

Design of 5-DOF Manipulator Based on PMAC Motion Controller

Jinwei Fan, Yijia Liu, Ling Chen, Xiaolong Yi

College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing

Email: jwfan@bjut.edu.cn, 413087669@qq.com, 510023302@qq.com, 976100353@qq.com

Received: Oct. 27th, 2014; revised: Nov. 20th, 2014; accepted: Nov. 29th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

For this step to put the bolt in specified location in the factory, we design 5-DOF manipulator, including the hardware architecture, software architecture and control system, and the hardware structure of the control system which based on PMAC motion controller. PC system management software is designed by the VC++ platform and the next crew PMAC implements various joint position servo control, which meet the good efficiency; smooth operation; high reliability; high accuracy requirements; and a good openness and scalability.

Keywords

5-DOF Manipulator, Precision, Control System, PMAC

基于PMAC的5自由度机械手的设计

范晋伟, 刘益嘉, 陈 玲, 伊晓龙

北京工业大学机械工程与应用电子技术学院, 北京

Email: jwfan@bjut.edu.cn, 413087669@qq.com, 510023302@qq.com, 976100353@qq.com

收稿日期: 2014年10月27日; 修回日期: 2014年11月20日; 录用日期: 2014年11月29日

摘 要

针对于工厂中安放螺栓工步的特征, 本文设计了5自由度机械手, 并构建了机械结构, 硬件结构, 软件

结构和控制系统。利用VC++平台设计了工控机(IPC)的系统管理软件,同时利用PMAC可编程多轴运动控制卡完成了各个关节位置的伺服控制,此控制系统综合了工控机(IPC)和PMAC的双重优点,能够满足机械手5轴联动,高精度,高效率,运行平稳迅速,可靠性高,节约成本的要求,并且具有良好的开放性和扩展性。

关键词

5自由度机械手,高精度,控制系统,PMAC

1. 引言

目前在国内机械装配过程中安放螺栓的工步主要采用人工完成或者 PLC 控制的三自由度机械手完成,如图 1。当采用人工加工时,可以保证各种型号的螺栓在三维空间中任意位置的安放,但是效率偏低,成本高。

而当采用 PLC 控制的三自由度机械手加工时,虽然效率增加,废品率和成本降低,但由于三自由度机械手的结构限制,螺栓只能在 2 维平面内有限位置的安放。本文设计的基于 PMAC 可编程多轴运动控制卡控制的 5 自由度机械手实现了螺栓在三维空间内的任意位置的安放,并且效率高,成本低廉。

2. 5 自由度机械手的机械结构

5 自由度机械手采用了工业控制计算机, PMAC 可编程多轴运动控制卡, 伺服驱动器, 交流伺服电机, 单级小型液压缸, 液压缸驱动器及编码器, 承重回转装置等组成的硬件平台。系统机械手机构图如图 2 所示。

本机械手的臂部和夹持机构采用了液压缸驱动, 带动关节, 完成轨迹运动。由于机械手臂长较长, 产生的力矩较大, 所以底座选择大面积圆形底座, 增强结构的稳定性, 并设计了转台, 大梁, 小臂, 腕部和齿轮齿条机构, 实现机械手的正常工作。整个机械手都安装在承重回转转台上, 回转机构由伺服电机通过内啮合齿轮实现绕 A 轴 360 度回转传动, 并装有编码器, 反馈转动的速度, 角度。转台上方的大梁, 小臂和腕部, 全部由液压缸驱动, 实现 B 轴 C 轴 D 轴 3 个自由度的运动, 以保证足够的工作范围, 保证运动的精度。机械手的夹持机构如图 3 所示。

机械手的夹持机构采用齿轮齿条控制夹臂的开合, 代替了市场现有的电机直接驱动夹臂开合的驱动方式。液压缸刚性连接双面齿条, 液压缸带动双面齿条进行往复运动, 双面齿条分别与两个齿轮啮合, 齿轮转动带动两个夹臂的开合。当缸体运动到缸底时, 夹臂闭合到最紧, 完成夹持动作, 当液压缸缸体伸出最长时, 两夹臂张开到最大角度, 完成放开动作。

