

基于工业 PC 的六轴机器人控制系统设计

姚 远 吴铁军 浙江大学工业控制技术国家重点实验室(310027)

Abstract

The paper introduces a PC-based six-joint control system, including its functions, logical structure, hardware, software, and measures for safety. This system is an open architecture robot controller. It runs fluently and safely, and has a good expansibility.

Keywords: six-joint robot, control system, open architecture, industry PC

摘 要

本文设计了一套基于 PC 的六轴机器人控制系统,叙述了系统的功能、逻辑结构、硬件组成、软件架构和安全措施等。此控制系统具有较好的开放性,在实际运行中工作平稳,安全可靠,并具有高扩展性能。

关键词: 六轴机器人, 控制系统, 开放式, 工业 PC

目前,多数商用机器人的控制器采取了封闭式结构:采用专用计算机(如 PUMA 机器人使用 PDP-11)作为上层主控计算机;使用专用机器人语言(如 VAL)作为离线编程工具;采用专用微处理器,并将控制算法固定在 EPROM 中^[1]。这样的系统缺乏开放性,不便于系统的维护和改进(包括硬件结构和软件),扩展性能较低。如果要对其进行改造,就只能重新设计,代价很高。开放式机器人控制器的主要思想是:使用基于非专用计算机平台的开发系统(比如, SUN, SGI, PC 等);使用标准操作系统(比如, UNIX, VxWorks)和标准控制语言(比如, C 或 C++);使用基于标准总线结构的硬件,以便与各种外围设备和传感器接口;使用网络策略,使工作单元控制器可以共享数据库,并支持远程操作^[2]。基于以上思想,本文设计了一套基于 PC 的六轴机器人控制系统,在使用中获得了良好的控制效果,并具有很强的可扩展性。

1 机器人控制系统的逻辑结构与功能

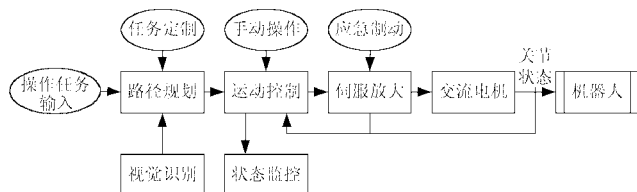


图 1 机器人控制系统逻辑框图

本文所述的机器人控制系统采用了模块化的设计方法,其逻辑结构如图 1 所示,可以分为十个部分。

操作任务输入:指在计算机人机界面上向机械手控制系统输入操作任务。包括:机器人投入运行前,确定机器人的工作模式和参数设置;定制机器人的工作任务,并保存在工作任务库中以备调用;启动工作任务等。

路径规划:指根据机械手执行工作任务的性质和所处环境,以及机械手工作端运动关键点参数,形成完整的工作端运行轨迹,并形成各关节转动序列。包括:

6 轴路径插补和各关节运动序列反解。

任务定制:指操作员手操机器人,并记录路径上的关键点,然后计算机根据插补算法确定完整路径并进行可行性检验。

视觉识别:指通过识别加工工件的位置和姿态,调整和校正机器人工作端的允许轨迹。

定位控制:指根据路径规划系统输出的机械手各关节工作任务,以及从驱动电机反馈的各关节位姿状态,生成脉冲输出指令到交流电机伺服系统。

手动操作:指由操作人员在计算机界面上手动操作机械手各关节的独立运动,可用于系统测试、手动控制或任务定制的示教过程。分为点动和连动两种操作模式。

伺服放大:指根据定位控制系统的指令,输出功率信号,驱动交流电机按指定的角位移和角速度转动。主要功能有:电机驱动、电机角速度和角位移的闭环跟踪控制和电机制动。

应急制动:指当机械手由于故障而产生预定动作以外的运动时,操作人员可通过计算机界面或控制柜上的按钮,令各关节忽略计算机定位指令而应急制动,同时计算机定位指令序列暂停发生。解除应急制动后,计算机定位指令将从应急制动前的中断点开始继续执行。

