

基于嵌入式的六自由度并联机构控制系统设计

许新建,胡自飞,周建瑜,程江涛,谢强

(武汉摩鸣科技有限公司,湖北 武汉 430000)

摘要: 针对采用 PLC 方案控制六自由度并联机构时现场装配走线复杂、整体体积较大等缺点,设计了一种基于嵌入式的六自由度并联机构控制系统。该系统以 STM32F407ZE 与 PCL6045BL 为核心芯片,其运动控制模块可实现电动缸运动指令的生成以及伺服电机编码器和行程开关等传感器的信号采集与处理,并引入 PID 算法来提高控制精度。结果表明,系统运行稳定,控制精度高,装配体积小。

关键词: 嵌入式;六自由度;并联机构;运动控制

中图分类号: TP273

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.200365

中文引用格式: 许新建,胡自飞,周建瑜,等. 基于嵌入式的六自由度并联机构控制系统设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 110-113.

英文引用格式: Xu Xinjian, Hu Zifei, Zhou Jianyu, et al. Design of control system of 6-DOF parallel mechanism based on embedded technology[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(10): 110-113.

Design of control system of 6-DOF parallel mechanism based on embedded technology

Xu Xinjian, Hu Zifei, Zhou Jianyu, Cheng Jiangtao, Xie Qiang

(Wuhan Moming Technology Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: In view of the disadvantages of programmable logic controller(PLC) scheme in controlling six-degree-of-freedom(6-DOF) parallel mechanism, such as complex assembly and large overall volume, an embedded 6-DOF parallel mechanism control system is designed. The system uses STM32F407ZE and PCL6045BL as the core chips. Its motion control module can realize the generation of electric cylinder motion commands, as well as the collection and processing of signals from sensors such as servo motor encoders and stroke switches, and the introduction of proportion integration differentiation(PID) algorithms to improve control accuracy. The results show that the system is stable in operation, high in control accuracy and small in assembly volume.

Key words: embedded; six-degree-of-freedom; parallel mechanism; motion control

0 引言

六自由度并联机构由驱动组、铰链和上下平台组成,在六个驱动组的作用下,可以实现六个自由度的运动^[1]。六自由度并联机构具有承重强、易反解、加速度高和误差小等特点,广泛应用于各种训练模拟器、并联机床以及动感电影座椅等设备上^[2]。

吴上泉提出了一种新型的伺服控制结构,引入 PID 算法^[3]。邓哲等人设计了基于 DSP 的控制系统^[4]。陈润六等人介绍了以 STM32 为控制卡的控制系统^[5-6]。金伟建立了一种带故障保护系统的六自由度平台控制系统^[7]。马光等人设计了六自由度并联平台多轴控制系统^[8]。

本文设计了基于嵌入式的六自由度并联机构控制系统,可减少六自由度并联机构投入使用时的装配体积,提升六自由度并联机构的便携性。

1 六自由度并联机构的基本结构

六自由度并联机构的结构如图 1 所示。它由上平

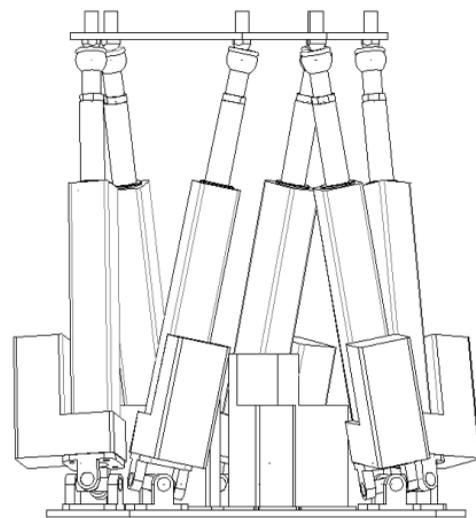


图 1 六自由度并联机构的结构示意图

台、下平台、连接结构、伺服电动缸和伺服驱动组所构

嵌入式技术 Embedded Technology

成。其中,上平台为运动平台,下平台为静止平台,伺服电动缸分别通过球铰和十字联轴器与上、下平台相连接。六自由度并联机构的运动轴数为六个,可设计一个合理的嵌入式控制系统来控制各运动轴,从而控制并联机构的运动。

