

基于 MSP430 单片机经纬仪操纵杆智能一体化设计

王丽秋, 李雪雷, 贾庆莲

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 为了提高经纬仪机械操纵杆的控制距离, 保障控制准确度, 减轻经纬仪电控总体的任务并节约宝贵的空间, 提出了基于 MSP430 单片机的机械操纵杆智能一体化数据输出的设计方法; 该设计将操纵杆位置模拟输出信号经过实时采样、信号调整、模数转换等电路转变为数字信号, 再经过 RS485 串行驱动以差分的形式发送, 从而将控制距离由几米提高到了几百米; 并由于缩短了信号采集的输入通道减少了输入干扰, 提高了采样准确度, 同时电路体积小, 占用空间少, 目前已成功应用于实践中。

关键词: 经纬仪; 操纵杆; MSP430F149; A/D

Intelligent and Integrated Design of Theodolite Operating Stick Based on MSP430

Wang Liqiu, Li Xuelei, Jia Qinglian

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: To improve the communication range of the stick of the theodolite, assure the accuracy, relieve the workload of electric control system of the theodolite and save the limit space, an intelligent and integral design method based on MSP430 was discussed, which transfer the analog output signal of stick to digital signal through signal sampling, adjusting and analog-to-digital conversion, then send out after being droved by RS485. Therefore, the signal's communication distance was increased from several meters to several hundred meters. Due to decreasing input disturb, obtain better accuracy. At the same time, and circuit use little space. Now it is successfully applied in practice.

Key words: theodolite; operating stick; MSP430F149; A/D

0 引言

操纵杆广泛应用于各种大型远程操控系统的控制台上, 以实现远程控制电机按指定方向和速度运转, 从而实现对相关设备或仪器的远程运动控制, 如在经纬仪控制台上用来控制外场测量等, 此外, 操纵杆的控制精度直接影响到了经纬仪的测量精度^[1-2]。

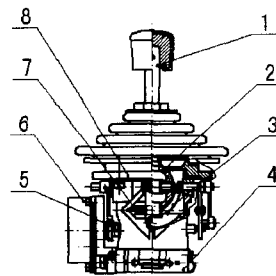
通常的应用中, 操纵杆机械部分和数据采集部分是分离的, 操纵杆独立安装在控制台上, 数据采集部分和系统主控制板集中安装于主控机箱中, 通过操纵杆模拟信号输出线来连接, 这种方法由于输出为模拟信号, 所以控制距离短, 易受干扰, 控制精度低, 而且增加了系统总电控部分的工作量。智能一体化操纵杆通过采用功能强、体积小的 MSP430 单片机, 集信号转换和发送电路于一体, 经串行端口向外发送数字信号, 因此具有体积小、精度高、传输距离远、应用简单的优点。

1 操纵杆结构与原理

操纵杆安装在经纬仪控制台上, 由机械操纵手柄、摆杆、摆轴、支架、扇形齿轮、复位弹簧、定位机构以及精密电位器等组成, 结构如图 1 所示。

工作时人手推动机械操纵手柄 1, 通过摆轴 2 和摆杆 3 组成的传动机构运动带动齿轮 5, 从而带动与之啮合的阻值为 r_{\max} 精密位置传感电位器 6 转动, 精密电位器由直流电压 u_0 供电, 当电阻发生变化时, 其输出电压发生相应变化, 两者成线性关系, 如图 2 所示。

S 为手柄机械位置, u 为精密电位器输出电压, 当手柄受



1. 手柄; 2. 摆轴; 3. 摆杆; 4. 底座; 5. 齿轮;
6. 电位器; 7. 复位弹簧; 8. 限位壳体

图 1 操纵杆机械结构图

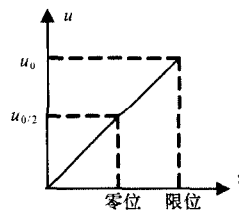


图 2 手柄运动与电压输出关系

力向前推动时, 电阻变小, 输出电压增大, 当手柄向后运动, 电阻变大, 输出电压减小, 当手柄不受力时处于机械零位, 电阻为 $r_{\max}/2$, 输出为 $u_0/2$ 。限位壳体 8 用于手柄限位, 复位弹簧 7 用于手柄返回零位, 支架 4 起固定支撑作用。

