

文章编号:1006-2343(2002)01-060-03

RV12L-6R 机器人轨迹规划及其应用研究

刘成良, 张 凯, 付 庄, 曹其新, 殷跃红
(上海交通大学 机械工程学院, 上海 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。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:TP391 文献标识码:A

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阔插补,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。

1 轨迹规划方法

1.1 关节空间法

1.1.1 模型表示

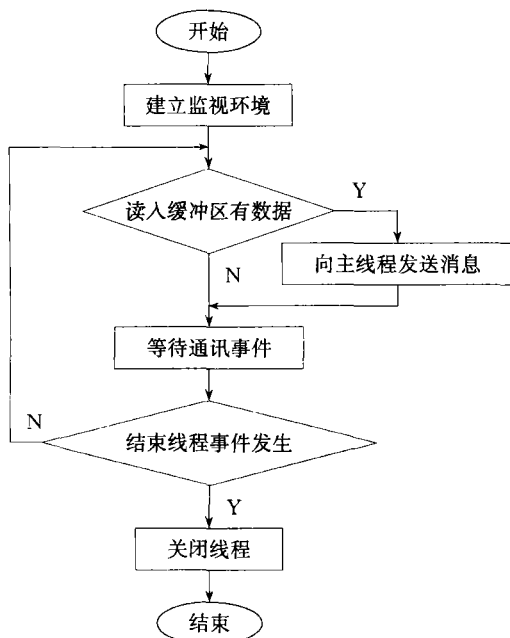
思路:由路径点 $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$, 计算出相应变换矩阵 ${}^0T_1, {}^1T_2, \dots, {}^{n-1}T_n$ 及相应关节矢量 $q_0, q_1, q_2, \dots, q_n$ 和 $\{q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t)\}$, 即以关节角度的函数描述机器人的

收稿日期:2001-05-28

(3) 对检测结果进行实时处理,自动绘制左右轴承的压装曲线。

(4) 压装完成后,自动确定压装力、贴合压力、保压时间。

(5) 自动判断轴承压装是否合格,保存压装数据、打印压装结果。



▲图 5 辅助线程流程图

功能(2)的实现需要专门的线程对通讯口进行实时监控,如有数据传入,立即通知主线程接收、处理,因此,PC 程序应包含主线程和辅助线程,属多线程程序。辅助线程流程图见图 5。

PLC 程序包括指令译码程序、控制程序、状态编码程序等。译码程序主要是应用 PLC 散转指令将从 PC 接收的控制指令中的操作码进行散转,分解成多个中间继电器,作为主控指令继电器。控制程序根据主控指令继电器实现相应的基本控制、手动控制、自动控制。状态编码程序运用中间继电器和 AD 模块监测 PLC 和被控设备的状态,适时对各中间继电器和 AD 模块的测量值进行编码,发送到 PC。

5 结论

通过该轴承压装系统在车辆段的使用证明,本文建立的 PC-PLC 控制模型能很好地实现联机控制,对可靠性要求高的传统机电设备改造和新机电设备设计有重要意义。

参考文献:

- [1] 张克强. 计算机控制系统[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [2] 三菱电机. FX2N 系列微型可编程序控制器说明手册[R]. 1997.
- [3] Kate Gregory. Visual C++ 5 开发使用手册[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

作者简介:杨树军(1970-),男,讲师(硕士),主要从事机电设备计算机测试与控制方面的教学、科研工作,已完成科研项目 10 余项,发表论文 10 篇。

轨迹。

1.1.2 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_6^0 ,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 $q_i(t)$ 。

1.1.3 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_0^0 ,经过中间点 $T_1^0, T_2^0, \dots, T_{m-1}^0$,最后到达终止点 T_m^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 。

1.2 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、上下料时也要要求有一准备动作,以保证可靠地抓取与卸除,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。

1.2.1 CP(Continuous Path)空间直线运动方式

要给出直线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_0^0 直线运动到另一点 T_1^0 ,它们决定的位置分别为