2 嵌入式控制系统的设计

为了提高嵌入式控制系统的通用性,即嵌入式控制系统能适配不同型号的伺服电机,嵌入式控制系统与伺服电机驱动器之间采用“脉冲+方向”的位置控制方式,利用脉冲信号的频率控制电动缸的速度,利用脉冲信号的个数控制电动缸的位移,利用方向信号控制电动缸的伸缩。基于嵌入式的六自由度并联机构控制系统的整体结构如图2所示。

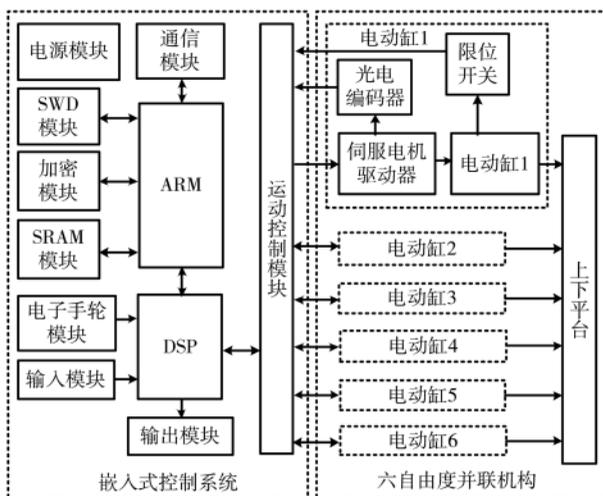


图2 控制系统的整体结构示意图

实际运行中,嵌入式控制系统除了要产生脉冲和方向信号控制电动缸外,还需要频繁地执行运动学正反解和位姿曲线插值等任务,且这些任务的计算量都比较大。故对控制系统各模块做合理化设计是不可避免的。

2.1 主控模块及其外围模块的设计

主控模块包括 ARM(Advanced RISC Machine)处理器和 DSP(Digital Signal Processor)处理器,ARM 处理器负责资源调配,选用 STM32F407ZE 芯片;DSP 处理器负责算法处理,选用 PCL6045BL 芯片,两者之间采用可变静态存储控制器(Flexible Static Memory Controller,FSMC)来进行连接。

为了增加 STM32 芯片运行时的内存,加入一个静态随机存取存储器(Static Random-Access Memory,SRAM)。考虑到设计的安全性,用加密芯片对 ARM 进行加密处理,防止抄板。此外,可通过 SWD(Serial Wire Debug)调试接口与 PC 连接,给系统硬件测试与系统运行程序的仿真调试带来极大方便。而输入模块的设计目的在于检测

外部开关器件的信号;输出模块用于控制外部开关器件的运行。

通过电源模块的恰当设计来提供稳定的电压与功率。输入电源为 24 V 直流电,通过 LM2596S-5.0 芯片转换成 5 V 直流电为高速光耦和信号转换芯片供电,通过 AMS1117-3.3 芯片转换成 3.3 V 直流电为其他电路供电。另外,用于电源指示的 LED 灯与电源模块连接,可以监控电源的工作状态。

2.1.1 通信模块

通信模块包括 CAN 通信模块、RS485 通信模块、以太网通信模块和 RS232 通信模块。其中,以太网物理层芯片选用 LAN8720A,其电路如图 3 所示。

通信模块可以与 PC 进行通信,并通过特定的通信协议,实现对六自由度并联机构的实时控制。

2.1.2 电子手轮模块

电子手轮模块用来驱动各轴的运动,设置手轮脉冲来控制各种运动,便于手动调试。电子手轮输入的是差分信号,必须先利用 AM26LS32 芯片转换为单端信号,然后通过高速光耦 HCPL-2631 芯片与 DSP 处理器隔离。