2 智能一体化设计

一体化智能设计方法, 将机械手柄输出的模拟信号在系统地转变成数字信号, 以差分的方式输出, 使之具备远距离传输能力。为了实现这一目的, 首先要求控制电路体积小, 一体化

收稿日期: 2007-12-05; 修回日期: 2008-01-21。

作者简介: 王丽秋(1973-), 女, 长春人, 工学硕士, 主要从事测控技术研究、经纬仪研制等方向的研究。

后不会占用更多的控制台空间, 同时还应具有模拟信号输入通道、采样/保持、A/D 转换、数据处理和串口驱动等功能。经过对比, 选用 TI 公司的 MSP430F149 单片机为核心, 配合稳压电路、放大器、串行驱动等电路, 外加电磁屏蔽外壳, 固定于操纵杆底部并与之一体而得以实现。

2.1 MSP430F149 单片机^[3-4]简介

TI 公司的 MSP430F149 单片机是一种混合信号控制器, 内部为 16 位 RISC 结构, 具有丰富的寻址方式、简洁的内核指令, 运行速度快, 能实现 150ns 指令周期, 同时, 内部集成有丰富的片内外设: 60KB 电可擦写 FLASH 存储器、看门狗、定时器、12 位 ADC、USART 串口、丰富的 I/O 口等。片内 JTAG 调试接口令其开发方式方便快捷, 特别是, 它的功耗低、体积小, 64 管脚的 QFP 封装的面积仅为 1cm, 因此适合选用。

3 电路设计^[5-6]

经纬仪操纵手柄输出的位置信号是模拟信号, 分别为 V_{in_x} (俯仰方向) 和 V_{in_y} (方位方向), 如图 3 所示, 控制电路由电压基准元件、信号调整电路、晶体振荡器、复位电路、MSP430F149 和串口驱动组成。

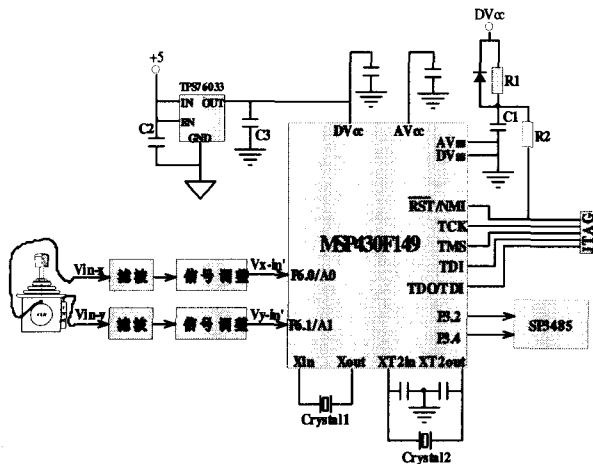


图 3 电路原理

(1) 电压基准电路: 一般系统供电为 +5V, 而 MSP430F149 工作电压范围在 1.8V~3.6V 之间。采用 TI 公司的低功耗、50mA 低降压 (LDO) 稳压器 TPS76033, 其输入电压 V_{in} 在 3.5V~16V 之间, 选择 $C_2 = 1\mu\text{F}$, $C_3 = 2.2\mu\text{F}$, 当使能端 EN 有效 (0.3V~ V_{in}) 时, 输出电压 V_{out} 稳定在 3.3V。

(2) 时钟电路: 系统时钟由外部晶体 Crystall1 和 Crystall2 组成, Crystall1 为 32K 低速晶体振荡器, 两个电容内置在 MSP430F149 中, 产生内部主时钟 MCLK, 用于 CPU 和系统; Crystall2 为 3.6864M 高速晶体振荡器, 产生时钟信号 XT2CLK, 用做内部 SMCLK 时钟, 供定时器等外围模块。

(3) 滤波电路: 采用 RC 滤波电路, 用于过滤输入信号在传输和采集过程中产生的干扰信号。

(4) 信号调整电路: MSP430F149 的工作电压是 3.3V, 其内核 ADC12 的测量范围为 0V~2.5V, 精密位置传感电位器由 5V 供电, 其输出电压在 0V~+5V 范围内波动, 因此在

