

基于 CAN 总线的多轴位置伺服联动系统 设计与性能分析

王 玮¹, 史伟民¹, 鲁文其^{1,2}, 虞志源¹, 张建亚¹

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江大学电气工程学院, 杭州 310007)

摘 要: 针对国内大部分数控装备多轴联动时采用脉冲或模拟量接口方式存在的一系列问题,提出了一种基于 CANopen 运动控制协议 DSP 402 的多轴联动伺服系统控制方案,阐述了 DSP 402 的通信控制原理和方法。设计了位置联动几种控制模式,包括单轴位置控制,双轴位置联动控制和双轴位置同步控制。以双轴联动伺服系统为对象搭建了测试平台,并进行了位置联动模式下的性能测试和分析。结果显示,双轴控制性能良好,证明了方案的可行性,可以为多轴位置联动的工业场合提供设计参考。

关键词: 多轴; 联动; CANopen; PLC; HMI; 伺服系统; 位置控制模式

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

0 引 言

目前,多轴分布式驱动技术在很多机械设备,尤其是在大型数控系统中,得到了越来越广泛的应用。在 2013 年工业自动化展中,高性能、高品质的数控机床都已普遍采用多轴运动控制系统。其系统控制方式有应用传统的脉冲方式,也有应用新型的现场总线或工业以太网方式。而采用传统脉冲方式设计的数控装备往往会容易引入干扰^[1-2],例如,在拉床控制系统方面,邓雄飞^[3]和鲁文其等^[4]设计了拉床系统主溜板的双轴同步控制策略方案,该方案采用了脉冲接口的方式进行通信,实验过程中发现这种设计对脉冲方式的走线要求极高,稍有不妥就会引入干扰脉冲,而目前该系统性能也已经达到了脉冲方式的设计极限,如果需要开发更高性能的伺服拉床,比如螺旋型伺服拉床,就必须引入现场总线或工业以太网技术。在伺服压力机方面,鲁文其等^[5-6]分析了压力机在冲压加工过程负载具有的瞬时重载特

性,解决了利用双轴联动控制的特性来减小单一伺服电机工作带来的瞬时峰值电流过大的问题,但是又带来了使用脉冲方式控制双轴,易引入干扰等问题。

目前, EtherCAT、PowerLink 等实时工业以太网技术,在响应时间等方面优势明显,但其成本较高。因此,选用 CAN 总线方式具有可靠性高、技术成熟、开发方便等优点,并与普通现场总线相比,波特率更高,响应速度更快,在经济型的场合得到广泛应用。例如,文献^[7]在瓦楞纸码垛机场合,方案全套采用 CANopen 总线控制,解决了采用脉冲控制方式带来的接线众多,丢脉冲导致定位精度低,抗干扰能力差等缺点,同时还具备极高性价比。

针对以上研究的不足,本文采用新型的现场总线方式来代替传统的脉冲形式,以此设计了基于 CAN 总线的多轴联动伺服系统控制方案,并搭建了测试平台,通过试验验证方案的可能性。

收稿日期: 2014-04-26

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51307151);浙江省自然科学基金一般项目(LY13E070005);浙江省博士后科研择优资助项目(BSH1402065)

作者简介: 王 玮(1988-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事网络分布式控制系统方面的研究。

通信作者: 鲁文其, E-mail: luwenqi@zstu.edu.cn

1 多轴联动系统方案设计

1.1 方案总体设计

基于 CAN 总线的多轴联动伺服系统控制方案,主要由主控制器、人机交互界面、多组伺服轴等 3 部分组成,其系统结构如图 1 所示。主站系统由主控制器和人机交互界面组成,从站系统为多个伺服轴。其中,主控制器与人机交互界面之间的通讯采用 CAN 总线,记为 CAN 总线 1;主控制器与伺服轴之间通讯连接为 CAN 总线 2,伺服轴之间采用并行控制方式。所有伺服电机的编码器反馈实时位置信息通过 CAN 总线 2 发送回给主控制器,实现半闭环控制。若外部人员需要监视实时反馈位置值,主控制器也可通过 CAN 总线 1 把该值发送给人机交互界面,在其面板上显示。

