

文章编号:1671-7147(2003)03-0258-04

基于虚拟现实技术的机器人示教方法

张爱红, 张秋菊

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214063)

摘要:提出了基于虚拟现实技术的机器人示教方法,分析了虚拟示教系统的软硬件环境,特别是虚拟现实系统中的人机交互装置.在此基础上完成了针对 MOTOMAN 机器人虚拟示教的研究开发工作.

关键词: 机器人;虚拟现实;示教

中图分类号: TP 242

文献标识码: A

Robot Teaching Method Based on VR Technology

ZHANG Ai-hong, ZHANG Qiu-ju

(College of Mechanical Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214063, China)

Abstract: The paper puts forward the robot teaching method based on Virtual Reality(VR), analyses the software & hardware surroundings for virtual teaching system, and introduces the interaction equipments between human and PC. On the basis of these, the research and development work for virtual teaching system of MOTOMAN robot is successfully accomplished.

Key words: robot; Virtual Reality(VR); teaching

工业机器人示教(Teaching)是指操作者在实际工作环境中,通过人手引导机器人末端执行器或一个机械模拟装置,或用示教盒操作机器人,完成作业所需位姿,并记录下各个示教点的位姿数据,利用机器人语言进行在线编程,程序回放时,机器人即可按照程序要求的轨迹运动.目前,随着机器人应用技术的推广,以及人们对生产效率和操作安全性需求的不断提高,迫切需要开发新的示教编程技术.同时机器人离线编程技术的出现以及虚拟现实技术的飞速发展,为机器人虚拟示教的实现奠定了技术基础.与在线示教相比,机器人虚拟示教具有如下优点:1)可以将人从危险和恶劣的环境中解脱出来;2)可以解决远程控制中的通信时延问题;3)不占用机器人的作业时间、一次性投资少,有助于

提高经济效益.作者在对虚拟示教的软硬件环境分析的基础上,着重研究了基于虚拟现实系统的人机交互装置,并提出了用于 MOTOMAN 工业机器人的虚拟示教方案.

1 虚拟示教系统的基本组成

机器人虚拟示教系统充分利用了机器人示教编程的直观性,同时借助于虚拟现实系统,以完成机器人作业的示教编程.示教时,首先操纵虚拟示教装置(人机接口),输入示教关键点(生成作业数据文件),通过键盘输入示教程序(生成作业指令文件),对计算机屏幕上的虚拟机器人进行示教;然后将经过动画仿真(或称回放再现)检验后的作业(即示教点数据、作业指令等)下载到机器人控制柜,以

收稿日期:2002-12-03; 修订日期:2003-04-10.

作者简介:张爱红(1971-),男,江苏盐城人,工学硕士.

实现远距离操作,使机器人完成给定的作业.因此一个完整的虚拟示教系统(见图1)包括:人机接口、个人计算机、虚拟现实系统以及与机器人控制器的通信等模块.

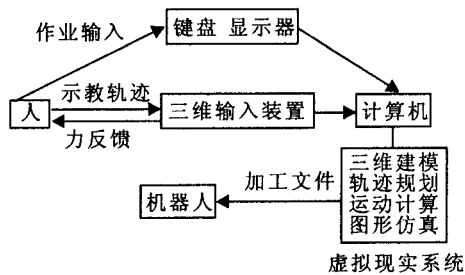


图1 机器人虚拟示教系统组成

Fig.1 The composition of robot virtual teaching system

1.1 虚拟示教系统的软件环境

1.1.1 利用 OpenGL 构建三维模型 OpenGL 是美国 SGI 公司推出的一套开放式的三维图形软件接口.广泛适用于各类计算机操作环境,从个人计算机到图形工作站,OpenGL 都可实现高性能的三维图形功能.使用 Visual C++ 完善的基本类库 MFC 和应用程序向导 AppWizard,类向导 ClassWizard,可以方便、快捷地生成 OpenGL 应用程序框架.在调用 OpenGL 函数库之前,需要完成一些常规操作,包括:1) 将 opengl.lib, glu32.lib, glaux.lib OpenGL 库添加到工程中;2) 在视类的实现文件中添加 <GL/gl.h>, <GL/glu.h>, <GL/glaux.h> 头文件;3) 使用 Windows 系统提供的 API 函数 ChoosePixelFormat(), SetupPixelFormat() 重新设置画图窗口的像素格式;4) 利用 API 函数 wglCreateContext() 建立着色上下文(Render Context);5) 设置光源和材质等.其中后 4 项实现绘图初始化工作.在程序中通过直接调用 OpenGL 库函数可降低编程的难度:利用函数 gluCylinder() 构建圆柱,函数 gluDisk() 构建圆台;或者采用 GL 为前缀的几何图元(如:GL_POLYGON、GL_QUADS 等)绘制多面体.但对于构建较复杂的三维图形(如虚拟机器人及其环境物模型),一般先采用 AutoDesk 公司的 3DS MAX 或者 AUTOCAD 三维软件构造模型,再用 VC 编写的接口软件读取 3ds 或 dxf 数据文件中的模型参数,并对模型加以改造,使之适合于系统所采用的算法.