$\bar{p}^0 = (p_x^0, p_y^0, p_z^0)^T$ 和 $\bar{p}^1 = (p_x^1, p_y^1, p_z^1)^T$,其位姿解分别为 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ 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

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

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。

1.2.2 CP 空间圆或圆弧运动方式

设机器人由起始点位姿 T_0^0 经过中间某一点 T_1^0 后到达终止点 T_2^0 ,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: $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = r^2$

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

2 轨迹规划计算机仿真

轨迹规划方案主要有两种,一种是基于关节坐标空间的方案,另一种是基于直角坐标空间轨迹规划。

2.1 基于关节空间的轨迹规划

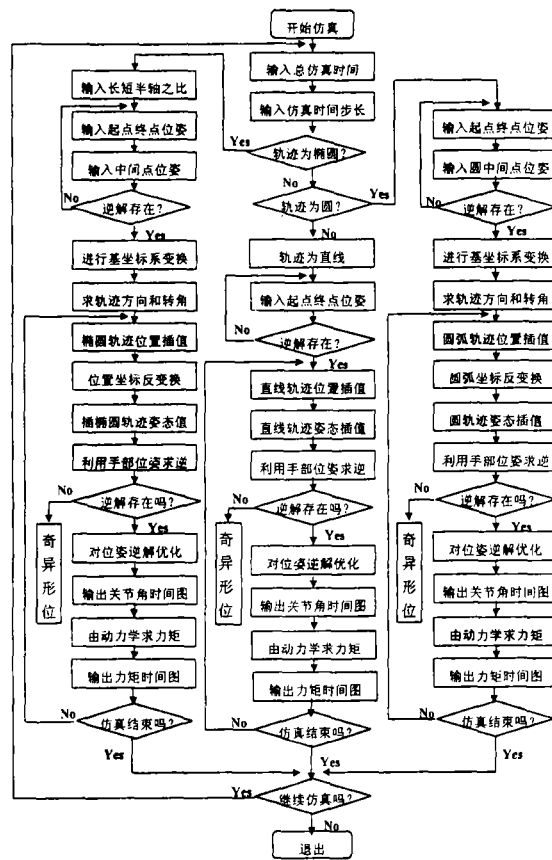
对 PTP 点位运动,给出的是起始点和目标点,而不考虑两点之间的移动路径,用基于关节空间方案来进行轨迹规划。机器人的 PTP 运动必须满足起始点、中间点和终止点的位置速度、加速度及连续性的要求,以达到各段轨迹平滑。

2.2 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($t_i = i \cdot \Delta t, i=1,2,\dots,L$),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[1-2]。

2.3 机器人连续轨迹运动轨迹规划算法

轨迹规划框图如图 1 所示:



▲图 1 机器人 CP 运动轨迹规划算法框图

3 轨迹规划仿真及分析

3.1 空间直线 CP 运动轨迹规划仿真

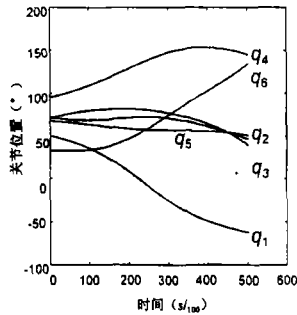
运动总仿真时间 $T=5$ 秒,仿真时间步长 $\Delta t=0.01$ 秒。

起始点:位置 $P = (0.5, 0.4, 1.7)$ 姿态角 $A = 30^\circ O = 50^\circ T = 60^\circ$

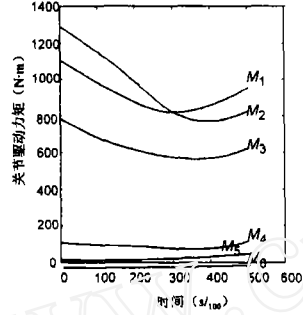
终止点:位置 $P = (0.3, -0.7, 1.9)$ 姿态角 $A = 20^\circ O = -30^\circ T = 50^\circ$

仿真结果:若关节初值 $q = (49.977, 67.675, 70.594, 94.864, 71.475, 32.93)$, 则关节运动光滑平稳, 相应关节的驱动力矩也没有突变, 如图 2~图 3 所示。

