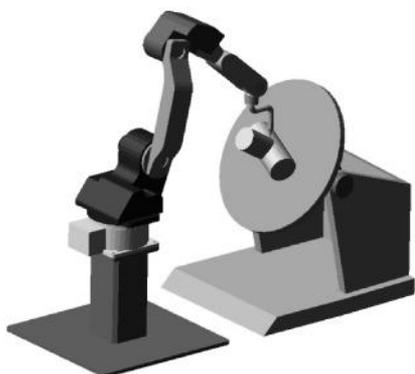


图 5 弧焊机器人系统焊接过程仿真
Fig.5 Welding simulation of arc-welding robot system

4 提取协同作业的控制信息

采用点驱动功能使弧焊机器人模型实现作业仿真时, 其运动是由焊枪发起的。根据机器人模型各杆件间的约束关系, 此时各个驱动关节是在作逆运动, 但这也是各个驱动关节为完成作业任务而必须输出的运动, 即角位移。利用仿真结果后处理模块 ADAMS/PostProcessor 可提取出仿真过程中弧焊机器人和数控变位机各关节的转角曲线。图 6 为弧焊机器人六个关节的转角曲线, 这组曲线可看作是机器人运动过程中逆解的集合, 这些逆解均为样条线型数据, 利用样条线型数据可建立起一个非线性函数^[6], 作为机器人相应关节的驱动依据。这些函数同样采用了样条型, 因为样条型函数能得到离散的样条型数据, 如表 1 所示, 即作业路径上各控制点的机器人运动学逆解。将其中任一点的逆解代入机器人正问题方程, 即可验证控制点的精度。例如焊缝上第 56 个点在变位后的坐标值为: $x=36.709\ 9, y=0, z=-491.459\ 0$, 该点对应的样条线型数据(数据精度保留至小数点后第四位)是: $\theta_1=0.000\ 0, \theta_2=12.561\ 4, \theta_3=31.100\ 9, \theta_4=0.000\ 0, \theta_5=46.337\ 7, \theta_6=0.000\ 0$; 将该数据代入机器人 D-H 矩阵后计算结果为: $x=36.709\ 5, y=0.000\ 0, z=-491.459\ 2$; 误差为: $\Delta x=0.000\ 4, \Delta y=0.000\ 0, \Delta z=0.000\ 2$, 在弧焊机器人的实际焊接作业中完全够用。这些样条线型数据(即关节角参数)就是驱动弧焊机器人系统协同作业的控制信息, 根据关节角与电机脉冲数的关系以及 MOTOMAN 机器人的作业文件格式, 可以将协同作业的控制信息转换为相应关节电机的脉冲数, 并生成弧焊机器人系统焊接马鞍形焊缝的作业程序。

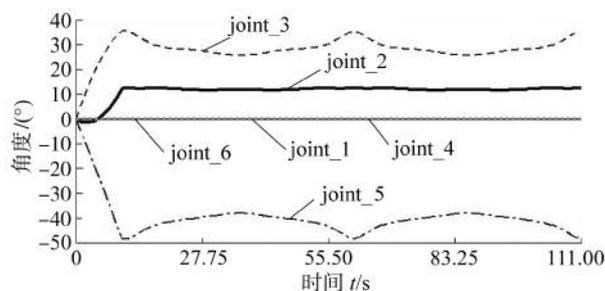


图 6 转角函数曲线
Fig.6 Angle function curves

5 实验验证

ROTSY(Robot Off-line Teaching System of YASKAWA) 是 MOTOMAN 机器人系列的专业离线

Tab.1 Discrete spline data

时间 t/s	JOINT_1	JOINT_2	JOINT_3	JOINT_4	JOINT_5	JOINT_6
55.0	2.714E-007	12.601 8	30.348 9	2.2705E-006	-42.950 6	2.3010E-007
56.0	3.113E-007	12.561 4	31.100 9	5.5430E-006	-43.662 3	2.6510E-007
57.0	3.389E-007	12.508 2	32.042 5	4.7720E-006	-44.550 7	2.9110E-007
58.0	2.029E-007	12.478 0	33.148 1	1.2350E-007	-45.626 1	1.7200E-007
59.0	2.027E-007	12.514 9	34.307 5	1.2300E-007	-46.822 3	1.7150E-007
60.0	4.778E-007	12.621 2	35.270 5	6.6120E-007	-47.891 7	4.2740E-007
61.0	2.015E-007	12.689 5	35.663 7	1.3119E-007	-48.353 1	1.7010E-007
62.0	2.026E-007	12.621 2	35.270 5	1.2260E-007	-47.891 7	1.7110E-007
63.0	2.008E-007	12.514 9	34.307 5	1.1979E-007	-46.822 3	1.7010E-007
64.0	2.028E-007	12.478 0	33.148 1	1.2340E-007	-45.626 1	1.7190E-007

编程和仿真的软件。在 ROTSYS 平台上对焊接马鞍形焊缝的作业程序进行仿真,目的是在 MOTOMAN 机器人专用仿真平台上进一步检查焊接作业过程中焊枪和工件之间是否发生干涉、轨迹是否正确等,以验证作业程序的正确性。仿真结果如图 7 所示,由图 7 可知,采用上述方法规划的弧焊机器人与数控变位机协同作业,其运动轨迹完全符合焊接作业要求。

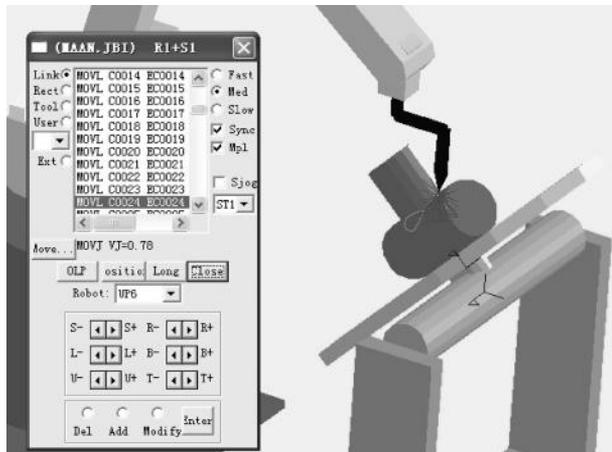


图 7 仿真实验结果

Fig.7 Results of simulation experiment

6 结论

高质量的弧焊作业经常需要机器人与变位机协同作业,协同作业的关键在于控制程序。在 ADAMS 平台上仿真,可求解冗余机器人系统的逆运动学问题,并以此规划和生成协同作业的路径程序。此方法使得弧焊机器人在复杂路径下作业的离线编程变得更加容易和快捷。

参考文献:

- [1] 赵熹华.焊接方式与机电一体化[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 陈志翔,殷树言,卢振洋.基于遗传模拟退火算法的弧焊机器人系统协调路径规划[J].机械工程学报,2005,41(2): 194-295.
- [3] 李景春,齐瑞贵,张国贵.基于神经网络的冗余度机器人轨迹规划[J].机械与电子,2004(9):53-55.
- [4] 芮执元,魏兴春,冯瑞成.基于 ADAMS 的虚拟样机技术及其在机构设计中的应用[J].科学技术与工程,2006,19(6):3111-3114.
- [5] 康艳军,朱灯林,陈俊伟.弧焊机器人和变位机协调运动的研究[J].电焊机,2005,35(3):46-49.
- [6] 李增刚.ADAMS 入门详解与实例[M].北京:国防工业出版社,2006.