1.1.2 数据采集和作业文件生成 利用输入装置与虚拟机器人交互操作时,输入装置引导产生的关节角度通过接口程序实时采集,利用消息响应函数驱动虚拟机器人模型运动,并记录示教关键点的位姿参数;利用指令解释程序调用指令文件和数据文

件进行动画仿真,再对作业文件进行格式转化,直至生成可执行作业文件(如 MOTOMAN 机器人的作业文件:*·JBI).

1.2 虚拟示教系统的人机交互装置

人机交互装置是虚拟示教系统重要的外围设备,也是示教点输入的重要工具.它的设计可借鉴虚拟现实系统中的人机交互技术.目前应用于虚拟现实系统的人机交互设备主要有:数据手套、力反馈手控制器(操纵杆)以及立体显示头盔、触感接口(Haptic Interface)、力觉鼠标和力觉笔杆等.

1.2.1 数据手套 数据手套是一种较好的人机交互装置,其前身应为手套式传感器系统.高控制精度的数据手套可用于机器人操作控制,以实现系统的三维控制.数据手套设计的关键在于手掌各有效部位的弯曲测量及其整体姿态的反演.实现反演理论上主要取决于人体手部姿态的运动模型的建立.不同的测量形式将导致不同的实现结构,但实质上仍为解决传感器的参数与手部姿态的定量关系.数据手套测量数据的生成模式与常规数字化传感器相同,它可通过 A/D 转换器将传感器模拟量转换为数字量,送至计算机的 I/O 接口(如 RS-232C 串行接口)以实现其功能.

为了使人机交互更加真实,提高人在虚拟环境中的沉浸感,需要增加力反馈.如在数据手套中埋设形状记忆合金,当无物体反作用时,手可以自由弯曲;而当抓握物体时,物体则产生反作用力,形状记忆合金将处于一定的约束状态,依此可识别受力状况.另外,也可在手指的内侧装设微型气缸,当手指接触虚拟物体时,由微型泵实时供气,对手指施以压力,使之似乎有一种实际物体存在的感觉(如 G. Burdea 研制成功的气压式力反馈数据手套^[1]).

1.2.2 力反馈手控制器 力反馈手控制器在机器人领域已有所应用,与其他控制设备(如鼠标、键盘或触摸屏)相比,手控制器(或称操纵杆)是更好的输入设备.因为操作者能够更好地参与任务,当操作者的输入使远程系统运动时,系统感受到的力反馈给手控制器,因此操作者可感受到作用在系统上的力.力反馈手控制器的机械结构分为串联型和并联型两种.其优点为:串联型结构提供较大的工作空间,Teleoperator System Corp 公司于 1977 年开发了一种双向串联式力反馈伺服主从操作器^[1];而并联型结构往往比较紧凑(小型并联主动机械手系统可以置于桌面),因而具有一定的实用和推广价值.力反馈手控制器主要由视觉信息显示子系统和空间操作子系统(见图 2)两部分组成.前者主要包括

图像工作站计算机(随着微机性能的提高,现可取代之),后者则由六自由度主动机械手组成.主动机械手“服务平台”的顶部小平台和基座平台由三套平行四边形连杆机构连接.操作者操纵服务平台中心的小球时,手部运动的位置和方向信号经过 A/D 转换后输入计算机,进行必要的坐标转换和数据处理;然后由图像工作站显示出虚拟操作;与此同时,计算机计算出机械手的操作反力(力矩)数据,通过控制回路驱动直流电动机,实现对操作者的实时力反馈.