交流电机:根据伺服放大系统输出的功率信号,产生转动转矩,驱动机械手各关节按指定的角位移与角速度运动,同时将测量到的关节运动状态反馈到伺服放大系统和定位控制系统。

状态监控:指对机械手及其控制系统各组成部分的运行状态,以及机械手操作的工件及环境就位状态进行监控。

2 机器人控制系统的硬件结构与组成

机器人控制系统的硬件结构如图 2 所示。整个系统由一台工业 PC 机,两块电机控制卡,6 个继电器输出模块,6 套交流伺服系统和其他附属设备组成。

本系统的主控计算机采用了工业 PC, 选用了 Axiom 公司的 ATX6022/8 底板。底板上共有 4 个 PCI 插槽和 3 个 ISA 插槽。其中, 显卡、图像采集卡和两块电机控制卡各占用一个 PCI 插槽, 网卡和多串口扩展卡各占用一个 ISA 插槽, 空余一个 ISA 插槽。由于没有多余的 PCI 插槽, 故选用了 ISA 网卡。多串口扩展卡选用了 Advantech 公司的 PCL-746+ 卡, 可最多扩展 4 个串行口, 串行口的种类可以是 RS-232、RS-485 或 RS-422, 且各串口可以分别设置。另外, 工控机还配置了触摸屏, 使机器人的用户可以直接通过触摸屏操作机器人, 而不需要外加手操器等设备。网卡、串口、USB 口的配置, 是其有很强的远程通讯能力。

电机控制卡以 DSP(数字信号处理器)为核心, 运算速度快, 并支持复杂的算法, 可以进行位置信号及状态信号(如报警、限位等)的采集, 和完成多种不同的运动控制, 将主控计算机的资源从大量的数据采集和计算中解放出来, 使之可以更好对整个控制系统进行管理。系统选用了研华公司的 PCI-1240 电机控制卡。该卡基于 PCI 总线, 可以同时进行 4 轴高速运动控制。内置的 MCX314 芯片, 使其可以在不增加主控计算机负担的情况下进行运动控制, 比如: 2/3 轴的直线插补运动, 2 轴的圆弧插补运动, T/S 形加减速运动等。API 函数接口使在 Windows 环境下对硬件的编程变得很容易。两块 PCI-1240 电机控制卡分别控制机器人三个关节的电机, 并还有再控制两个电机的扩展能力。

继电器输出模块采用研华公司的 Adam-5000E 系统基座配合六个 Adam-5068 八通道继电器输出模块, 分别对应机器人的六个关节电机的伺服放大器。Adam-5000E 系统的基座上有八个卡槽, 可以安装八个 I/O 模块, 通过 RS-485 通信口与工业 PC 相连, 不占 PC 的卡槽, 并有很强的扩展能力。与 PCI-1240 卡一样, Adam-5000E 系统也有 API 函数接口, 编程十分方便。继电器输出模块的作用是给出伺服放大器工作所需的控制信号, 如伺服开启、紧急停止、报警复位、清零信号等。基座空余的两个槽位, 可供扩展其他传感器(如机器人指端可添加压力传感器等)的 I/O 信号。

交流伺服系统是由交流伺服放大器, 交流伺服电机和光电编码器组成的闭环控制系统。伺服放大器接受来自电机控制卡的脉冲信号(脉冲的个数和频率分别对应位置和速度的给定值), 并以此为给定值控制电机的转动。伺服放大器从光电编码器获得闭环系统的位置反馈信号, 并将此信号传给电机控制卡。系统采用了三菱公司的交流伺服系统。六个关节的电机选择了 HC-KFS 系列的低惯量小容量交流伺服电机。由于此类电机的惯性矩较大, 因此适合机械手这种负载惯性矩发生变动的场合。在电机中还配置了电磁制动器, 以增加安全性。相应的, 伺服放大器选用了与电机配套的 MR-J2S-A 系列的交流伺服放大器。它有位置控制、

速度控制、转矩控制三种模式, 还可以进行控制模式的切换。有 RS-232 和 RS-422 串行通信功能。在实际使用中, 采取的是位置控制的模式和 RS-422 通信方式。其中, 通过 RS-422 通信, 可以将伺服系统的运行状态、报警情况和绝对位置等传送到工业 PC, 并可通过 PC 对伺服放大器进行参数设置、增益调整和试运行。由于这套伺服系统的编码器采用了分辨率为 131072 脉冲/转的绝对位置编码器, 所以具有高精度控制的能力。