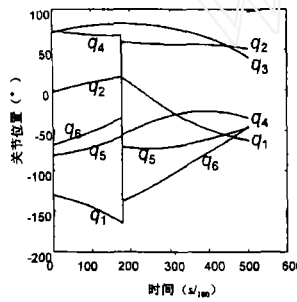
若关节初值 $q = (-130.02, -2.95, 70.594, 72.93, -81.23, -68.48)$, 则关节运动包含突变, 相应关节的驱动力矩同样不光滑平稳, 如图 4~图 5 所示。



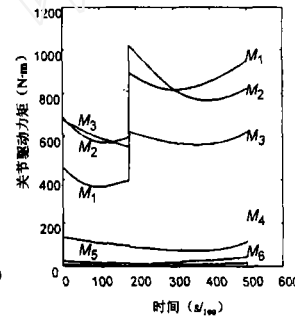
▲图 2 关节位置时序图



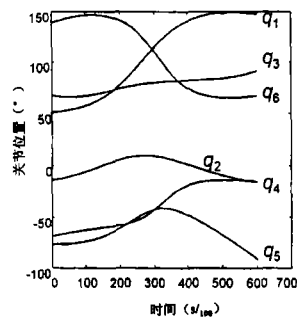
▲图 3 关节驱动力时序图



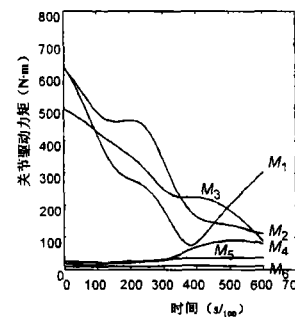
▲图 4 关节位置时序图



▲图 5 关节驱动力时序图



▲图 6 关节位置时序图



▲图 7 关节驱动力时序图

3.2 空间圆弧 CP 运动轨迹规划仿真

总仿真时间 $T = 5$ 秒,

仿真时间步长 $\Delta t = 0.01$

秒, 关节初值 $q = ()$,

起始点: 位置 $P = (-0.4,$

$-0.7, 1.6)$ 姿态角 $A = 20^\circ$

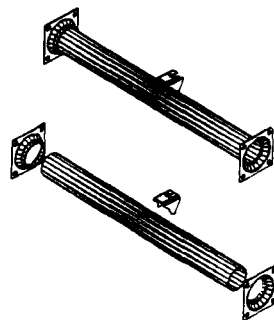
$O = 40^\circ T = 60^\circ$

中间点: 位置 $P = (0.5,$

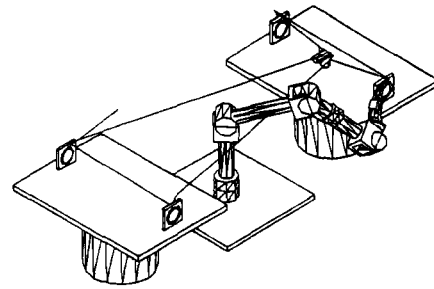
$-0.4, 1.7)$ 姿态角 $A = 40^\circ O$

$= 20^\circ T = 10^\circ$

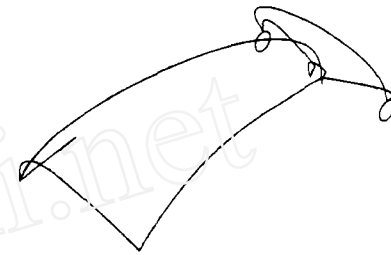
目标点: 位置 $P = (-0.5,$



▲图 8 IVECO 横梁总成



▲图 9 IVECO 车架横梁焊接位置图



▲图 10 直角坐标下的焊枪轨迹图

$-0.3, 1.67)$ 姿态角 $A = 20^\circ O = 40^\circ T = 60^\circ$

仿真结果: 机器人关节位置和驱动力矩时序图, 如图 6~7 所示。

仿真结果表明不同的关节初始值, 有时会出现关节加速度突变, 即关节力矩突变, 引起系统的振动, 因此可通过计算机仿真在选择关节初始值时避开不稳定的情况。^[3,4]

