

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.021

基于DSP的二轴转台伺服控制系统设计*

郑艳文,王彤宇*,林琳,黄郁馨,范根新
(长春理工大学 机电工程学院,吉林 长春 130022)

摘要: 针对目前网络通信中网线的布置繁冗、维护困难等问题,将二轴转台伺服控制技术应用于网络通信中,进行了二轴转台伺服控制系统硬件及软件的设计。采用“位置+速度”双闭环控制方式,以“TMS320F2812+CPLD”为控制核心进行了系统伺服控制卡的设计,通过选用高集成电机驱动芯片SA57进行了功率驱动卡的设计;通过采用超前-滞后控制算法,利用C和C++语言进行了控制系统的软件程序设计;建立了转台俯仰轴伺服控制系统的数学模型,采用先进的超前-滞后控制器进行了系统的速度环和位置环的校正,在Matlab的Simulink模块中,对系统的速度环及位置环的数学模型进行了数字仿真与分析。研究表明,所设计的二轴转台伺服控制系统的响应时间为25 ms,位置跟踪精度在 $\pm 1^\circ$ 范围内,其跟踪性能完全满足了技术要求。

关键词: 二轴转台伺服控制; TMS3202812; 复杂可编程逻辑器件; 超前-滞后控制器; DSP

中图分类号: TP275; TH39 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)02-0210-04

Two-axis turn table servo control system based on DSP

ZHENG Yan-wen, WANG Tong-yu, LIN Lin, HUANG Yu-xin, FAN Gen-xin
(School of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology,
Changchun 130022, China)

Abstract: Aiming at the problems of complex arrangements and difficult maintenance of network cable in the present network communication, two-axis turntable servo control technology was applied in network communication. The hardware and software of the servo control system were designed. The double closed loop control method of "position and speed" was adopted and the servo control card of the system was designed with "TMS320F2812 and CPLD" as the core. Highly integrated motor driving chip SA57 was used to design the power driving card. The lead-lag control algorithm was adopted, C and C++ were applied to design software program for the control system. The mathematical model of the servo control system of turntable pitching axis was established. Advanced lead-lag controller was used to compensate the speed and position loop of the system. The system mathematical model of the two loops was numerically simulated and analyzed in the Simulink module of Matlab. The research results indicate that the response time of the designed two-axis turntable servo control system is 25 ms, and the position tracking precision is within $\pm 1^\circ$. The tracking performance of the system completely meets the technical requirements.

Key words: two-axis turn table servo control; TMS320F2812; complex programmable logic device(CPLD); lead-lag controller ;DSP

0 引 言

目前,国内的网络通信主要以网线进行连接,繁冗的网线布置及复杂的维护检修给实际通信带来了诸多不便,为改善这种情况,现本研究将二轴转台伺

服控制技术应用于网络通信中来实现快速、精准的网络信息传输。

目标跟踪系统是伺服转台的核心部分,其性能直接影响到整台设备的跟踪性能。目前,国内外对转台控制系统的研究都集中在提高其响应速度和控制精

收稿日期: 2012-10-18

基金项目: 吉林省重大科技攻关资助项目(2009107423)

作者简介: 郑艳文(1987-),男,湖北汉川人,主要从事转台机电控制系统和机械结构设计方面的研究. E-mail: zhengyanwe@126.com

通信联系人: 王彤宇,男,教授,博士生导师. E-mail: wangtongyu@cust.edu.cn

度等方面。KIM J Y等人^[1]建立了伺服控制系统的“位置+速度+电流环”三闭环控制数学模型,并利用多目标及离散变量优化方法对其进行了最优化设计,该模型主要用于多轴联动系统的控制;ELLIOTT S J等人^[2]研究出了一种“混合型高阶超前-滞后控制”算法,适用于超快速响应的控制系统;黄令龙等人^[3]采用前馈PID控制算法,使控制系统的响应时间在50 ms之内;孟浩然等人^[4]利用DSP构建了系统硬件平台,其设计的系统完全可替代基于PC-104工业总线的控制板卡构成的伺服控制系统,节省了大量系统资源,但是跟踪精度不高。

