

文章编号:1671 - 251X(2009)05 - 0034 - 04

# 基于 VC + + 的工业机器人轨迹规划研究

王晓丽, 侯媛彬, 王 涛

(西安科技大学电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:**文章探讨了工业机器人轨迹规划的理论和研究方法,介绍了基于 VC + + 的机器人轨迹规划软件的实现方法。该软件使机器人能够实时规划无碰轨迹,并利用 ROSTY 软件绘制无碰位姿的机构仿真简图。通过 Motoman - HP3 机器人的实验,实现了运用 VC + + 应用程序调用 Motocom32 软件的外部接口函数对工业机器人进行轨迹规划的应用。仿真实验证明,所开发的机器人轨迹规划软件可以实现机器人的远程控制,能保证机器人定位的精度。

**关键词:**机器人; 轨迹规划; 远程控制; 实时性; Motoman

**中图分类号:**TP242.6      **文献标识码:**A

Research of Trajectory Planning of Industrial Robot Based on VC + +

WANG Xiao-li, HOU Yuan-bin, WANG Tao

(School of Electronical and Control Engineering of Xi'an University of Science and Technology,  
Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The paper discussed theory and research method of trajectory planning of industrial robot, and introduced realization method of software of trajectory planning of industrial robot based on VC + + . The software can make robot to plan collision-free trajectory in real-time, and use ROSTY software to draw simulation diagram of mechanism of collision-free position and pose. Meanwhile, through experiment of Motoman-HP3 robot, it realized application using external interface function of Motocom32 software called by VC + + application program to plan trajectory for industrial robot. The simulation experiment proved that the software of trajectory planning of robot can realize remote control and ensures position precision for robot.

**Key words:** robot, trajectory planning, remote control, real-time, Motoman

## 0 引言

工业机器人的轨迹规划在机器人的控制中具有重要的作用,直接影响着控制的准确性和快速性。机器人的规划(planning),就是机器人根据自身的任务,求得完成这一任务的解决方案的过程,包括:任务规划(task planning)、动作规划(motion planning)、轨迹规划(trajecory planning),而轨迹规划是基础。轨迹规划是根据作业任务的要求,计算出预期的运动轨迹。根据该预期的轨迹,实时计

算机器人运动的位移、速度、加速度,生成运动轨迹。但是在实际工业应用中,由于工厂环境和夹具精度的限制,机器人的作业对象的定位并不能达到其预设定位精度;同时由于机器人运动轨迹是先经过示教编程确定后,再进行再现运行,而在工厂作业时,由于很多不确定因素的存在,就需要机器人再现运动时能够实时地改变运动轨迹。本文以日本安川公司生产的 Motoman - UP 系列机器人为研究对象,研究了运用 VC + + 应用程序调用机器人远程控制软件(Motocom32)、通过轨迹规划算法对机器人进行实时轨迹规划的问题。

## 1 Motoman - HP3 机器人

Motoman - HP3 机器人系统由执行机构、控制

收稿日期:2008 - 12 - 10

作者简介:王晓丽(1982 - ),女,西安科技大学电气与控制工程学院控制理论与控制工程学专业在读硕士研究生,研究方向为机器人智能控制。E-mail:serena\_wone@163.com

器、环境和任务 4 个互相作用的部分组成,控制器是整个系统的核心,负责处理信息、与人机交互;环境具有未知性和不确定性,通过外部传感器采集外部环境信息,向控制器发送驱动信号<sup>[1]</sup>。其关节图和实物图如图 1 所示。本文的研究对象为日本安川公司生产的 Motoman - HP3 机器人,其整个系统包括机器人本体、机器人控制柜 NX100 以及相关软件。机器人本体的 6 个关节由交流伺服电机驱动,其中 3 个关节确定手部位置,另 3 个关节确定手部姿态。

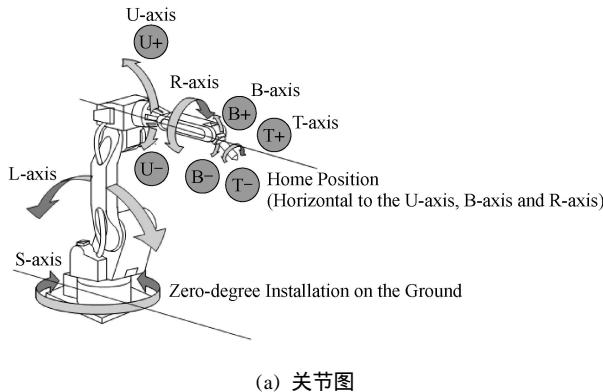


图 1 Motoman - HP3 机器人的关节图和实物图

## 2 机器人轨迹规划的原理及方法

工业生产中,大多数工业机器人的工作轨迹规划都是通过示教的方式,将示教点的位置、姿态、点之间运动轨迹的插补方式、作业命令等工作程序信息送入机器人的程序存储器中;Motoman - HP3 机器人有自带的手持示教盒,可以通过手持示教盒示教机器人的运动,此时机器人的工作程序信息存储在控制柜 NX100 中。

