

文章编号: 1002-0446(2001)07-0601-04

IVECO 横梁焊接机器人轨迹规划及计算机仿真研究

刘成良 张 凯 付 庄 曹其新 殷跃红

(上海交通大学机器人研究所 200030)

摘 要: 机器人的轨迹规划可以在关节空间中进行,也可以在直角坐标空间中进行.本文分析了这两种轨迹规划的特点,给出了基于关节空间的轨迹规划算法和基于直角坐标空间的轨迹规划算法.针对 IVECO 横梁的焊接,进行了机器人的轨迹规划研究,并进行了计算机仿真,该研究成果已应用于 IVECO 横梁焊接工作站系统.

关键词: 机器人; 焊接; 轨迹规划

中图分类号: TP24

文献标识码: B

TRAJECTORY PLANNING AND SIMULATION OF WELDING ROBOT FOR IVECO AUTOMOBILE CROSSBEAM

L I U Cheng-liang ZHANG Kai FU Zhuang CAO Qi-xin YN Yue-hong

(Research Institute of Robotics Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Abstract: The trajectory planning of robot can be done in joint space coordinate and Cartesian space coordinate. This article presents the features and trajectory planning algorithm. At the last, the trajectory planning of welding robot for IVECO automobile crossbeam is developed.

Keywords: robot, welding, trajectory planning

1 引言(Introduction)

机器人轨迹规划是使机器人在规定时间内,按一定的速度及加速度,从初始状态移动到某个规定的目标状态.轨迹规划可在关节空间中进行,也可在直角坐标空间进行.在关节空间中进行轨迹规划,其优点是计算量小效率高,仅受关节速度及加速度的限制,不会发生机构的奇异性问题,特别适合机器人末端执行器离开物体时不要求规定路径的、进入空行程大范围内快速移动的轨迹段.该方法的缺点是机器人在未执行指令实现运动前,难以想象末端执行器在空间中的真实轨迹,特别是在机器人工作空间内有障碍的情况下,容易发生危险.直角坐标空间轨迹规划的优点是分段点之间的运动能被很好地确定,非常适合已定义的函数轨迹的规划,其缺点是不仅要进行空间插补,又要转换到关节,且难以估计运动时间、关节速度以及加速度达到的极限.本文在分析这两种方法的基础上,就实际焊接机器人的轨迹规划进行了研究,并进行了计算机仿真.

2 轨迹规划方法(Method of path planning)

2.1 关节空间法

2.1.1 模型表示

思路: 由路径点 $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ 计算出相应变换矩阵 ${}^0T_0, {}^0T_1, {}^0T_2, \dots, {}^0T_n$ 及相应关节矢量 $q_0, q_1, q_2, \dots, q_n$ 和 $\{q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t)\}$, 即以关节角度的函数描述机器人的轨迹.

2.1.2 无中间点的 PTP 运动

无中间点的 PTP 运动指机器人的手部运动时,由机器人起点某位姿运动到终点另一位姿时,手部不经过任何中间位姿点的 PTP 运动.

设机器人的起始位姿为 T_0^0 , 此位姿时的几个关节角为 $q_i^0 (i=1, 2, \dots, 6)$, 经过时间 t_f 后,机器人手部不经任何其它的中间点直接到达目标位姿 T_f^1 , 相应的关节位置为 $q_i^1 (i=1, 2, \dots, 6)$. 为了使机器人的运动快速协调,须找出光滑函数 $q_i(t)$.

2.1.3 带中间点的PTP运动

一般情况下机器人的运动要经过一些中间点,并希望机器人能够平稳地通过中间点,以便机器人迅速到达目标位置

设机器人由起始位姿 T_6^0 , 经过中间点 $T_6^1, T_6^2, \dots, T_6^{m-1}$, 最后到达终止点 T_6^0 , 其各位姿点的关节角度为 $q_i^0, q_i^1, q_i^2, \dots, q_i^m$ ($i = 1, 2, \dots, 6$), 每一段运动的时间间隔为 $t_1, t_2, \dots, t_m$.