市场上现有的机械手一般选用电机驱动, 但电机引起的振动较大, 系统不稳定。液压缸驱动相对于电机驱动, 引起的振动较小, 系统较稳定, 为了减小电机引起的振动, 提高机械手的精度, 所以本文设计的机械手驱动主要采用液压缸驱动, 保证了本机械手运行平稳、迅速。同时由于液压缸驱动较电机驱动省略了减速器机构, 传动机构简单, 本机械手的可靠性相应提高, 省略减速器也降低了机构重量, 减小了对机械手的刚度要求, 节约了制造成本。

3. 控制系统硬件的设计

控制系统采用上下两级控制装置, 上位机采用工控机(IPC), 下位机采用 PMAC 可编程多轴运动控制卡。工控机计算量大, 运行稳定响应速度快; 而 PMAC 反应迅速, 处理实时任务能力强, 直接负责运动控制。工控机与 PMAC 之间通过数据总线连接[1]。本文设计的上下两级控制装置, 能够充分发挥工控机



Figure 1. Robot simulation diagram
图 1. 机械手的仿真图

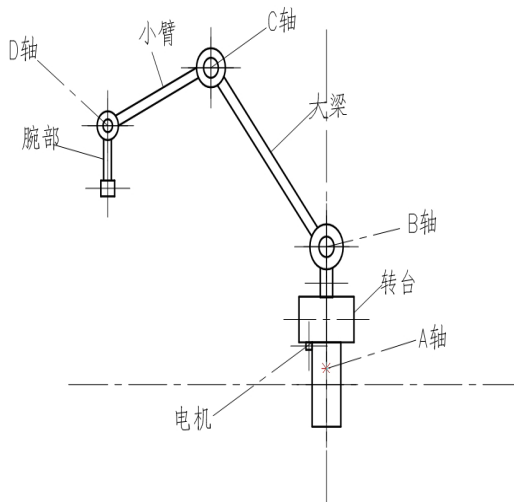


Figure 2. Machinery phone patterning
图 2. 机械手机构图

和 PMAC 的优点，实现机械手 5 轴联动，满足高精度，运动迅速的要求。本系统选用三菱同步交流伺服电机，并配有编码器提供速度和位置反馈。选用小型液压缸驱动大梁，小臂，转接件。同时夹臂上安有小型液压缸，液压缸带动齿条实现齿轮的运转，从而使夹臂工作。本控制系统的结构如图 4 所示。

4. 控制系统的软件设计

4.1. 软件系统的结构

系统软件主要分为两类，以工控机(IPC)为核心的管理软件，以 PMAC 为核心的运动控制软件，

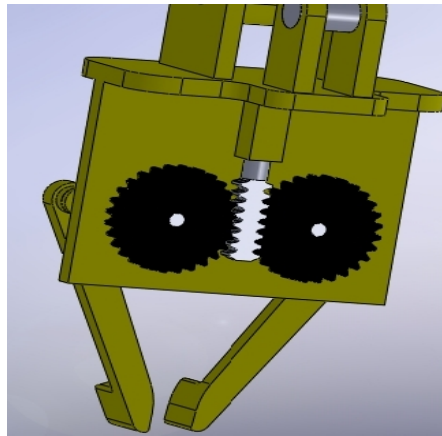


Figure 3. Rack and pinion clamp mechanism
图 3. 齿轮齿条夹持机构

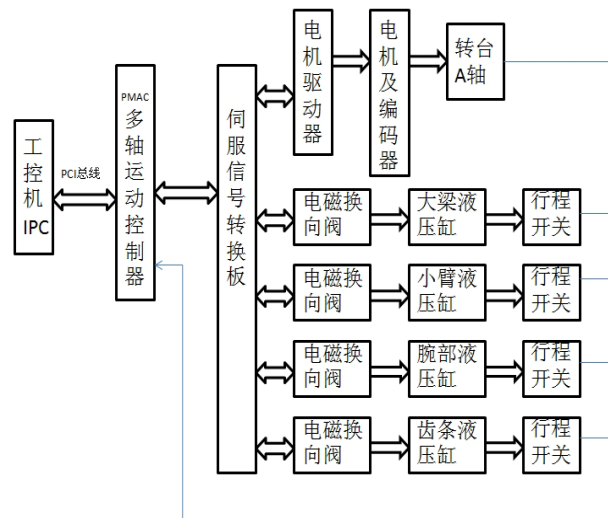


Figure 4. Control system architecture diagram
图 4. 控制系统结构图

构成上位机、下位机分层递阶控制框架。工控机(IPC)负责系统的后台管理，系统参数的初始化设置，上位机、下位机之间的通信，系统状态的监视，人机交互界面的控制。实现了自动控制，手动控制和运动状态实时显示的功能。PMAC 主要负责运动系统的实时控制，包括轨迹控制，速度控制，伺服环的实时更新，安全防护程序。机械手的软件系统的主要功能是在硬件系统的支持下，通过上位机的管理和下位机 PMAC 的实时控制，完成运动控制任务，保证 5 自由度夹持机械手的正常工作。设计的软件系统的结构如图 5 所示。