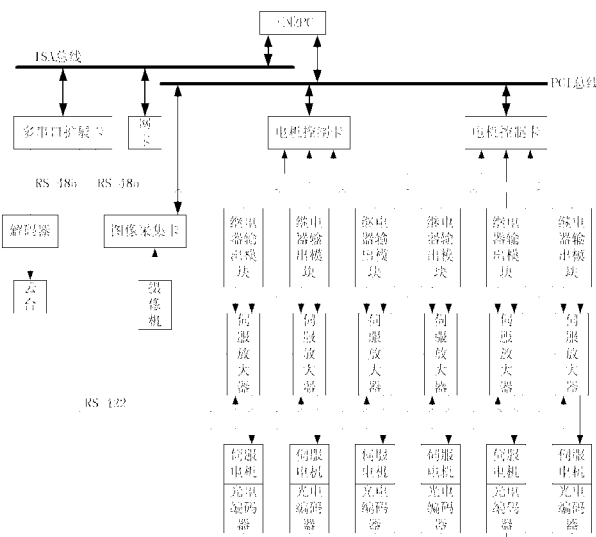


图2 机器人控制系统硬件结构图

另外, 由图像采集卡、摄像机、解码器和云台构成机器人视觉识别系统。

3 机器人控制系统的软件设计

系统采用 Windows 2000 作为软件开发的平台。开发工具是 Borland 公司的 C++ Builder。

3.1 主要软件模块

控制软件主要包括以下基本功能模块: 人机界面、数据库存取、机器人运动控制、报警处理、电机控制卡操作、I/O 模块操作、串行通讯、视觉识别等。其中:

电机控制卡操作: 将 PCI-1240 电机控制卡的 API 函数进行封装, 以控制电机运动, 并完成位置信号与状态信号的采集, 并可对电机控制卡内的寄存器进行操作。

I/O 模块操作: 将 ADAM-5000E 系统的 API 函数进行封装, 以完成对 I/O 模块的操作。

通过各模块的配合, 控制软件可以完成手动操作、人工示教、示教再现、计算机辅助校正运行、机器人复位等功能。

3.2 软件框架结构

机器人控制系统的软件量很大, 下面以人工示教功能和示教再现功能的实现为例, 对软件框架结构进行详细的说明。

图 3 和图 4 分别是控制软件中人工示教功能和示教再现功能的软件框架图。

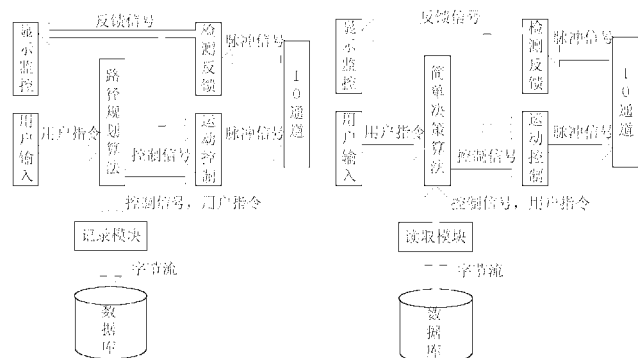


图3 人工示教软件框架图

在人工示教功能的实现中,由用户输入运动要求,调用路径规划算法(即六轴插补算法)进行机器人运动路径的规划,根据规划结果,进行运动控制,操作电机控制卡向伺服放大器发出脉冲信号,令伺服放大器驱动电机以使机器人运动。机器人运动时,检测位置反馈信息,进行闭环伺服控制,同时将反馈信息显示在人机交互界面上。示教得到的有效路径(路径中的关键点)和相关信息,在用户的操作下,被记录到数据库中,成为可供调用的任务。

在示教再现的功能实现中,用户下达指令,从数据库中读取用户所希望调用的运动任务,根据任务要求,进行运动控制,操作电机控制卡向伺服放大器发出脉冲信号,令伺服放大器驱动电机以使机器人按任务规定的路径和速度运动。机器人运动时,检测位置反馈信息,进行闭环伺服控制,同时将反馈信息显示在人机交互界面上以供用户监控。