电子手轮模块包含三个功能子模块:切换轴模块、切换倍率模块、急停模块。电子手轮切换轴模块可以切换运动轴;电子手轮切换倍率模块可以进行倍率切换;电子手轮急停模块可以控制所有电机立即停止,这三个子模块均通过普通光耦与 DSP 处理器进行隔离。

2.2 运动控制模块的设计

运动控制模块主要用于实现电动缸运动指令的生成,供主控模块实时掌控并联机构的运行状态。运动控制模块的结构如图 4 所示。

光电编码器输出的原始信号需进行信号转换,利用伺服电机信号输入模块将差分信号转换为 DSP 处理器可以识别的单端信号(A 信号、B 信号和 Z 信号)后,通过高速光耦与 DSP 处理器隔离,大大提高了信号的抗干扰能力。而伺服电机输出信号模块用来控制伺服电机转动,通过高速光耦与 DSP 处理器隔离,将单端信号转换为差分信号后输出。高速光耦电路图如图 5 所示。考虑到 HCPL-2631 芯片为双通道,用于 A 信号和 B 信号输入,再用一个 HCPL-2631 芯片输入 Z 信号会造成浪费,故 Z 信号用单通道的 6N137 芯片进行输入。

此外,运动控制模块还包括一些可实现各种控制功能的子模块。如用于使伺服电机处于使能状态的伺服使能信号模块;用于相关轴回原点、离开原点和找原点的原点位置输入信号模块;用来判断运动是否完成的定位完成信号模块;用于使相关轴减速或停止的的减速输入信号模块;用来重新设置运动目标位置的目标位置重设模块;用于检查来自电机驱动单元的报警信号的伺服报