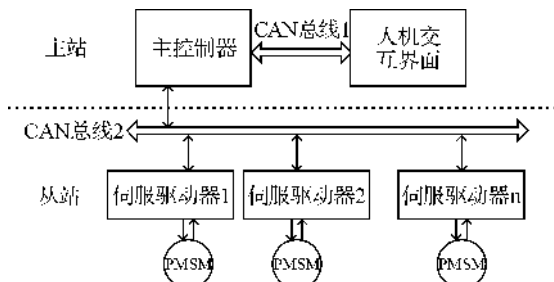


图1 联动系统方案总体结构

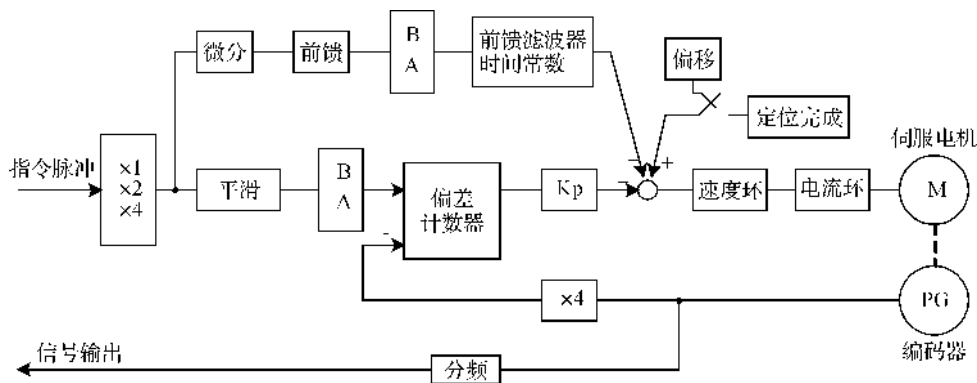


图2 位置控制流程

2 多轴联动控制系统设计

2.1 基于 DSP 402 的并行控制原理

当伺服轴处于位置控制模式(如图 3 所示)时,图 3 中的主控制器会向每个电机轴发送参数,根据 DSP 402 协议定义,发送对对应象字典表中值,即固定模式 PDO。各从站控制单元接收到 PDO 控制帧后,因为其之间完全没有耦合,所以不会对其他控制器造成干扰,而电机发出反馈信号,都通过 DSP 402 中实时反馈位置值(6064h),返回到上位机控制器

1.2 CANopen 简介

在工业界,CAN 总线的应用层主要有 2 种,分别是 DeviceNet 和 CANopen。本方案采用 CANopen 协议,其协议最核心的部分是对象字典的定义。图 1 中,CAN 总线 1 包含了基本通信所需的协议 CIA DS 301,而 CAN 总线 2 还包含了运动控制子协议 CIA DSP 402。其中,CANopen 402 包含了 6 种控制模式,分别是轨迹位置模式,轨迹速度模式,位置插补模式,回零模式,轨迹转矩模式以及速度模式。模式之间转换通过控制字(6040h)来选择,而状态字(6041h)表示各个模式下伺服电机运行状态。

1.3 DSP 402 控制原理介绍

当主控制器收到人机交互界面发出位置控制模式命令后,开始对伺服驱动器发送位置指令。传统伺服系统三环控制程序结构和运动控制参数结构,加入轨迹规划函数模块,并在程序中增加分支语句^[8],位置控制流程如图 2 所示。比如在轨迹位置模式下,伺服驱动器接收到上位机指令脉冲值(607 Ah),内部会判断出当前电机运行所处轨迹位置模式,进入该轨迹规划函数分支,作内部增量计算,会不断刷新脉冲给定值(6062h),当电机旋转后,编码器会实时反馈位置值(6064h),分频输回给偏差计数器,并且也把该对象字典中的值发送回上位机。

中,不会影响另外电机的运动状态。

2.2 双轴位置联动系统控制方案

人机交互界面选择触摸式液晶显示屏,其中包

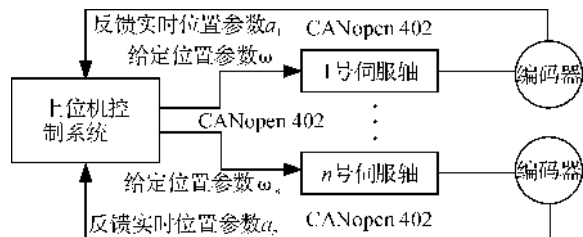


图3 多轴并行控制原理示意

括了人机交互界面图形设计与 CANopen 通讯设计,并采用简单易懂的模块化配置形式,设计组态软件可与部分主控制程序所对应,满足控制要求。

PLC 使用简单方便,故障率低,对现场环境要求不高,可作为主控制器。在目前的很多自控系统中,也常常选用 PLC 作为现场级的控制设备,用于数据采集和控制^[9]。