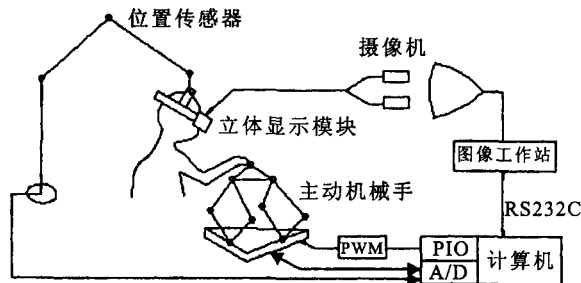


图2 主动机械手系统原理图

Fig.2 Driving manipulator system draft

1.2.3 立体头盔 立体头盔把图像显示器和头部运动检测机构安装在头盔上,组成运动-图像联动方式.显示器可用 LCD 或 CRT,运动检测机构采用连杆式磁位置传感器.当具有视差的双通道视频信息分别绘制到 HMD 的左右眼时,形成立体显示^[2].

1.2.4 力觉笔杆 力觉笔杆主要应用于开放型虚拟环境中,它与现实作业中的工具把柄较相似,因而具有较高的实用性(见图3).其笔杆两端分别由3个自由度的机械手支撑,由于共有6个自由度,因此可在笔杆手柄上产生3个力和3个力矩.角度传感器安装在关节上,检测笔杆位姿;力反馈控制器也安装在相应的关节上,适当控制关节上的力控制器,可使用户在移动笔杆时,感受到力、力矩的反馈效应.

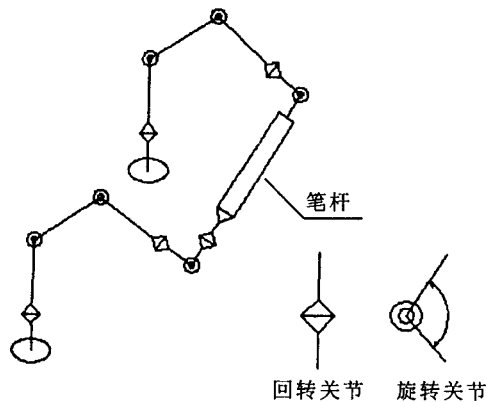


图3 力觉笔杆原理图

Fig.3 Pen with force feedback draft

2 MOTOMAN 机器人虚拟示教

图4是MOTOMAN 机器人虚拟示教系统,主要由六自由度机械手(SV3X)、机器人控制柜(XRC)、示教盒、上位计算机和输入装置组成.控制柜与机械手、微机、示教盒间均通过电缆连接,输入装置(游戏操纵杆)连接到微机的并行端口(或声卡接口)和USB接口(提供力感)上.

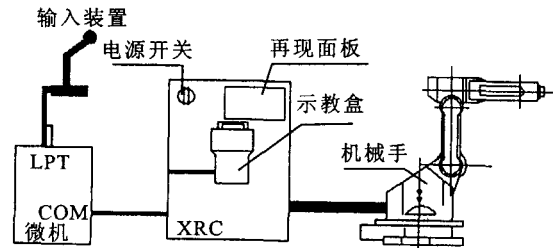


图4 MOTOMAN 机器人虚拟示教系统

Fig.4 MOTOMAN robot virtual teaching system

2.1 虚拟示教的理论基础

MOTOMAN为串联六自由度关节式机器人,根据D-H经典法则建立杆件前置坐标系(见图5).

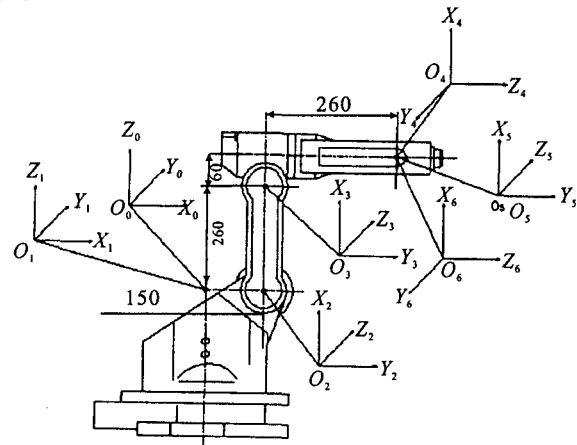


图5 MOTOMAN 机器人结构简图

Fig.5 MOTOMAN robot structure sketch

两个相邻坐标系 i 与 $i-1$ 间的齐次变换矩阵 ($i=1, 2, \dots, 6$) 为

$$A_i^{i-1} =$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \cos \alpha_{i-1} \sin \theta_i & \cos \alpha_{i-1} \cos \theta_i & -\sin \alpha_{i-1} & -d_i \sin \alpha_{i-1} \\ \sin \alpha_{i-1} \sin \theta_i & \sin \alpha_{i-1} \cos \theta_i & \cos \alpha_{i-1} & d_i \cos \alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中: α_{i-1} 为杆件扭角; a_{i-1} 为杆长; d_i 为杆件偏距; θ_i 为关节变量.