当机器人再现运行时,利用以太网通信方式,由 VC++ 应用程序调用 Motocom32 外部接口函数,建立 PC 机与控制柜 NX100 之间的通信,并上传 JBR 格式的作业文件到 PC 机,获取当前机器人工作的信息,包括机器人当前工作的状态和程序信息

文件;然后分析获取的信息,并按照轨迹规划策略处理数据;再利用通信窗口下载函数到机器人控制柜里,使机器人按照规划好后的程序运行,从而实现了对机器人工作轨迹的实时规划。机器人轨迹实时规划流程如图 2 所示。

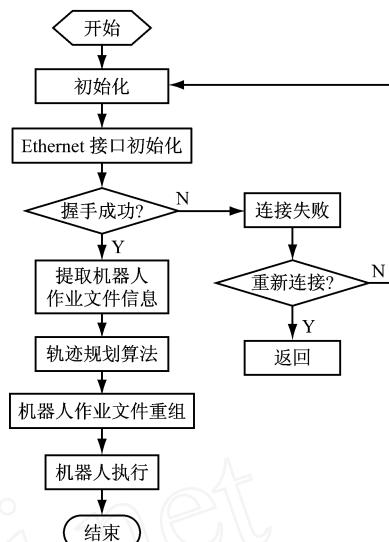


图 2 机器人轨迹实时规划流程图

轨迹规划既可在关节变量空间中进行,也可在笛卡尔空间中进行。但是所规划的轨迹函数都必须连续和平滑。在关节空间中规划时,是将关节变量表示为时间的函数,并规划它的一阶和二阶时间导数;在笛卡尔空间中规划时,是指将手部位姿、速度和加速度表示为时间的函数,而相应的关节位移、速度和加速度由手部的信息导出,通常通过运动学反解得出关节位移,用逆雅克比求出关节速度,用逆雅克比及其导数求出关节加速度。在笛卡尔空间进行机器人轨迹规划便涉及到机器人的正逆解问题。由给定机器人各个关节角度(可由脉冲量转换得到),要求计算机器人手爪的位置和姿态,即正向运动学;已知机器人手爪的位置和姿态,要求求解对应于这个位置和姿态的全部关节角,称逆向运动学。

机器人机构是由一系列关节连接起来的连杆组成,把关节坐标系固连在机器人的每一个连杆上,可以用齐次变换来描述这些坐标间的相对位置和姿态。对于 Motoman - HP3 机器人,其有 6 个关节,即 6 个自由度。由各个关节间的相互位置和姿态可确定一系列连杆齐次变换阵 $\begin{matrix} {}^0 T_1, {}^1 T_2, {}^2 T_3, {}^3 T_4, {}^4 T_5, {}^5 T_6 \end{matrix}$ ,其中 ${}^i T_{i+1}$  表示连杆  $i+1$  相对于连杆  $i$  的齐次变换矩阵, ${}^0 T_0$  为基座标系。

机器人末端连杆的位姿可表示为

$$\begin{aligned} {}^0 T = {}^1 T(1) & \quad {}^1 T(2) \quad {}^2 T(3) \quad {}^3 T(4) \quad {}^4 T(5) \quad {}^5 T(6) \\ (1) \end{aligned}$$

运动学逆解是机器人末端连杆位姿 $T$ 已知,反向求出各个关节变量 ${}_1, {}_2, {}_3, {}_4, {}_5, {}_6$ 的值。为此,可用相应的逆变换矩阵左乘式(1)两边,将指定的关节变量 $i$ 分离出来,求解方法如下:

$$\begin{aligned} {}^0 T^{-1}(1) & \quad {}^0 T = {}^1 T(2) \quad {}^2 T(3) \quad {}^3 T(4) \quad {}^4 T(5) \quad {}^5 T(6) \\ (2) \end{aligned}$$