本研究利用TMS320F2812芯片和CPLD器件构建系统硬件平台,采用“速度+位置”双闭环控制方式建立转台俯仰轴控制系统的数学模型;采用先进的超前-滞后控制算法进行双环的校正,并用Matlab软件对系统的控制信号进行仿真分析。

1 二轴跟踪转台的系统原理

转台伺服控制系统主要由机械系统、控制器、驱动装置、执行器件、检测装置、显示装置等组成^[5]。为达到转台的跟踪性能,本研究需要性能良好的上述器件,通过先进的控制算法,完成对转台的实时控制。转台的主要性能指标如表1所示。

表1 转台的主要性能指标

| 轴参数 | 转动范围 /(°) | 角速度范围 /(°·s ⁻¹) | 最大角加速度 /(°·s ⁻²) | 跟踪精度 /(") |
|-----|--------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 方位轴 | ±3 | 0~45 | 62.5 | 3 |
| 俯仰轴 | ±3 | 0~45 | 62.5 | 3 |

二轴转台控制器通过接收并处理CCD相机采集的实时数据信号及旋转变压器的反馈信号,控制电机的运动状态,来调整两轴的转动角度,以实现转台的跟踪性能。由于转台两轴的控制原理和运动方式基本相同,本研究主要对俯仰轴控制系统的设计进行详细的介绍。

2 俯仰轴控制系统的硬件设计

对于俯仰轴控制系统而言,其本质上是一个高精度、快响应的位置和速度的伺服控制系统。对于电机的控制方式而言,实质上也是对位置和速度的闭环控制。

2.1 控制回路的设计

俯仰轴控制系统是以速度环为内环、位置环为外环的双闭环控制回路^[6]。因为系统的带宽较低,速度环和位置环的校正器均采用超前-滞后控制器,这样既加大了低频段的增益,保证了稳态精度,又不影响

系统响应的快速性^[7],保证了系统的跟踪性能。其控制回路图如图1所示。

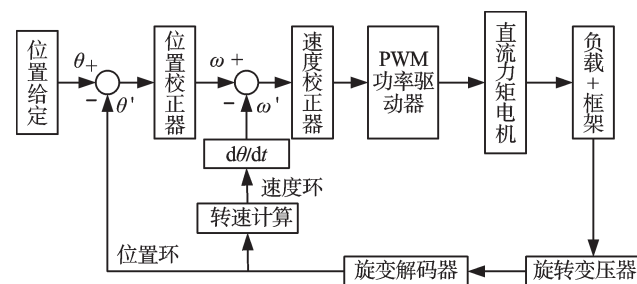


图1 俯仰轴控制系统的控制回路图

(1) 速度环。由旋转变压器和数字解码器组成的反馈元件经过微分引入速度负反馈,通过速度校正器进行校正调节。这种设计改善了控制系统的动态性能,增强了系统的刚性,减少了系统的振荡次数,补偿了系统的非线性,抑制了外界的干扰,改善了电机的动态特性,增宽了调速范围,加快了系统的响应速度。

(2) 位置环。由旋转变压器构成系统的主回路的负反馈,通过位置控制器进行校正调节。这种设计改善了系统的动态稳定性,达到了控制系统所要求的性能指标,为高精度、快响应、稳定性好的控制系统提供了保障。

2.2 伺服控制卡的设计

转台的俯仰轴主要是以高性能的DSP芯片TMS320F2812和CPLD器件EPM9560为主控部分来控制整个系统。F2812通过CPLD访问外部接口,避免了访问时的相互干扰,减少了信号传递的延时,提高了资源的利用率。系统采用全双工方式进行通信,通过上位机对转台运动状况的实时显示,保证了转台在监测下安全、稳定地运行^[8]。俯仰轴伺服控制框图如图2所示。