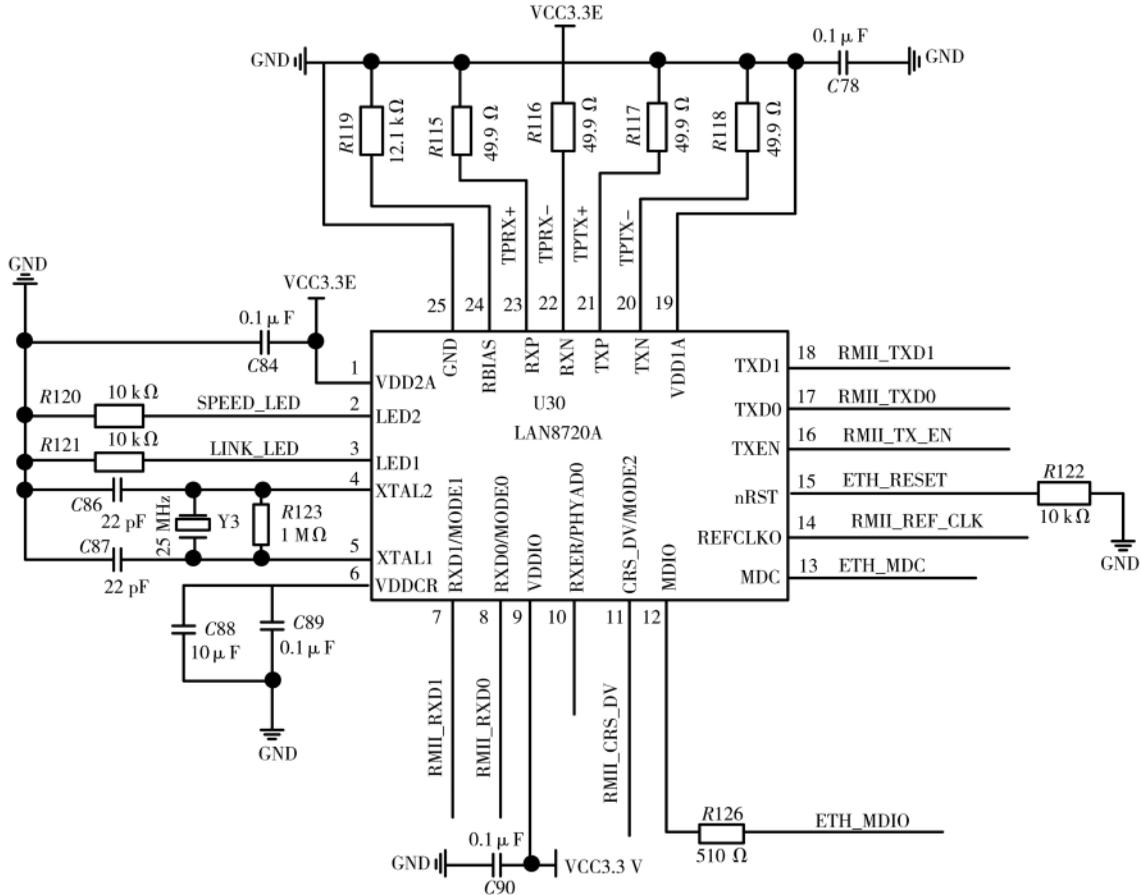


图3 以太网PHY层芯片电路原理图

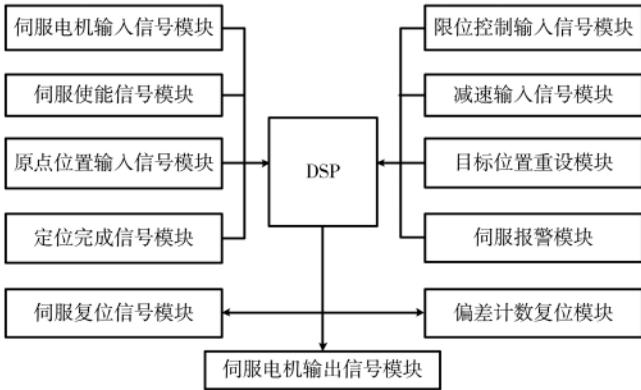


图4 运动控制模块的结构示意图

警模块;用于计数器复位的伺服复位信号模块;用于输出到电机驱动器的偏差计数清零的偏差计数复位模块。这些子模块全部用普通光耦与DSP处理器进行隔离。

2.3 控制系统的运行

系统实际运行时,嵌入式控制系统从PC中获取六自由度并联机构的位姿曲线,并对位姿曲线进行解析转换为运动位姿。为使六自由度并联机构的实际位姿曲线接近设定曲线从而使实际运动更平滑,对位姿变化进行插值运算。同时为保证运动位姿的准确性,嵌入式控制

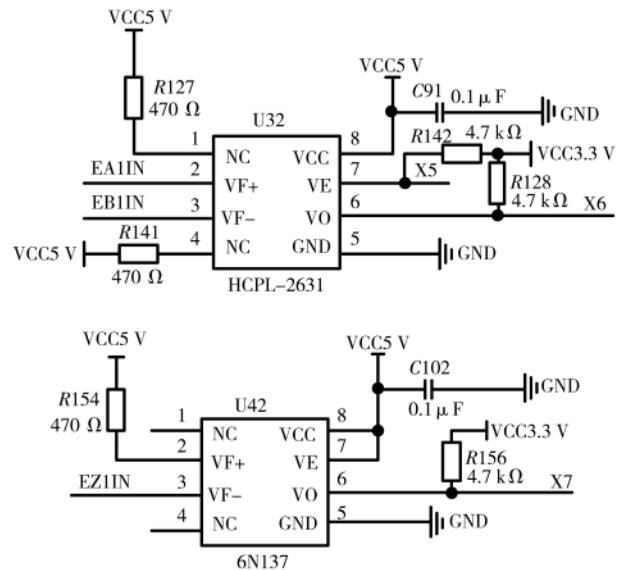


图5 高速光耦电路原理图

系统的位姿与并联机构实际位姿之间采用双闭环的控制机构。

对插值运算产生的目标位姿与电机返回的光电编码经运动学正解后产生的当前位姿进行求差计算,得到运动的位姿控制量。再利用运动学反解算法计算各个电

嵌入式技术 Embedded Technology

动缸的伸缩量,并将每个伺服电机需要进行的运动量发送至运动控制模块中,生成电动缸的运动指令,以控制伺服电机按照既定模式转动,从而实现六自由度并联机构上平台的运动。控制结构如图6所示。