从而求解出 ${}_1$ ,依次类推求解出 ${}_i$ 。

### 3 Motoman - HP3 机器人轨迹规划的实现

#### 3.1 机器人程序文件

文章中以 Motoman 机器人搬运工件为例,运用 VC++ 语言,通过对话框界面实现机器人的轨迹规划。获取的机器人程序文件信息内容如下:

```

/JOB :作业
// NAME MOTION TEST ;自定义的文件名称
// POS
/// NPOS 8,0,0,0,0,0 ;程序点个数
/// TOOL 0 ;工具号为 0
/// POSTYPE PULSE ;以脉冲数作为关节变量
/// PULSE ;关节坐标
C00000=0,0,0,0,0,0 ;机器人在示教各程序点对应的
6 个关节脉冲数
C00001=0,0,0,0,72 720,0
C00002=140 013,0,0,0,72 720,0
C00003=140 018,170 809,-47 588,3,109 813,-1
C00004=120 005,369 256,-125 631,7,104 523,-3
C00005=172 512,234 512,-214 513,9,124 216,-5
C00006=184 512,214 515,-412 145,14,142 143,-8
C00007=124 512,241 214,-251 324,21,152 145,-12
// INST
/// DATE 2008/1/20 15:25 ;程序编制的日期
/// ATTR SC,RW
/// GROUP1 RB1 ;控制轴组为 RB1
程序执行部分:
NOP ;开始
MOVJ C00000 VJ=30.0 ;程序点 1,移动机器人至待机
位置,速度(mm/s)
MOVJ C00001 VJ=100.0 ;程序点 2,移动机器人至工
件处
TIMER T=3.00 ;等待 3 s
DOUT OT#(17) ON ;外部信号接口 17 口打开
WAIT IN #(17)=ON ;等待外部信号和指定信号相匹
配

```

MOVL C00002 V=500.0 ;程序点 3,机器人抓起工件,离开工作台 A

MOVL C00003 V=500.0 ;程序点 4

MOVJ C00004 V=100.0 ;程序点 5,移动机器人至目
标工作台处

TIMER T=3.00 ;等待 3 s

DOUT OT#(17) OFF ;外部信号接口 17 口关

DOUT OT#(18) ON ;外部信号接口 18 口开

WAIT IN #(18)=ON ;等待等待外部信号和指定信号
相匹配

MOVJ C00005 VJ=30.0 ;程序点 6,机器人放置工件至
工作台 B

MOVL C00006 V=100.0 ;程序点 7,机器人移至不碰
工件和夹具位置

MOVL C00007 V=500.0 ;程序点 8,机器人移至待机
位置,和程序点 1 重合

END ;结束

#### 3.2 机器人轨迹规划步骤

程序文件的开始部分为文件说明,接下来是程
序项,给出了插补方式、运动速度等信息,并给出
了机器人在示教各程序点对应的 6 个关节脉冲数。
获得了程序文件后,就可以按以下步骤对 Motoman
- HP3 机器人进行轨迹规划。

第一步:解析 NX100 中的程序信息文件,从中
提取出机器人各个关节对应的脉冲量数据。

第二步:由于在关节坐标系中各个关节量和机
器人的位置关系是非线性的,不利于轨迹规划,因
此,将示教点对应的关节脉冲数据转变成各个关节
轴的角度值。

第三步:计算各个轴对应的齐次变换矩阵
 $({}^0 T, {}^1 T, {}^2 T, {}^3 T, {}^4 T, {}^5 T)$ ,并利用机器人运动学正解方
法,即式(1)计算各个示教点在实际空间直角坐标中
的坐标值。

第四步:在机器人当前工作点和下一步工作点
之间,进行动态轨迹插补。将当前工作点和下一步
工作点之间的轨迹分解成若干小段,取各段首尾点
为 $(k_1, k_2; k_2, k_3; \dots; k_{m-1}, k_m)$ ,设各点的速度为 $v_1, v_2, \dots, v_m$ ;加速度为 $a_1, a_2, \dots, a_m$ ;空间位置为 $s_1, s_2, \dots, s_m$ ,由初始条件可知,起始点和终止点的约束
量 $v_1, a_1, s_1, v_m, a_m, s_m$ 为已知,中间点 $P_i$ ( $i = 2, 3, \dots, m$ )对应的约束向量为