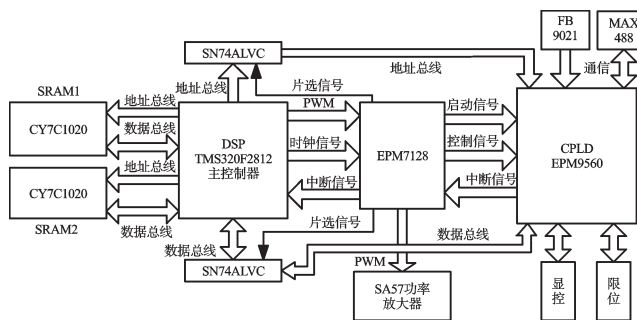


图2 俯仰轴伺服控制框图

2.3 功率驱动卡的设计

控制系统中的执行元件是电动机,控制器通过事件管理器产生PWM波来实现对电机的控制。由于控制器输出的控制信号较弱,不能直接驱动电机运转,需要对信号进行隔离和放大。该设计中采用光耦隔离芯片6N135来实现控制板与电机之间的隔离,防止强电流烧毁控制器件。本研究利用直流电动机专用集成功率放大器SA57芯片来驱动电机,有效地减少

了信号传递的延时,使控制信号更加精确、稳定,同时减小了功率驱动板上的尺寸和布线密度,使设计更加经济实效^[9]。

3 二轴跟踪转台控制器软件设计

控制器的软件设计主要由上位机通信软件和下位机控制软件组成^[10]。上位机软件主要实现对转台数据的实时监测,并提供友好的人机界面;下位机软件主要以 TMS320F2812 芯片为主控器,利用 CPLD 器件实现对外围器件的控制。本研究通过超前-滞后控制算法来实现“位置+速度”双闭环的控制,使转台控制系统的响应速度和跟踪精度达到所给定的技术指标。

下位机软件程序主要运用 C 和 C++ 语言进行设计,采用先进的超前-滞后控制校正算法,满足了转台的控制需求。程序主要由中断子程序构成,系统的模块化更强,便于调试、移植和维护。

控制系统的主程序流程图如图 3 所示。主程序采用中断子程序进行控制,通过查询中断标志来进行程序的循环调用,保证了系统安全有序地运行,同时也节省了系统的资源。系统的每个中断子程序的运行速率可达微秒级,在很大程度上提高了控制系统的效率^[11]。

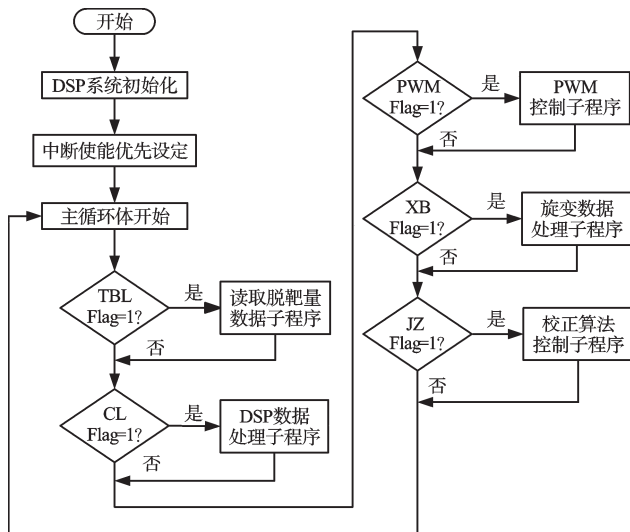


图 3 主程序流程图

4 仿真结果与分析

为便于对转台控制系统的性能进行分析,本研究建立了俯仰轴的速度环和位置环控制模型,并对该模型进行了仿真调试和分析。笔者通过对速度和位置环进行超前滞后校正的设计,保证了系统的动态性能和稳态跟踪精度。