4 安全措施

由于机器人的惯量非常大,一旦伺服控制系统发散,后果会非常严重。因此在设计中,安全问题被充分考虑,在硬件和软件上都进行了相应的报警处理设计、制动设计和限位设计。

4.1 报警处理

硬件上,设置 MR-J2S-A 伺服放大器的参数,选择放大器 CN1B-19 针脚的功能为电磁制动器连锁。当机器人任一轴的伺服系统发生报警或异常时,伺服放大器将自动关闭伺服,同时 CN1B-19 针脚的 DO 输出变为高电平,带动继电器动作,继电器使安装在电机内电磁制动器启动,强行将机器人的全部六个关节制动。另外,在报警或异常发生时,伺服放大器的 CN1B-18 针脚的 DO 输出也变为高电平,即向 PCI-1240 电机控制卡输出 ALM 信号。电机控制卡接收到 ALM 信号后,自动停止下达控制指令,并更改内部寄存器的值。

软件上,报警处理模块独占一个线程,实时检测电机控制卡的寄存器的值,当检测到有报警或制动信号后,停止向电机控制卡下达运动指令,并更改继电器模块的输出,使电机控制卡、伺服放大器都立即停止工

作,并开启安装在电机内的电磁制动器,强行将机器人的六个关节电机同时制动。

4.2 应急制动

除了自动诊断报警和异常外,操作员还可以手动停止机器人的运动。

硬件上,在控制柜上安装了紧急制动按钮,当该按钮按下时,切断伺服系统的电源,使其无法继续工作,同时电磁制动器启动,将机器人制动。经过设计,这种方式的停止,将被报警处理线程检测到,程序将转入报警的后续处理,不会使软件系统瘫痪。

软件上,在机器人根据定制的任务工作时,操作员可以通过点击人机交互界面中的“全局制动”按钮,将机器人的运动暂停。由于工作任务的数据读取,是按路径上的点,依次逐点进行的,当操作员点击“恢复运行”按钮后,通过读取数据库中的下一个运动点,机器人从暂停点继续未完成的工作任务。

当出现报警、异常或制动,使机器人停止,并且停止点不在工作原点时,程序将进行后续处理。下一次进入控制软件系统后,系统将要求操作员首先进行机器人的复位操作。

4.3 限位

除了机械上的限位开关,软件中还设置了软限位。当关节的角位移到达软限位的设置时,电机控制卡会自动停止发出指令脉冲,机器人将停止运行。而且控制软件将要求操作员使机器人限位关节向相反方向运动,以解除限位。

5 运行测试

控制系统设计和搭建完成后,进行了机器人的运行测试,步骤如下:

首先,设置了系统软硬件的参数。

其次,在摄像机拍摄范围内固定加工工件的位置,进行人工示教,走出一条封闭的示教路径,并将示教路径作为任务保存下来。

再次,将保存下来的示教路径(共 n 个关键点)分成三个阶段。第一阶段,包括第 1 到第 $m-1$ 个关键点;第二阶段,包括第 m 和第 $m+1$ 个关键点,并在这两天间进行六轴直线插值;第三阶段,包括第 $m+2$ 到第 n 个关键点(由于示教路径是封闭的,第 1 点和第 n 点其实是重合的)。

然后,进行示教再现,操作员可以选择示教次数和运行速度。

最后,在摄像机拍摄范围内任意移动并加工工件,在视觉系统的辅助下,进行带校正的示教再现。

另外,通过在人机界面上输入障碍物的信息,还可以在人工示教时,进行带避障的路径规划。

实践证明,机器人在以上测试中,均运行得安全、平稳。

(下转第 39 页)

以实现 MapInfo Professional 具有的绝大部分地图编辑和空间分析功能,而且 MapX 实现这些功能更加容易。MapX 可以通过 Datasets 将不同来源的数据捆绑到地图上实现图文互动或创建专题图。MapX 可以加载一个 GeoSet 文件在 Map 对象中就能看到地图显示。MapX 有 Geoset 文件的编辑器 GeosetMangater.exe,用户可在编辑器中组合及设置图层,然后保存生成一个 *.gst 文件直接调入 Map 对象,也可通过 Layers 对象的 Add 或 Remove 方法添加或移走图层。