经运动学正解,可得到机器人末端的位姿;而已知机器人末端的位姿,经过运动学反解可求得对

应6个关节的角度.操作人员牵引示教装置,既可在关节空间中示教,也可切换到直角坐标空间中示教.前者较为简单,而后者的实现涉及到位姿运动学反解,由于反解不是唯一的,需要在程序中通过比较、判断,以选取唯一解,具体见文献[3].

2.2 输入装置

作者选取市场上流行的北通(力回馈)控制器作为输入装置.它是一种适用于电脑游戏的控制器,在微软 Direct Input, Force Feedback API 5.0 或更新版本支持的电脑游戏中,可模拟出电脑震动摇杆的效果.基于此,作者通过对游戏杆编程,读取其输入数据,并且实现它所提供的震动力反馈功能.

微软公司在 Windows 98/NT 操作系统基础上推出的 DirectX 图形加速程序和开发工具包,提供了对媒体硬件设备直接存取的方法以及对多媒体的支持^[4]. DirectInput 属于 DirectX 的组件之一,它提供了对游戏操纵杆和其他输入设备(如键盘、鼠标等)的访问. DirectInput 由3个对象组成(DirectInput、DirectInputDevice 和 DirectInputEffect). DirectInput 是一个高层对象,通过 DirectInput 对象可以对相关的输入设备进行初始化和查找,最终创建低层的 DirectInputDevice 对象; DirectInputDevice 对象作为与物理输入设备(游戏杆)的接口,包括收集、设置设备状态信息,并创建力反馈设备 DirectInputEffect 对象;而 DirectInputEffect 对象封装能够在力反馈设备上“播放”的简单效果,提供了启动、停止和设置力反馈效果等功能,将此功能用于机器人虚拟示教过程,可产生虚拟现实以及效果强烈的震撼力.

2.3 回放再现

虚拟机器人回放再现时,必须通过示教关键点.示教程序包括关键点间的轨迹规划指令、状态描述指令以及控制、转移指令等.软件编程时,需将

这些指令翻译成虚拟机器人仿真动画时的程序.尽管目前机器人语言的不统一(MOTOMAN 机器人语言为 INFORM II; PUMA 机器人编程语言为 VAL),还无法编出通用的指令解释程序,这在一定程度上制约了虚拟示教编程技术的推广,但是不同类型的机器人指令仅在指令的具体表述上有差异,所能实现的功能却非常类似,因此,掌握一种示教编程的方法具有一定的现实意义.

2.4 示教界面设计

利用 Visual C++ 编程时,作者采用了基于 MFC 的 C++ 编程方式,通过 ClassWizard 类向导、AppWizard 应用程序向导的配合编程,缩短了编程时间.其中消息响应机制、不同类对 API 接口函数的封装以及类的继承性,降低了编程难度.

在示教界面的设计上,作者采用了多种资源方式(对话框、菜单、工具条等).编程的重点在于解决好同类间的数据交换、操纵杆的输入输出、文件的读写操作等.其中,文件读写可以完成示教关键点的位姿记录、文件名操作、回放再现以及生成机器人作业文件(*.JBI)等;而系统定时函数 SetTimer(UINTE nIDEvent, UINTE nElapse)具备了对操纵杆数据的定时采样的功能.

3 结 论

机器人虚拟示教的实现充分利用了机器人在线示教简单、直观的优点,同时又借助于计算机软硬件的最新技术,尤其将虚拟现实技术用于机器人示教,因而具有安全、高效、成本低等优点.作者通过 VC++ 编程,模仿了机器人示教盒的部分功能并利用带力反馈功能的游戏操纵杆实现了虚拟机器人的示教,随着研究的进一步深入,利用建立客户机/服务器(C/S)模式,通过远程计算机登陆机器人主页,可以完成机器人的远程操作与网络控制.

参考文献:

- [1] 殷跃红, 尉忠信, 黄晓曦. 智能机器系统力觉及力控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [2] 吕洪波, 王田苗, 刘达, 等. 基于虚拟现实技术的机器人外科手术模拟与培训系统研究[J]. 高技术通讯, 2001, 7(11): 87-91.
- [3] 马香峰. 工业机器人的操作机设计[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.

(责任编辑:邢宝妹)