4.1 速度环的控制模型

本研究根据所选力矩电机的参数及俯仰轴所受转矩的大小等条件,得出俯仰轴电机的电压-角速度

的传递函数为:

$$G(s) = \frac{1/34.3}{0.13s + 1} \tag{1}$$

为满足控制系统响应速度的要求,本研究对速度环进行了超前-滞后校正,其传递函数为:

$$G_v(s) = \frac{9\,000(0.1s + 1)}{1.5s + 1} \tag{2}$$

本研究在 Matlab 的 Simulink 模块中建立速度环的阶跃响应模型图,如图 4 所示。

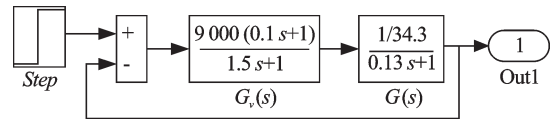


图 4 阶跃响应模型图

设置阶跃信号为 1 °/s,对模型进行仿真,选取 0~100 ms 内的仿真结果,速度环阶跃响应图如图 5 所示。可见,速度环响应时间为 25 ms,上升时间为 8 ms,峰值时间为 10 ms,过渡时间为 22 ms,超调量为 3.85%,基本上没有稳态误差,满足了设计要求。

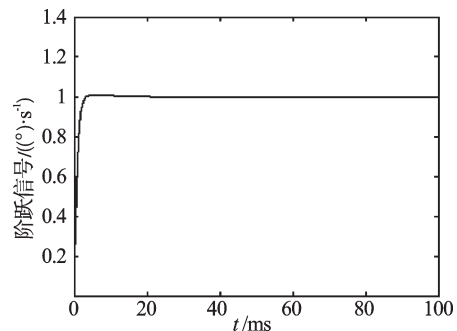


图 5 速度环阶跃响应图

4.2 位置环的控制模型

在对速度环进行校正设计后,本研究需要对系统的位置环进行设计。同理可得俯仰轴电机的电压-角度传递函数为:

$$G_1(s) = \frac{1/34.3}{s(0.13s + 1)} \tag{3}$$

位置环校正器也采用超前-滞后控制器,其传递函数为:

$$G_p(s) = \frac{250(0.1s + 1)}{2.5s + 1} \tag{4}$$

本研究建立了系统位置环的正弦信号响应模型图,如图 6 所示。

设置输入信号为正弦信号,其幅值为 1°,频率为 2 Hz,初始相位为 0°,仿真时间为 1 s,同时对原始正弦信号进行反相输出,便于分析和比较系统的跟踪性能。经过仿真可得系统的正弦信号跟踪曲线,正弦信号跟踪曲线图如图 7 所示。

本研究利用 Matlab 软件对正弦信号的反相输出曲

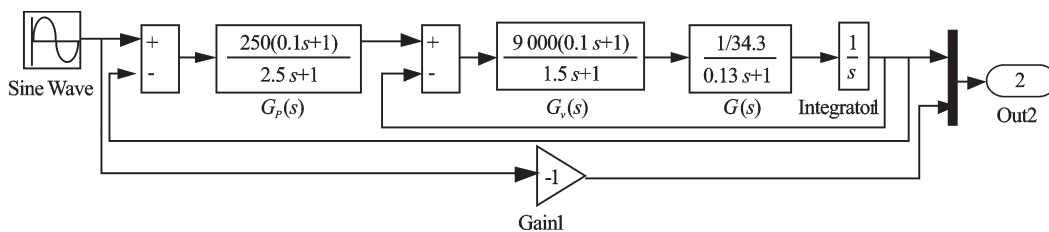


图6 正弦信号响应模型图

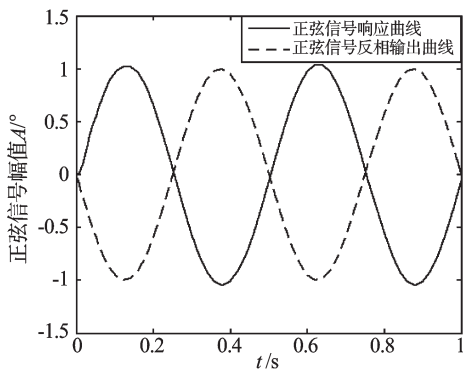


图7 正弦信号跟踪曲线图

线和校正后的响应曲线进行数据处理,可得系统的位置伺服误差在 $\pm 1''$ 范围内,位置精度完全满足性能要求。

笔者通过对转台俯仰轴控制系统模型的建立及“速度+位置”双闭环的校正设计,由模型的数字仿真分析可知,系统的响应时间为 25 ms,位置伺服误差在 $\pm 1''$ 内,系统的动态性和稳态性能良好,完全满足系统的技术要求。

