

基于 UG 二次开发的工业机器人 作业仿真系统设计*

薛红军¹, 任雅广¹, 刘振宇^{2*}, 卜王辉²

(1. 海军驻上海 704 所 军代表室, 上海 200031; 2. 浙江大学 机械工程学系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了在一般 CAD 软件中实现符合企业需求的工业机器人运动仿真, 通过采用 UG 软件二次开发技术和 C++ 程序, 构造了与 UG 无缝集成的工业机器人作业仿真系统。设计了包含人机接口层、作业管理层、UG 支撑层的仿真软件体系结构。针对 UG 运动模块难以进行二次开发的问题, 通过对 UG 装配模块的二次开发来实现机器人运动仿真。机器人运动过程碰撞检测功能则由 UG 间隙检查模块的二次开发实现。仿真软件现已成功地应用于汽车门框焊接机器人的作业仿真及布局设计。

关键词: 机械臂; 虚拟现实; 离线编程

中图分类号: TH13; TP242; TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)06-0052-04

Task simulation system design for industrial robots based on UG application development

XUE Hong-jun¹, REN Ya-guang¹, LIU Zhen-yu², BU Wang-hui²

(1. Military Delegate Office, Navy Representative Office in 704 Institute, Shanghai 200031, China;

2. Mechanical Engineering Department, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to implement the motion simulation of industrial robots in the common CAD software for the requirement of enterprises, the task simulation system for industrial robots is developed based on UG application development and C++ programming, and is integrated with UG software seamlessly. The architecture of the simulation system contains three hierarchies that are human-machine interface level, task management level, and UG support level. To solve the problem that the UG motion module is hard for application development, the robot motion simulation was implemented through the UG assembly module. The collision detection during robot motion was implemented through the UG clearance analysis module. The simulation system is applied to the task simulation of car door frame welding robots successfully.

Key words: robotic manipulator; virtual reality; off-line programming

0 引 言

工业机器人在现代制造系统中应用广泛。机器人作业仿真系统软件, 通过在 CAD 环境中进行机器人虚拟样机的布局设计与操作仿真, 能够有效地辅助设计人员进行机器人虚拟示教、机器人工作站布局、机器人工作姿态优化, 在物理工作站制造之前验证设计的合理性, 在虚拟环境中生成控制机器人作业的数控加工

代码。

目前不少学者对工业机器人仿真进行了研究。文献[1]基于面向对象技术研究了示教再现型弧焊机器人离线编程系统, 介绍了系统总体设计方法和子模块功能结构。文献[2]提出了机器人运动过程的协调算法, 采用插补计算的方法解决了仿真系统中机器人末端执行器的直线运动和圆弧运动。文献[3]针对 PU-MA560 机器人, 开发了一个面向对象的离线编程和图

收稿日期: 2009-09-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50875239)

作者简介: 薛红军(1969-), 男, 浙江宁波人, 主要从事轮机工程方面的研究. E-mail: xhj341@gmail.com

通信联系人: 刘振宇, 男, 博士, 副教授. E-mail: liuzy@zju.edu.cn

形仿真系统。文献[4]提出了一种交互式三维可视化离线编程和动态仿真系统,并研究了焊接工艺中的焊道规划技术。文献[5]研究了离线编程系统的体系结构,介绍了工业机器人仿真软件的功能模块。文献[6]论述了工业机器人仿真领域中的一种前沿技术即虚拟样机技术,通过数字化的手段为产品设计制造提供仿真分析。文献[7]研究了基于 Matlab 的焊接机器人运动学分析及仿真,运用 DH 方法建立了焊接机器人运动学方程,得到了机器人在不同坐标空间的各种运动参数曲线和数据。

为了适应企业的设计环境,在一般 CAD 软件中实现符合企业需求的工业机器人运动仿真,本研究通过 UG 软件的 Open C API 二次开发技术,构造了与 UG 软件无缝集成的工业机器人作业仿真系统。

1 仿真系统体系结构

基于 UG 二次开发的工业机器人作业仿真系统采用 Visual C++ 和 UG Open C API 开发。系统与 UG 软件无缝集成,UG 软件作为系统的底层支撑平台。这款软件成功地应用于汽车门框焊接机器人的作业仿真及布局设计。系统界面如图 1 所示。