$$s_i = s_1 + (i - 1) \times k_m k_1 / m \quad (3)$$

$$v_i = v_1 + (i - 1) \times (v_m - v_1) / m \quad (4)$$

$$a_i = a_1 + (i - 1) \times (a_m - a_1) / m \quad (5)$$

式中: $k_m k_1$ 为起点 $k_1$ 到终点 $k_m$ 的有向线段。

第五步:应用机器人运动学逆解公式(2)将规划后获得的机器人各关节的位置和姿态数据换算成其对应的脉冲量。

### 3.3 机器人轨迹规划仿真及实验

完成上述工作后就可以按机器人程序文件格式重组各个轨迹点,再利用 Motocom32 的动态数据链接库将规划后的机器人文件上传到机器人程序存储器中,机器人就会按照规划后的轨迹运行。图 3 是采用 ROTSY 软件离线仿真机器人搬运工件从工作台 A 到工作台 B 的轨迹模拟图。

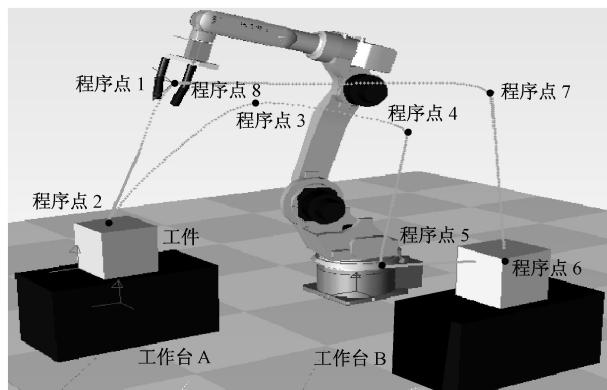


图 3 采用 ROTSY 软件离线仿真机器人搬运工件轨迹模拟图

从图 3 可以看出,机器人的模拟运行轨迹与机器人作业要求的轨迹曲线十分接近,可以满足工作精度要求,并且运行过程中没有发生自身的干涉与碰撞。

离线仿真测试后,运用 Motoman 机器人进行实物验证,实验中,机器人将矿泉水按照规划的轨迹从指定的起始点搬运到目的地,并且在运动过程中可以随时对其进行轨迹规划。机器人初始位姿如图 4 所示,处于任务段时机器人的位姿如图 5 所示。



图 4 机器人的初始位姿图

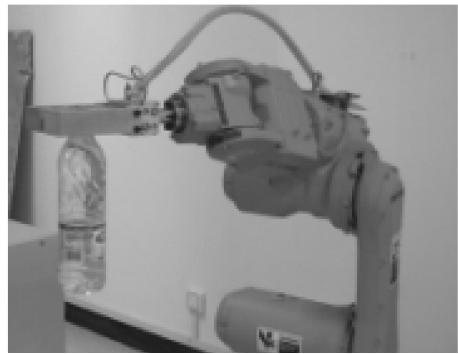


图 5 处于任务段时机器人的位姿图

### 4 结语

通过机器人搬运矿泉水的轨迹规划的实验证明,机器人可以按照规划好的工作路线工作,并且可以通过 PC 机随时对其进行在线规划,有很强的灵活性及较好的实时性,同时保证了机器人定位的精度。与示教再现方法相比,该软件大大提高了工作效率,降低了机器人操作者的熟练程度。由于采用了 Motocom32 软件实现了机器人的远程控制,避免了工作人员在机器人工作时进入工作区产生的安全隐患,改善了工作环境,提高了工作效率。

### 参考文献:

- [1] 孙数栋. 工业机器人技术基础 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 15~32.
- [2] 陶其铭, 柯尊忠. 机器人轨迹规划新方法的研究 [J]. 机床与液压, 2003(4): 224.
- [3] 夏朝猛, 钱新恩, 刘白雁. 动态 UP6 工业机器人运动轨迹的实时规划 [J]. 湖北汽车工业学院学报, 2005, 19(3).
- [4] 王 健, 赵鹤鸣, 陈卫东. 移动机器人全覆盖任务的研究进展 [J]. 工矿自动化, 2006(3): 26~30.
- [5] 李东晓, 黎彦学. 机器人与全矿山自动化 [J]. 工矿自动化, 2007(5): 40~42.
- [6] SATYAJIT A, JAMES P S. A Methodology for Implementing the Curvature Theory Approach to Path Tracking with Planar Robots [J]. Mechanism and Machine Theory, 2007(12).
- [7] PEIMAN N M, NATARAJ C, AHMAD B, et al. Mathematical Simulation of Combined Trajectory Paths of a Seven Link Biped Robot [J]. Applied Mathematical Modelling, 2007(6).