2.2 连续轨迹控制的直角坐标空间法

在许多实际情况下,不仅要求机器人在运动终点准确定位,并且要求运动轨迹具有一定的精度,如电弧焊、电切割,要求对手臂进行连续轨迹控制。即使是搬运、上下料时 also 要求有一准备动作,以保证可靠的抓取与卸除,须增加逼近与脱离两个位姿。同时为避免多余的抖动与停顿,常常也要求执行器在经过这些空间点时运动是连续的

2.2.1 CP (Continuous Path) 空间直线运动方式

要给出直角坐标空间内轨迹起点和终点的位姿信息,即可计算出由两点所确定的直线段上的一系列点的位姿信息,这一系列点的位姿经过运动学反解即可求得各关节对应点所需的关节角度

设机器人手部的位姿由 T_6^0 直线运动到另一点 T_6^1 , 它们决定的位置分别为 $\bar{p}^0 = (p_x^0 \ p_y^0 \ p_z^0)^T$ 和 $\bar{p}^1 = (p_x^1 \ p_y^1 \ p_z^1)^T$, 其位姿角分别为 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ 和 $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$, 插补步数为 n , 则在直角空间中, X, Y, Z 方向及姿态角插补步长为

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= (p_x^1 - p_x^0)/n \\ \Delta y &= (p_y^1 - p_y^0)/n \\ \Delta z &= (p_z^1 - p_z^0)/n \\ \Delta \alpha &= (\alpha_1 - \alpha_0)/n \\ \Delta \beta &= (\beta_1 - \beta_0)/n \\ \Delta \gamma &= (\gamma_1 - \gamma_0)/n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

利用上式,便可得机器人直线运动轨迹上各点的姿态变量 $x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i$, 式中 $i = 1, 2, \dots, 6$ 得到上述插值点后,进行运动学反解和动力学逆解方

程,便可得到应施加于关节上的驱动力矩,以保证机器人手部执行器沿空间直线轨迹的运动

2.2.2 CP 空间圆或圆弧运动方式

设机器人由起始点位姿 T_6^0 经过中间某一点 T_6^1 后到达终止点 T_6^2 , 在固定坐标系 X, Y, Z 方向上,起始点位置为 $\bar{p}^0 = (p_x^0 \ p_y^0 \ p_z^0)^T$, 姿态角为 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$, 中间点的位置为 $\bar{p}^1 = (p_x^1 \ p_y^1 \ p_z^1)^T$, 姿态角为 $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$, 终止点的位置为 $\bar{p}^2 = (p_x^2 \ p_y^2 \ p_z^2)^T$, 姿态角为 $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ 空间圆方程为

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = r^2 \quad (2)$$

3 轨迹规划计算机仿真 (Computer simulation of path planning)

轨迹规划可分为:基于关节坐标空间和基于直角坐标空间轨迹规划

3.1 基于关节空间的轨迹规划

对 PTP 点位运动,给出的是起始点和目标点,而不考虑两点之间的移动路径,用基于关节空间方案来进行轨迹规划。机器人的 PTP 运动必须满足起始点、中间点和终止点的位置速度、加速度及连续性的要求,以达到各段轨迹平滑

3.2 基于直角坐标空间轨迹规划

机器人连续轨迹运动的特点在于,不仅要求机器人达到目标点,而且必须沿着要求所希望的路径在一定的精度范围内移动。手部运动的轨迹是以手部在直角坐标系中的位置和姿态对时间 t 的函数来描述的。设机器人完成的 CP 运动所需的时间为 T , 时间步长为 Δt , 那么运动共分为 $L = T/\Delta t$ 段。在 t_i 时刻 ($t_i = i\Delta t, i = 1, 2, \dots, L$), 先根据连续轨迹方程计算出机器人手部在直角坐标系中的位置和姿态,再进行运动学逆问题的计算,以求出期望的关节转角和关节角增量,然后利用动力学问题求解关节期望的驱动力矩

3.3 机器人连续轨迹运动轨迹规划算法框图

见图 1 所示:

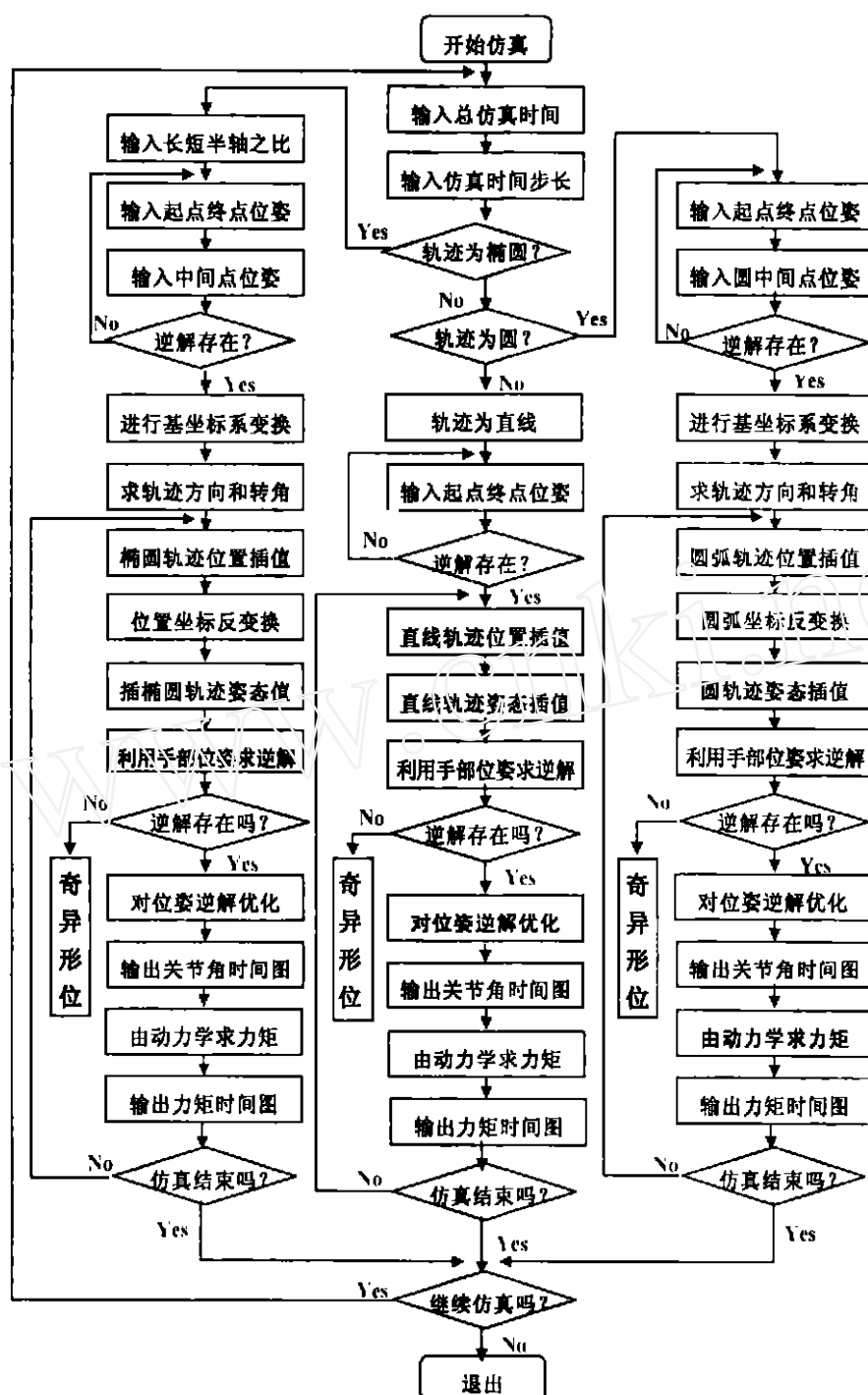


图 1 机器人 CP 运动轨迹规划算法框图

Fig 1 CP trajectory planning for 6R robot

4 IVECO 车架横梁的焊接 (IVECO automobile crossbeam welding)

IVECO 车架第三横梁的结构如图 2 所示, 其总成由左端盖、横梁立体和支架组成, 相互间的焊接成形。焊接过程分两个工位完成, 首先焊接端盖与立体

间的左右两条内环缝, 然后焊接左右两条外环缝及支架。图 4 为横梁焊接过程轨迹规划位置图, 图中给出了焊接过程中, 两个工作台与焊接机器人的相对位置。左下为第一工位, 工件先正向回转 360°, 完成横梁一端内环缝的焊接。然后工件反向回转 360°, 完

成横梁另一端内环缝的焊接 工件进入第二工位后, 先点焊支架, 然后焊接两条外环缝 在外环缝焊接过程中, 机械手回转 360° 完成外环缝的焊接 根据上述轨迹规划位置图, 确定图 5 所示的焊接路径规划图