4 IVECO 车架横梁焊接轨迹规划及仿真

IVECO 车架第三横梁的结构如图 8 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。图 9 为横梁焊接过程轨迹规划位置图。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, 此时横梁在夹具的带动下转动 360 度。然后焊枪转动, 焊接左右两条外环缝及支架。根据上述轨迹规划位置图, 确定图 10 所示的焊接路径规划图。

参考文献:

- [1] Ishihara, Koichi Now and future of laser welding robots-application in automotive industry[J]. Robot n 114 Jan 1997 Tokyo Japan 42~48
- [2] Yamaoka, Naoji, Oda, Kouji. On-line car-body measuring system using modified car-body welding robot[J]. Robot n114 Jan 1997 Tokyo Japan 77~81.
- [3] Harwig, Dennis D. Weld parameter development for robot welding [A]. Technical Paper-Society of Manufacturing, RP Proceedings of the 1996 Manufacturing Conference[C]. Sep 4~11 1996, 96~291 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, 主要从事机器人、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。

Selecting(MLS)is restricted mainly by feedrate of link-plate in a slideway. The overall structure and working principle of the MLS is introduced in this paper. According to motion analyses of link-plate, movement differential equation of the link-plate is deduced. And then, computer emulation technique is used to analyses relationship between moving time of link-plate and kinds of system parameters.

Key words: emulation, link-plate, selecting, design

The Research of Automatic Dispensation System of Chinese Traditional Medicine

SHEN Nai-xun, MA Pei-sun, CHEN Jin-xiu

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)P54

Abstract: This paper discusses the total structure of automatic dispensation system of Chinese traditional medicine, the database system to manage the drugstore and the control system. This system includes the computer control and the control of machinery-electricity.

Key words: automatic dispensation system of Chinese traditional medicine; management and control; database; computer network

A PC-PLC Control Model and Its Application On the Bearing Pressing Machine

YANG Shu-jun¹ WANG Xiao-ming¹ PAN Hui¹ ZHANG Hong-bing²

(1. School of Mechanical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Hangzhou Locomotive Maintenance Department, Hangzhou, China)P58

Abstract: In this paper, a PC-PLC control model that is used on the bearing pressing machine is discussed. the practice proves that, through this model, the PC-PLC control on the bearing pressing machine can be easily attained. This model is useful in the reform of the traditional equipment and design of the new equipment.

Key words: computer control; the bearing pressing ma-

chine; PLC control

Study on Trajectory planning and application for RV12L-6R robot

LIU Cheng-liang ZHANG Kai FU Zhuang CAO Qin-xin
YIN Yue-hong

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)P60

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.

Key word: robot welding; trajectory planning

Research on Modifying the Eccentric Effect in Mesuring the Rotating of Non-complete Circle

ZHU Zheng-de

(Shanghai Volkswagen, Shanghai 201805, China)P63

Abstract: In measuring the rotating parts of non-complete circle like cam there would be the measurement error if the rotating centres deviate from the geometric centres of parts. This paper describe the measuring process theoretically, and deduces the mathematical model about modifying the eccentric effect.

Key words: measurement of cam, modifying the eccentric effect; mathematical model

Discrete Model for Three-dimensional Error

LU Hong ZHANG Zhong-fu

(Collage of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)P65

Abstract: The Three-dimensional error model is discussed based on rigid body space position error theory, a uniform three-dimensional error model and a method for solving the three-dimensional error metrics along given direction is proposed in this paper. The three-dimensional error are obtained for analyses error. A example is given.

Key words: three-dimensional error, discrete model

欢迎订阅 2002 年《机械设计与研究》

本刊 2002 年改为双月刊,每期定价为 7.50 元。欢迎订阅。本刊邮发代号为 4-577。

凡向本刊投稿请参阅本刊 2002 年第 1 期第 3 页上的编辑部启事。

欢迎中外企业在本刊上刊登广告,欲登广告者请打电话或传真:021-62932023。本刊尚有少量 2000 年、2001 年期刊。欢迎来函邮购。