5 结束语

本研究介绍了二轴转台伺服控制系统的硬件及软件设计,通过利用 F2812 的高速运算能力和 CPLD 器件的独立外扩作用,提高了系统的运行效率。同时,本研究建立了转台俯仰轴控制系统的数学模型,并对其进行了仿真分析。

研究表明,系统的响应时间为 25 ms,位置伺服误差在 $\pm 1''$ 范围内,满足设计要求。同时,该设计方案具有可行性,为以后转台联调工作节省了大量资源。

参考文献 (References):

- [1] KIM J Y, KIM I S, LEE H N, et al. A Study on the Feedback System of Ultra Precision Positioning Apparatus using Laser Interferometer[C]//IEEE International Symposium on Industrial Electronic. Pusan, KOREA: [s.n.], 2001: 596-601.
- [2] ELLIOTT S J, SUTTON T J. Performance of feed forward and feedback systems for active control[J]. **IEEE Transactions on Speech and Audio Processing**, 1996, 4 (3): 214-223.
- [3] 黄令龙,郭阳宽,蒋培军,等. 高精度伺服转台控制系统的设计[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2004, 44 (8): 1054-1056.
- [4] 孟浩然,王建立,李洪文. 基于 TMS320F2812 的直流力矩电机伺服系统[J]. 电子测量技术, 2007, 30(3): 63-65.
- [5] 刘胜,彭侠夫,叶瑰响. 现代伺服系统设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2001.
- [6] 张利军,吴天柱,赵百轶. 基于 DSP 转台伺服系统设计与实现[J]. 自动化技术与应用, 2009(11): 1-2.
- [7] 杨海峰,李奇,姬伟. 高精度伺服稳定跟踪平台数字控制器研制[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2004, 34 (Sup): 96-100.
- [8] 宋莹,高雪松,季晓勇. CPLD 在 DSP 系统中的应用设计[J]. 电子技术应用, 2004(8): 65-69.
- [9] 孙立志. PWM 与数字化电动机控制技术应用[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.
- [10] 吴天柱. 基于 DSP 转台伺服控制系统的设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学自动化学院, 2010.
- [11] 苏奎峰,吕强,常天庆,等. TMS320X281XDSP 原理及 C 程序开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.

[编辑:李辉]

(上接第 174 页)

- [8] 吕冰海. 陶瓷球双转盘研磨方式及成球机理的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学光电工程学院, 2007: 1-15.
- [9] 吕冰海,袁巨龙,戴勇. 氮化硅陶瓷球研磨过程中磨损形式的研究[J]. 摩擦学学报, 2008, 28(5): 416-421.
- [10] 吕冰海,袁巨龙. 陶瓷球高效研磨技术的研究[J]. 金刚石和磨料磨具工程, 2008, 166(4): 166-170.
- [11] KUROBE T, KAKUTA H, ONODA M. Spin angle control lapping of balls (1st report)-theoretical analysis of lapping mechanism[J]. **Journal of the Japan Society for Preci-**

- sion Engineering**, 1996, 62(12): 1773-1777.
- [12] 聂兰芳,赵学军. 钢球加工成圆条件及其影响因素探讨[J]. 轴承, 2001(1): 16-18.
- [13] 夏其表,王洁. 基于虚拟仪器的宋青密球研磨加工的振动信号检测[J]. 轻工机械, 2011, 29(2): 79-82.
- [14] 郑家锦,吴明明,周兆忠. 高精度陶瓷球的研磨加工技术研究[J]. 现代机械, 2006(2): 44-46.

[编辑:张翔]