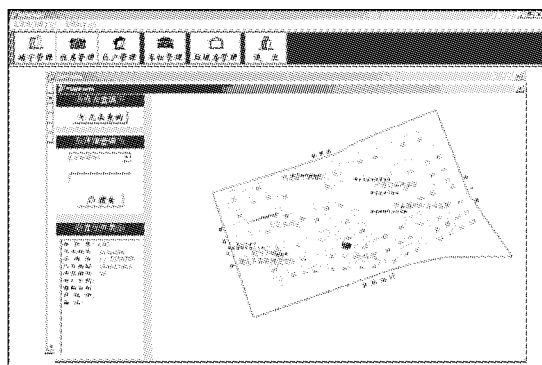


图3 智能小区的系统界面

在图3中的地图上点击右键,弹出快捷菜单,有放大、缩小、漫游、还原四种地图操作方法。选中“放大”,待为放大状态后,移动鼠标到想要放大的地图部分,点击左键,即可放大想要放大的地图部分;同样方法来进行地图缩小操作。选中“漫游”,待为漫游状态后,移动鼠标点击左键不放,然后拖动鼠标,即地图可随着鼠标的拖动而移动。选中“还原”,则地图返回到初始状态。

2.3 空间数据与属性数据的双向查询

系统将空间数据与属性数据相结合,既能根据属性数据调用相应的空间数据,动态显示相关地图,也能在地图上点击查询,调用出相应的属性数据,获取属性信息。对图3所示的界面点击车位管理,然后进行查询,由于空间数据按地图进行存储,每个图层的属性表均有1个ID字段,在空间数据库和属性数据库之间是通过ID号进行关联,从而获取车位号、车主姓名、车牌号、汽车类型、车位面积、首租日期、月租金、备注等车位管理的相关资料。如果车位还未被租赁,该系统会提示用户该车位处于可用状态。当通过属性数据对地图对象进行查询时,用关系数据表中的车位号和图层

(上接第20页)

6 结束语

该控制系统的开放性保证了系统的进一步改进和升级的能力。按现有的系统配置,可以轻松升级到八轴机器人的控制,并可添加其他所需的传感器。该系统有很强使用价值,再进一步的完善和测试后,可以将其用于实际的生产加工(如喷漆、焊接、抓取并移动工件等)中。

附属属性表中的 Object ID 字段进行关联,在地图窗口显示该属性数据对应的地图对象。

2.4 数据库的管理

2.4.1 使用 ADO 连接 SQL SERVER 数据库

ADO 组件不仅占用系统资源少、使用方便、运行效率高,而且允许用户在存储过程、批处理更新中使用数据库的各种系统资源。

使用 SQL SERVER 作为后台数据库服务器,为了达到更好地兼容性,最大限度地提高执行效率,在数据库应用程序中使用 ADO 组件来建立数据库服务器的连接。使用 ADO 组件连接数据库时,主要使用了二个组件:①TADOConnection 组件实现同数据设备的连接并控制连接的属性和条件。通过使用 TADO-Connection 组件的属性可以控制该组件的记录锁、游标类型、隔离级别和连接超时限制等,还可以在实现恢复数据变化的事务处理、检索数据库中的数据表以及检索数据库中的存储过程等功能。TADOConnection 组件的 ConnectionString 属性可用于设置数据库连接时的参数。②TADOTable 组件用于连接 SQL SERVER 数据库中用 TADOConnection 组件关联起来的数据表单,以便于程序调用。

2.4.2 数据库的可视化修改

在用户登录数据库窗体后,就可以进行数据库的可视化修改。修改当前记录的资料,只需将其对应项输入框中的内容修改即可,然后保存就完成了修改任务。如修改的不是当前记录,用户可在记录列表中找到需要修改的记录,再进行相应的修改操作。也可以通过查询功能找到需要修改的记录,然后双击该记录,记录资料显示后再进行修改。

3 结束语

本系统的推广应用使得信息共享效果增强,数据采集和处理的自动化水平提高,小区的智能化程度提高,给小区管理决策提供科学依据。对于系统的功能还需要随着时代的发展进一步地增强。

参考文献

- 1 修文群,池天河.城市地理信息系统[M].北京:希望电子出版社,1999
- 2 刘光.地理信息系统二次开发教程—组件篇[M].北京:清华大学出版社,2003 [收稿日期:2003.8.14]

参考文献

- 1 周学才,李卫平,李强,开放式机器人通用控制系统,机器人,1998,20(1)
- 2 William E.Ford,What is an Open Architecture Robot Controller?,1994 IEEE International Symposium on Intelligent Control,16-18 August,1994,Columbus,Ohio,USA

[收稿日期:2003.5.14]