因为多个从轴与一个从轴在控制算法上是一样的^[10],所以本文以双轴为例进行联动系统控制思路的设计与分析。该方案采用 CAN 总线方式代替脉冲方式控制。具体控制要求为在位置模式下,同步位置需小于 1 个脉冲。具体方案如图 4 所示。

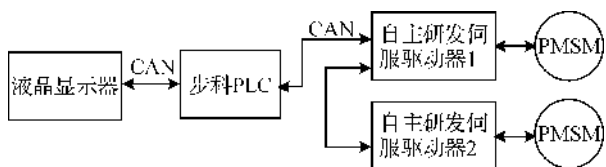


图 4 双轴位置联动系统控制方案

如图 4 所示,在液晶显示器上输入控制指令,通过 CAN 总线传输给 PLC,然后,PLC 发送 CAN 指令给伺服驱动器 1 与伺服驱动器 2。驱动器接收到指令后,控制伺服电机旋转。对于具体实现方法,在 HMI 中编写组态软件,在 PLC 编写逻辑程序以及通信连接,并在 PLC 上编写了 2 种单轴测试方法和多种双轴联动模式的运动案例。联动系统控制框图如图 5 所示。

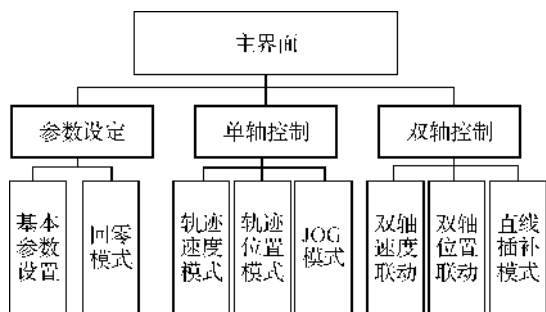


图 5 双轴位置联动系统控制模式原理

图 5 所示,在多种测试方法中,选取位置模式下的一种测试方案来说明具体测试方法,即双轴位置交替运行,该方法的流程如图 6 所示。

图 6 所示,上位机发送运行指令,PLC 接收以后,发送 CAN 指令。1 号轴接到主控制器运行指令,运行一定位置,到达后驱动器反馈状态信息,经过 PLC 逻辑处理,发送 2 号轴运行指令,如此交替往复。具体例程流程为:1 号轴接到主控制运行指令,运行一定位置,到达后驱动器反馈状态信息,经过 PLC 逻辑处理,发送 2 号轴运行指令,如此交替

往复。其中,电机轴位置到达信息通讯是通过 DSP 402 协议中轨迹位置模式状态字(6041h)来实现,而同步帧编码器实时反馈位置值(6064h)作为电机低速时 PLC 逻辑预判断,当负载扰动和参数变化使得跟踪误差变化时,两轴联动性能仍然保持良好。