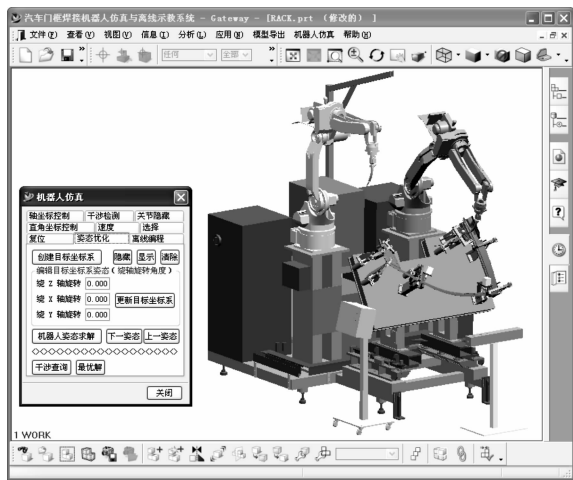


图1 基于UG二次开发的工业机器人作业仿真系统

软件系统的体系结构分为 3 个层次,15 个子模块,如图 2 所示。人机接口层为操作人员提供了控制机器人虚拟样机的接口;作业管理层是软件系统的核心,用来实现人机接口层的操作命令;UG 支撑层负责系统的图形绘制,以及机器人运动和碰撞检测在 UG 软件中的实现。仿真系统有 4 大主要功能,即机器人运动求解与仿真、机器人运动过程碰撞检测、机器人作业过程重用、机器人布局优化。本研究着重探讨机器人运动仿真及碰撞检测的关键技术。

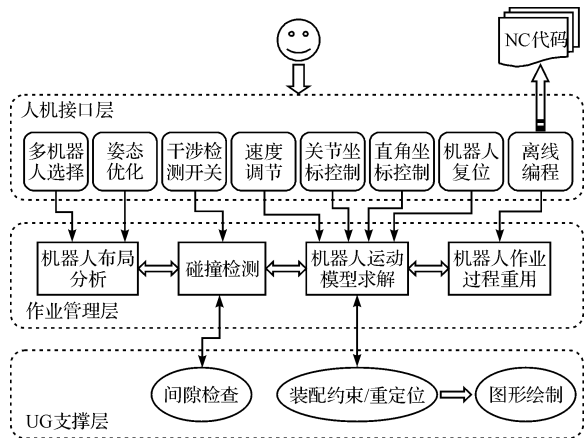


图2 仿真系统的体系结构

2 机器人运动学求解及实现

工业机器人由若干杆件通过关节运动副装配组成,如图 3 所示。考虑到机器人基座需要由一个杆件表示,因此一个 N 自由度的机器人由 N 个关节连接了 $N+1$ 个杆件。工业机器人是开链拓扑结构的多体系统,可以用拉格朗日多体运动学^[8]描述机器人的运动行为。通常机器人学 DH 法则^[9]用 4×4 的齐次矩阵来表示杆件在参考坐标系中的位置和姿态。

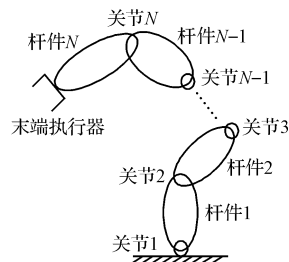


图3 N 自由度工业机器人

设 ${}^{i-1}_iT$ 表示第 i 个杆件的局部坐标系在其前驱杆件局部坐标系中的位置姿态的齐次矩阵, W_0T 为机器人基座坐标系在世界坐标系中的位置姿态矩阵, ${}^N_E T$ 为末端执行器在末端杆件局部坐标系中的位置姿态矩阵。则机器人末端执行器在世界坐标系中的位置姿态为

$${}^W_E T = {}^W_0 T \cdot \prod_{i=1}^N {}^{i-1}_i T \cdot {}^N_E T \quad (1)$$

式(1)为机器人运动学方程。其中 ${}^{i-1}_i T$ 中含有关节变量 q_i ,因此 N 自由度机器人运动学方程中有 N 个关节变量。当已知各关节变量,可以求取末端执行器的位置姿态,这称为机器人运动学正问题。当已知末端执行器的位置姿态,可以求取各关节变量,这称为机器人运动学逆问题。

与运动学正问题对应的是机器人关节坐标控制方式,即操作人员直接指定各关节的移动长度或转动角

度,从而带动末端执行器运动。与运动学逆问题对应的是机器人直角坐标控制方式,即操作人员指定末端执行器所期望的位置和姿态,然后求解出各关节需要的移动长度或转动角度,从而带动末端执行器运动。