4.1 路径描述

焊接机器人为完成焊接任务, 焊枪须按以下路径移动:

$a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow hh'h'' \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow kk'k'' \rightarrow l \rightarrow m \rightarrow n \rightarrow o \rightarrow p \rightarrow q \rightarrow r \rightarrow s \rightarrow t \rightarrow u \rightarrow b$

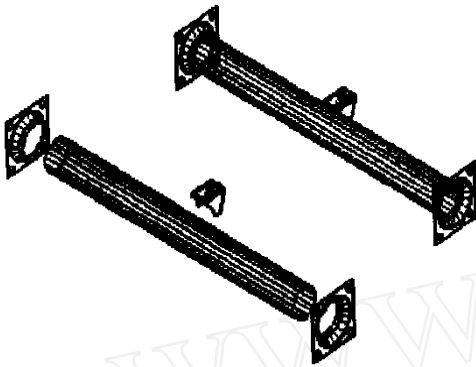


图 2 VIECO 横梁总成

Fig. 2 VIECO crossbeam

4.2 轨迹规划仿真结果

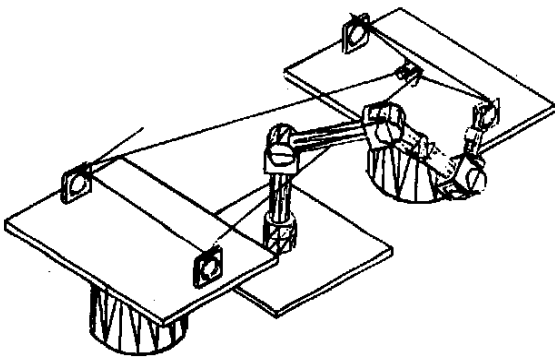


图 3 VIECO 车架横梁焊接位置图

Fig. 3 The welding trace of VIECO automobile crossbeam

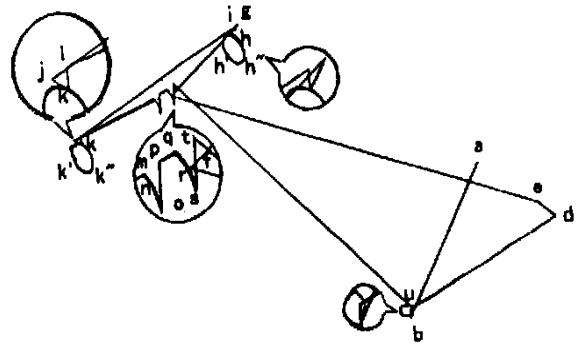


图 4 VIECO 车架横梁焊接路径规划图

Fig. 4 The trace planning of VIECO crossbeam

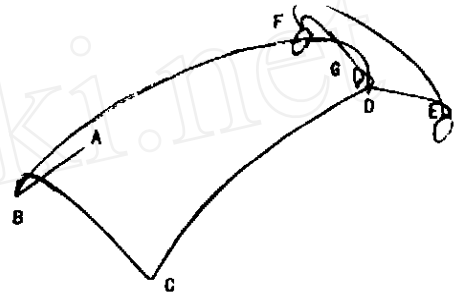


图 5 直角坐标下的焊枪轨迹图

Fig. 5 trace of welding header on cartesian coordinate

参考文献 (References)

- 1 Ishihara, Koichi Now and future of laser welding robots - application in automotive industry. Robot n 114 Jan 1997 Tokyo Japan p 42- 48
- 2 Yamaoka, Naoji; Oda, Kouji On-line car-body measuring system using modified car-body welding robot Robot n 114 Jan 1997 Tokyo Japan p 77- 81
- 3 Hawig, Dennis D. Weld parameter development for robot welding Technical Paper-Society of Manufacturing, RP Proceedings of the 1996 Manufacturing Conference Sep 4- 11 1996, P96- 291 1996 Dearborn MI USA

作者简介:

刘成良 (1964-), 男, 上海交通大学机器人研究所副教授, 博士 研究领域: 机器人, 机电控制理论及方法, CAD, 网络控制等的研究 发表论文 40 余篇, 获省部级科技进步二等奖 2 项, 三等奖 3 项。