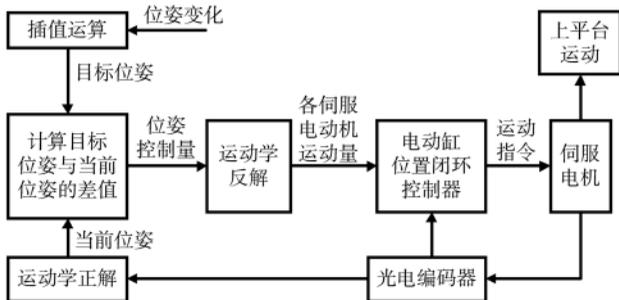


图6 控制结构示意图

嵌入式控制系统可实时调整电动缸的运动控制参数,再根据各个电动缸的控制量与实际检测到的光电编码器信号利用PID算法控制各个伺服电机脉冲的频率大小与脉冲个数,实现六自由度并联机构电动缸位置的精确控制,保证六自由度并联机构运动位姿的准确无误。

3 实验测试

根据前文所述,搭建基于嵌入式的六自由度并联机构实物如图7所示,经测试发现球铰有活动间隙,故将球铰更换为更稳定的十字联轴器结构。



图7 实物图

通过实验测试,得到六自由度并联机构的运动参数如表1所示。

由测试结果可知,六自由度并联机构横移、纵移和升降的位移误差不超过0.2 mm;摇摆、俯仰和扭转的角度误差不超过0.5°。在系统控制其运动的过程中,六自由度并联机构运行稳定,控制精度满足系统设计需求。

表1 运动参数

姿态	位移	加速度	精度
横移	±100 mm	0.2 g	≤0.2 mm
纵移	±100 mm	0.2 g	≤0.2 mm
升降	±60 mm	0.2 g	≤0.2 mm
摇摆	±15°	20°/s ²	≤0.5°
俯仰	±15°	20°/s ²	≤0.5°
扭转	±15°	20°/s ²	≤0.5°

4 结论

本文设计了一种基于嵌入式的六自由度并联机构控制系统,不需要额外的控制设备,减少了六自由度并联机构使用的复杂性,精简了六自由度并联机构使用的体积,同时可实现对六自由度并联机构运动的精确控制。

参考文献

- [1] 高建峰.基于 Stewart 结构的六自由度并联稳定平台技术研究[D].济南:山东大学,2018.
- [2] 杨灏泉,赵克定,吴盛林,等.飞行模拟器六自由度运动系统的关键技术及研究现状[J].系统仿真学报,2002,14(1):84-87.
- [3] 吴上泉.基于 DSP 的电动六自由度运动模拟器位置伺服控制策略[J].电气自动化,2016,38(6):1-4.
- [4] 邓哲,尹涛,王家乐,等.基于 DSP 的 Stewart 平台控制系统研制[J].计算机测量与控制,2018,26(4):97-100.
- [5] 陈润六,王红州,郑小民,等.基于 PC 和控制板卡的 4D 影院动感座椅控制系统的研究[J].装备制造技术,2016,34(6):17-20.
- [6] 许新建,文国军,王玉丹,等.基于 STM32 的牙医综合治疗椅控制系统设计[J].电子技术应用,2017,43(9):50-52.
- [7] 金伟,杨斌.六自由度电动平台控制系统设计研究[J].自动化与仪器仪表,2011,24(6):30-32.
- [8] 马光,周万勇,汪杰,等.六自由度并联平台多轴运动控制系统设计[J].机床与液压,2020,48(5):1-5.

(收稿日期:2020-05-07)

作者简介:

许新建(1992-),男,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式、自动化产品开发及应用。

胡自飞(1993-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:自动控制、机械设计和软件开发等。

周建瑜(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能仪器、信号检测和电路设计与应用。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所