以上是机器人作业仿真系统中作业管理层进行的机器人运动学求解。无论关节坐标控制还是直角坐标控制,UG 支撑层都是通过关节运动来带动机器人末端执行器运动的。在仿真系统开发实践中,发现 UG 运动模块难以进行二次开发,因此本研究采用对 UG 装配模块的二次开发来实现机器人运动仿真,有修改装配约束和装配重定位两种技术方案。

采用修改装配约束的方案需要事先建立合适的机器人装配约束。如转动关节应采用面面角度约束,移动副应采用面面距离约束。关键代码如下:

```
//由机器人装配模型的实例获取原型
tRobotPart = UF_ASSEM_ask_prototype_of_occ ( tRobot );
//设置当前机器人装配模型为工作部件,并保存原始工作部件
UF_ASSEM_set_work_part_quietly ( tRobotPart, &tOldWorkPart );
//创建装配模型中转动关节角度约束的表达式
sprintf ( newExp, "% s = % lf", Joint. lh_str, Joint. dAngle );
//修改装配约束
UF_MODL_edit_exp ( newExp );
//更新模型,这样机器人运动副就发生了转动
UF_MODL_update ( );
//恢复原始工作部件为当前工作部件
UF_ASSEM_set_work_part_quietly ( tOldWorkPart, &tRobotPart );
```

采用装配重定位的方案不需要建立装配约束,但需要指定杆件局部坐标系原点和姿态矩阵的前 6 个元素。关键代码如下:

```
//Joint. tIns 为杆件实例;new_origin 是 double[3] 数组,为局部坐标系原点;new_csys_matrix 是 double[6] 数组,为局部坐标系 x 轴和 y 轴的姿态
```

```
UF_ASSEM_reposition_instance ( Joint. tIns, new_origin, new_csys_matrix );
```

仿真系统中机器人运动过程如图 4 所示。

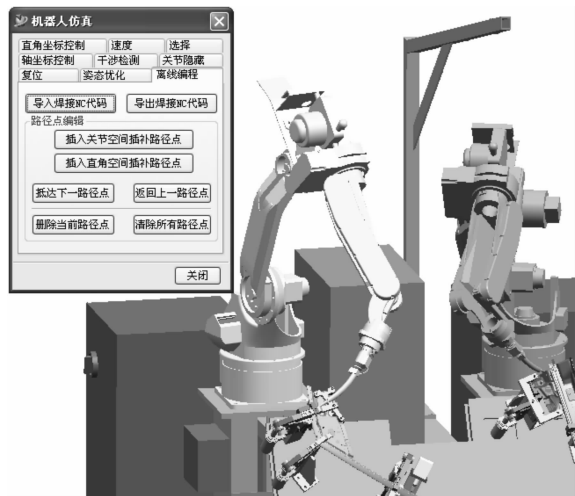


图 4 两台六自由度焊接机器人协同运动

3 机器人运动过程碰撞检测及实现

碰撞检测可以防止机器人运动过程中与工件、夹具、机架等发生干涉。由人机接口层中的碰撞检测开关、作业管理层中的碰撞检测子模块和 UG 支撑层中的间隙检查功能构成。机器人运动过程中的碰撞检测流程如图 5 所示。UG 支撑层中实现间隙检查的关键代码为:

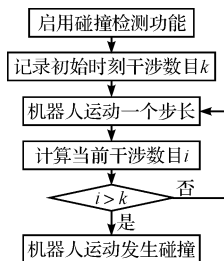


图 5 碰撞检测流程

```
//进行间隙分析,datasetWorkpart 为分析结果数据集
UF_CLEAR_do_clearance_analysis ( datasetWorkpart );
//获得间隙分析结果,其中 summary. n_all_interf 中存储了干涉数目
```

```
UF_CLEAR_ask_results ( datasetWorkpart, &summary );
```

仿真系统中机器人碰撞检测如图 6 所示。



图 6 机器人碰撞检测

4 结束语

本研究采用 UG 软件的 Open C API 二次开发技术,构造了与 UG 无缝集成的工业机器人作业仿真系统。设计了包含人机接口层、作业管理层、UG 支撑层的机器人作业仿真软件体系结构。针对 UG 运动模块难以进行二次开发的问题,本研究通过对 UG 装配模块的二次开发来实现机器人运动仿真。机器人运动过程碰撞检测功能则由 UG 间隙检查模块的二次开发实现。仿真软件成功地应用于汽车门框焊接机器人的作业仿真及布局设计。