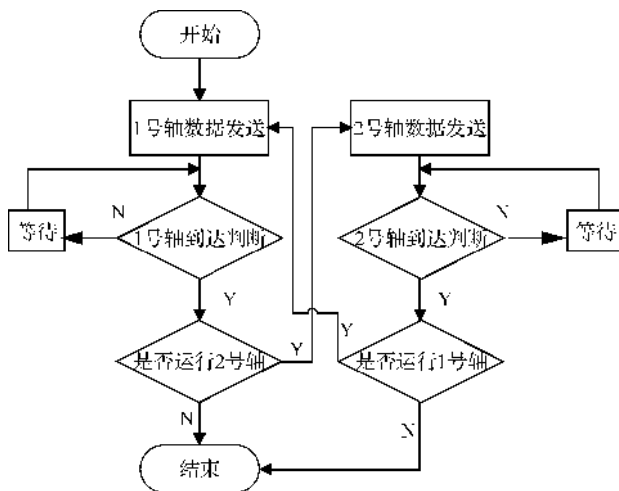


图 6 位置联动模式下双轴交替运行流程

3 双轴位置伺服联动系统测试与性能分析

3.1 测试平台搭建

在本测试中,用步科 PLC 作为主控制器,包括了 2 路 CAN 总线口,作为 CAN 总线主站。人机交互界面采用步科 7 寸电阻式液晶屏,作为上位机显示屏,在现场总线中,可以看作 CAN 总线从站。下位机控制设备包括:1 号伺服驱动器的型号为 PRONET-E-15A,作为 CAN 总线从站 1;配套电机为 1.5 kW,额定扭矩为 7.16 N·m,最大转速为 2 000 r/min;编码器为增量省线式编码器,其分辨率为 2 500 P/R。2 号伺服驱动器的型号为 PRONET-08AMA,作为 CAN 总线从站 2;配套电机为 750 W,额定扭矩为 2.39 N·m,最大转速为 3 000 r/min;编码器为 17 位串行编码器,其分辨率为 131 072 P/R,实现双轴伺服联动。总体实物连接如图 7 所示。



图 7 实物连接图

3.2 多通信方式下响应时间比较

CAN 通信中数据帧为监听载波形式发送,各个

数据帧通过优先级高低,连续不断发送,如图 8 所示。

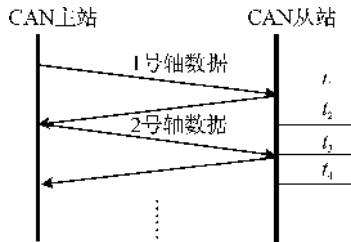


图 8 CAN 总线延迟

以发送 64 bit 数据为例,比较脉冲接口方式(脉冲频率为 65 kbit/s),RS485 总线方式(波特率为 9 600 bit/s),CAN 总线方式(波特率为 1Mbit/s),EtherCAT 工业以太网方式(波特率为 100 Mbit/s),各类的响应时间如表 1 所示。

表 1 各控制方式响应时间

	脉冲接口方式	485 总线方式	CAN 总线方式	EtherCAT 工业以太网方式
响应时间	约为 2 ms	20 ms	254 us	80 ns

由表 1 看出,CAN 总线方式速度要快于脉冲接口方式和 RS485 总线方式,而且总线方式有 CRC 校验位,可以提高数据传输准确性。而 64bit 数据为 CAN 总线最大一帧数据,也就是说最小响应时间为 254 us。可以看出,两轴之间延迟为微秒级,在该系统中可以忽略传输延迟。所以如果用 CAN 总线方式代替脉冲方式,能够大大缩小响应时间,提高控制精度。对于双轴系统来说,毫秒级的响应时间能有良好的控制效果。而对基于工业以太网 EtherCAT 方式来说,系统响应时间会缩短,特别是对于一次发送数据量大,控制从站节点多的场合,响应速度优势会尤为明显。但基于工业以太网方式的伺服系统硬件成本较高;对于在经济型的场合,选用 CAN 总线方式具有可靠性高,技术成熟,开发方便等优点,与普通现场总线相比,波特率更高,响应速度更快。

3.3 位置联动模式测试与优化

在测试平台搭建及通信配置完成以后,首先选取单轴模式下位置控制模式,对双轴伺服驱动器分别进行速度环和位置环 PID 参数的设定,使伺服系统运行在稳定的状态。当系统运行柔和时,再调整速度环增益,使得电机跟随误差减小到 0。然后,选取了双轴位置联动模式,进行实验测试,即一轴到达目标位置,另一轴开始运行。在人机交互界面选择相对运行位置、运动轨迹模式等开关项按钮,并输入

运行脉冲数,最大运行速度以及加速度减速度等具体数据值。经过对 DSP 402 中目标位置窗口(6067h)与位置窗口到达时间(6068h)两参数的修改,可以使两轴在位置控制模式下,精确完成交替运动等工序,具体如图 8 所示。