4.2. 工控机(IPC)软件

5 自由度机械手的工控机软件由 Windows 平台的 VC++编写而成。存储于工控机(IPC)中，由工控机调用 Pcomm32 的函数实现系统初始化，系统状态实时监视，系统通信和手动控制功能。

4.2.1. 系统初始化模块

系统的初始化模块通过调用 Delta 公司提供的动态连接 Pcomm32 中的程序下载函数，直接将存储在 IPC 硬盘中的系统初始化文件下载到 PMAC 中，并对 PMAC 进行初始化，激活下位机程序，也可以直接

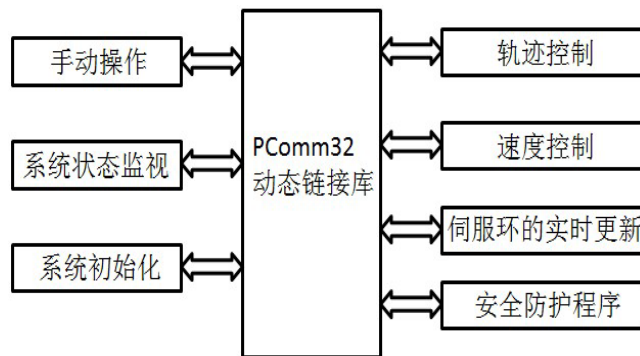


Figure 5. System software architecture

图 5. 系统软件结构

设定 PMAC 中的参数[2]。

4.2.2. 系统的监视模块

实时的采样机械手的各个参量，并且形象的在界面上反映出来，这些参量包括各个液压缸的位置，伸缩速度，压力，电机位置，速度。该监视模块同时还担负着系统通讯总线的任务。PMAC 与上位机 Windows 的通信是利用 PComm32 动态链接库实现的，PComm32 包含了所有与 PMAC 通信的方法，它由 PMAC.dll，PMAC.says，PMAC.vxd.三个文件组成，包含了 250 多个函数[3] [4]。但是常用的并不多，只需掌握以下几个函数，就可以实现大多数的通信功能，如表 1 所示。

4.2.3. 手动控制模块

手动控制模块功能类似于传统数控系统的手动操作面板，以此模块建立了人性化的人机对话界面，用户可以直接通过此模块发送命令到机械手，实现点动，精确定位，复位，暂停运动等功能，其中精确定位是指在坐标系中输入精确的坐标值，使液压缸到达指定位置，同时利用反馈信号来比较，保证定位精度。通过改变 PMAC 的 I 变量来实现对于速度的控制。

手动功能是通过调用 PComm32 中的函数 PmacGetResponseA (DeviceNumber, response, 255, “string”)来实现的，通过改变 string 给 PMAC 发送不同的指令。其中，点动的 string 为 “#n j+” 或 “#n j-”；精确定位的 string 为 “#n 172->L:\$082B” [5]。并基于 VisualC++6.0 开发了控制系统软件，软件界面如图 6 所示。

4.3. PMAC 控制模块

PMAC 执行的运动程序可以通过译码器解译的 G 代码解释程序，M 代码解释程序，T 代码解释程序，也可以通过 PEWIN32 软件编辑。本文设计的机械手是通过 PEWIN32 提供给用户的面向 PMAC 的串行终端接口界面和一个用来编辑 PMAC 程序的文本编辑器来进行程序编辑的。PMAC 的运动控制程序就是通过 PEWIN32 执行软件来完成开发调试的，包括位置控制，速度控制，伺服环更新，安全防护等实时性任务。PMAC 能够支持多达 256 个运动程序，任意坐标系在任何时候都可以执行这样程序中的任一个，首先定义坐标系及轴，一个或者一组为了同步的目的而组织起来的电机构成了 PMAC 中的坐标系，通过轴定义语句为电机分配轴来建立坐标系，其次，根据所需运动来选择适当的运动指令，然后按照 PMAC 语法编写运动程序，下载到 PMAC 内存，最后运行[6]。