(下转第 68 页)

约束;⑤读取 ROM 版本能够对下位机下达读取 ROM 版本号的指令。

3.2.2 远程控制

点击图 6 中的“远程控制”按钮,进入“远程控制”界面。远程控制部分主要分为 DO 远程输出和输出到阀(AO 远程输出)两部分。打开“DO 输出”按钮后,点“远程输出”,即可控制车辆的相应开关状态;点“远程释放”按钮后,调试软件 DO 输出部分就会失去对车辆的控制权。“输出到阀”操作方式类似于“DO 输出”。

4 结束语

本研究从硬件设计和软件设计两方面对基于 LPC2378 微处理器的高空作业类工程车辆控制器的设计进行了介绍。该系统现已在中国电子科技集团某研究所的某一大型系统中得以应用,工作可靠、稳定。相对于国内控制器领域的现状,该控制器做了多方面的改进:①选用了—个高性能的 32 位处理器的嵌入式系统芯片 LPC2378,工作频率可达 72 MHz;②系统在抗干扰方面做了多种设计,如 PCB 版图的多层板布局、电源稳压模块、复位电路的设计及保护系统的设计等,以上两者共同实现了一个高速、稳定、可靠的控制器系统;③该控制器设计过程中我们还采用了结构化编程,使软件的总体结构更容易理解,并可复用;④该控制器

还设计了上位机维护软件,实现了系统调试运行时的参数监视、参数设置、维护控制器系统的运行记录、错误处理分析及动作控制等功能,从而实现了工程车的智能控制。

参考文献(References):

- [1] 徐 勉. 硬件工程师培训教程(1)[M/OL]. [2009-02-01]. http://www.2008red.com/member_pic_203/files/cqkegu/html/article_3671_1.shtml.
- [2] SCHIMANECK F, MERRIFELD D K. Aerial work platforms: safety, liability & the rental center[J]. **Professional Safety**, 1998, 73(1): 25-28.
- [3] 杨红旗. 中国工程机械行业的回顾与瞻望(三)[J]. **工程机械**, 2002, 33(7): 3-4.
- [4] 周立功. 深入浅出 ARM7; LPC213X/214X(上册)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [5] [作者不详]. LPC23xx Microcontroller Family Reference Manual[M]. 电脑学习, 2002.
- [6] 赵晓明, 徐 立, 邵 威, 等. 基于 VC++ 的上位机与西门子系列 PLC 通信的研究[J]. **机电工程**, 2007, 24(7): 42-44.
- [7] 李正勤, 蒋小洛. 嵌入式智能汽车在线监测系统[J]. **机电工程**, 2007, 24(6): 43-45.
- [8] 孙 鑫, 余 安. VC++ 深入详解[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.

[编辑:张 翔]

(上接第 54 页)

参考文献(References):

- [1] 刘 永, 杨静宇. 弧焊机器人工作站离线编程系统-WROBCAM[J]. **计算机辅助设计与图形学学报**, 2005, 17(1): 190-194.
- [2] 何广忠, 高洪明, 张广军, 等. 机器人弧焊离线编程系统协调运动的实现[J]. **哈尔滨工业大学学报**, 2005, 37(6): 813-815.
- [3] 毛剑飞, 邹细勇. 基于面向对象的机器人离线编程和图形仿真系统的研究[J]. **中国机械工程**, 2005, 16(5): 436-439.
- [4] 唐新华, Paul D. 机器人三维可视化离线编程和仿真系统[J]. **焊接学报**, 2005, 26(2): 64-68.
- [5] MITSU S, BOUZAKIS K D, MANSOUR G, et al. Off-line

programming of an industrial robot for manufacturing[J]. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2005, 26(3): 262-267.

- [6] WANG G G. Definition and Review of Virtual Prototyping[J]. **ASME, Journal of Computing and Information Science in Engineering**, 2002, 2(3): 232-236.
- [7] 程永伦, 朱世强, 罗利佳, 等. 基于 Matlab 的 QJ-6R 焊接机器人运动学分析及仿真[J]. **机电工程**, 2007, 24(11): 107-110.
- [8] 洪嘉振. 计算多体系统动力学[M]. 北京:高等教育出版社, 1999.
- [9] 熊有伦. 机器人学[M]. 北京:机械工业出版社, 1993.

[编辑:李 辉]