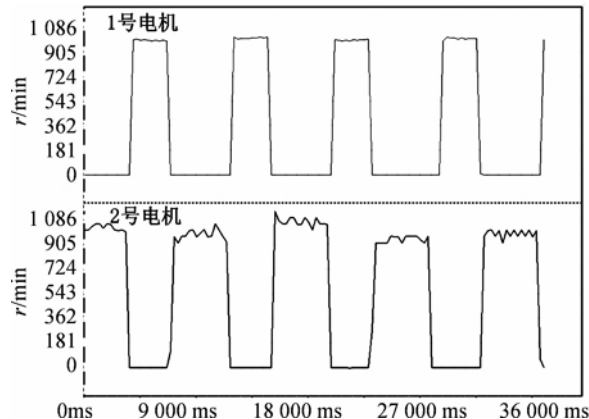


图 8 交替运行时双轴电机的位置曲线测试波形

图 8 中,2 组电机最大运行速度都为 1 000 r/min,1 号电机运行 50 000 脉冲,即 5 圈。而 2 号电机运行 1 000 000 脉冲,即 7.62 圈。主控制器实时接收 1、2 号电机码盘反馈位置值,当 1 台电机到达时,立刻运行另一台电机,验证了基于 CAN 总线的多轴联动伺服系统控制方案的有效性。

4 结 语

本文设计了一种基于 CAN 总线的多轴联动伺服系统控制方案,分析了方案的理论可行性,阐述了基于 DSP402 的并行原理及其控制思路;设计了位置联动多种控制模式,包括单轴位置控制、双轴位置联动控制和双轴位置同步控制;搭建了双轴联动伺服系统测试平台,进行了位置控制模式下的性能测试与分析。试验结果显示,双轴控制性能良好,可以满足基于 CAN 总线的多轴伺服位置联动系统的控制要求,能应用于响应时间要求高而成本低廉的工业场合。

参考文献:

- [1] 张柱银,陈思义,明兴祖. 数控原理与数控机床[M]. 北京:化学工业出版社,2003:2-10.
- [2] 潘月斗,许镇琳,杨堂勇,等. 一种基于 CAN 总线的机床数控系统接口设计研究[J]. 中国机械工程,2007,18(2):178-182.
- [3] 邓雄飞,胡旭东,鲁文其,等. 基于永磁交流伺服同步驱动的拉床控制系统[J]. 机电工程,2014,31(1):32-37.

- [4] 鲁文其, 胡旭东, 史伟民, 等. 基于扰动补偿算法的拉床主溜板双伺服同步驱动控制策略[J]. 机械工程学报, 2013, 49(21): 31-37.
- [5] 鲁文其, 胡育文, 金 海, 等. 永磁同步电机重载驱动的曲柄伺服压力机动力系统参数[J]. 电工技术学报, 2014, 29(1): 91-97.
- [6] 鲁文其, 胡育文, 梁骄雁. 伺服压力机用永磁交流伺服系统驱动特性[J]. 电工技术学报, 2011, 26(4): 26-31, 39.
- [7] 步 科. Kinco 基于 CANopen 总线的瓦楞纸堆码机解决方案[EB/OL]. [2014-04-26]. <http://www.kinco.cn/html/cn/rx/yinshua/201307/242194.html>.
- [8] 刘思捷. CANopen 协议在伺服系统中的软件实现与植入研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011: 21-22.
- [9] 张士磊, 赵新巢. 基于 PLC 和组态软件的变频器监控系统设计[J]. 工矿自动化, 2010, 3(3): 101-103.
- [10] 卢建强. 基于 CAN 总线的智能双轴交流伺服控制系统[D]. 上海: 东华大学, 2005: 70-71.

Design and Performance Analysis of Multi-axis Position Servo Linkage System Based on CAN Bus

WANG Wei¹, SHI Wei-min¹, LU Wen-q^{1,2}, YU Zhi-yuan¹, ZHANG Jian-ya¹

(1. School of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China)

Abstract: To solve a range of problems that exist when pulse or analog quantity interface mode is adopted in multi-axis linkage of most numerical control equipment in China, a multi-axis linkage servo system control strategy based on CANopen movement control protocol—DSP 402 is put forward, and the principles and methods of communication control of DSP 402 are stated. Several control modes for position linkage are designed, comprising single-axis position control, dual-axis position linkage control and dual-axis position synchronous control. A test platform is built with dual-axis linkage servo system as object, and performance test and analysis are made in the mode of position linkage. Results show that the performance of dual-axis control is good, which proves the feasibility of the scheme, and can be reference for industrial occasions of multi-axis position linkage.

Key words: multi-axis; linkage; CANopen; PLC; HMI; servo system; position control mode

(责任编辑: 康 锋)