5. 结论

本文设计的 5 自由度机械手相对现有的 4 自由度机械手，能够多完成一个工步的螺栓放置任务。新

Table 1. PMAC procedure function chart
表 1. PMAC 程序功能图

函数代码	函数功能
BOOL OpenPmacDevice (DWORD dw De-vice)	为程序使用 PMAC 打开通讯通道
BOOL ClosePmacDevice (DWORD dw De-vice)	在程序运行结束后，此函数关闭所打开的通道
BOOL PmacSetMotor (HWND hwnd, DWORD dw Device)	该函数可以设置 PMAC 与上位机的通讯方式：总线通讯或者串口通讯
Void PmacSendCommandA (DWORD dw Device, PCHAR command)	该函数可以直接发送一条指令到指定的 PMAC， 参数 command 为发送的命令字符串。
BOOL PmacConfigure (HWND hwnd, DWORD dwDevice)	调出配置对话框并修改 PMAC 的参数， 可以设置 PMAC 与上位机的通讯方式

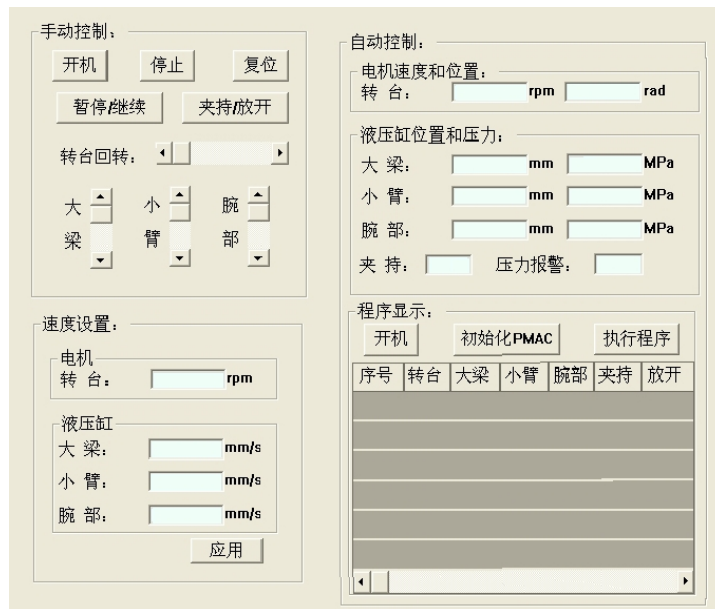


Figure 6. Control system software solution interface
图 6. 控制系统软件解界面

采用的以 PMAC 为核心的控制系统不仅提高了工作效率，而且可以使得多台机械臂联动操作，使得之前的几个工步合并为一个工步。并基于 VsualC++6.0 开发了控制系统软件，使得机械臂的柔性自动化能力增强，可以快速的更改操作命令，适应不同的工作环境，完成不同的操作任务。本机械臂已经成功的应用在了北京工业大学的先进制造技术生产中心，并取得了良好的实用效果。

基金项目

国家科技重大专项(2013ZX04013047)；国家自然科学基金(51275014)。

参考文献 (References)

- [1] 岳秋琴, 陶桂宝, 余华 (2012) 基于 PMAC 的开放式多轴联动数控系统研究及应用. *制造业信息化*, 4, 60-62.
- [2] 范晋伟, 谭福涛, 王志远 (2013) 基于 PMAC 运动控制器的内壁缺陷图像采集系统设计与研究. *机械设计与制造*, 5, 36-38.

- [3] 王军, 杨勇, 罗诗风, 李尊远 (2012) 基于 PMAC 运动控制卡的六自由度运动平台控制系统开发. *机床与液压*, **9**, 77-80.
- [4] 李艳东, 王宗义, 刘涛, 柴晓辉 (2007) 基于 PMAC 的三轴转台的伺服系统设计. *应用科技*, **7**, 50-53.
- [5] 刘钦, 孙志永 (2008) 基于 PMAC 的数控系统故障监控. *机械设计与制造*, **9**, 92-93.
- [6] 卢旭 (2009) 基于 PMAC 的伺服控制系统的开发. *舰船电子对抗*, **2**, 112-114.