进入 ADC12 前需要对其进行调整。调整电路由两级放大器组成, 如图 4 所示, 经放大器 A1 降压后输出为负电压信号, 再经 A2 反向, 输出信号调整为 0V~+2.5V, 送入 MSP430F149 模拟信号输入端口 P6.0/A0 和 P6.1/A1。

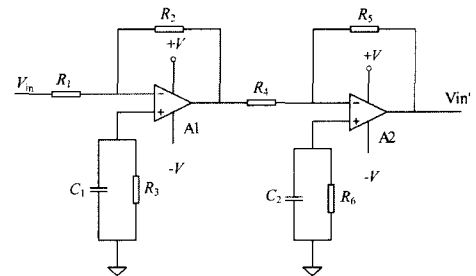


图 4 信号调整电路

(5) 模数转换: 利用 MSP430F149 内部 ADC12 模块实现模数转换。ADC12 由多个功能模块组成, 包括模拟多路器、采样/保持电路、内部参考电压发生器、采样和转换时序电路、转换结果专用的缓存等, ADC12 内核如图 5 所示。

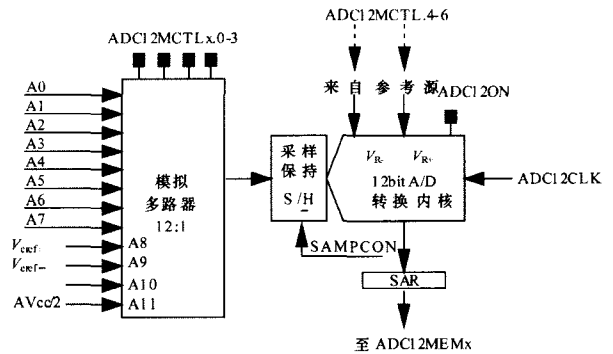


图 5 ADC12 电路图

ADC12 模数转换内核能够实现 12 位精度转换, 转换结果为: $N_{\text{ADC12}} = (2^{12} - 1) \times \frac{V_{in'} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}$ ^[7]

式中, N_{ADC12} 表示转换结果; $V_{in'}$ 表示调整后的输入模拟电压; V_{R+} 表示正参考电压; V_{R-} 表示负参考电压。

参考电压通过转换存储器控制寄存器 ADC12MCTL_x 的 Sref 位设置。当 Sref=1 时, $V_{R+} = 2.5\text{V}$, $V_{R-} = 0\text{V}$, 因此转换结果为:

$$N_{\text{ADC12}} = 4095 \times \frac{V'_{in} - 0}{2.5 - 0} = 1638 \times V_{in'}$$

转换结果存入 ADC12MEM_x。根据信号调整电路可知, 输入信号 $V_{in} = 2 \times V_{in'}$, 因此, 转换结果 $N_{\text{ADC12}} = 0\text{xFFF}$ 时表示满幅输出 $V_{in} = u_0$ 。

(6) RS485 接口: 转换结果从串行模块 (USART) 输出, 经过 SP3485 芯片驱动, 将串行数据变为差分信号。使用双绞线连接, 实现远距离传输。

(7) 复位电路: 试验表明, 选择 $R_1 = 68\text{k}\Omega$, $R_2 = 200\ \Omega$, $C_1 = 50\text{pF}$, 系统能稳定可靠工作。

(8) JTAG 接口: MSP430 通过一台 PC 机和 JTAG 调试器, 为用户提供一个方便的在线调试、系统仿真和程序下载的开发手段。

4 软件设计

系统的时钟分配、定时控制、看门狗设置、A/D 数据控制采集、数据的存储与计算以及串行输出等工作由软件部分来完成, 软件流程框图如图 6 所示。

系统对输入量进行定时采集和定时发送, 打开 CPU 中断和定时器中断后, 设置初值并启动定时器 TimerA, 定时时间到, CPU 响应 TimerA 的中断请求, 在中断服务程序中, 对两个输入通道进行多次采样, 采样结果自动存入连续的内存空间, 经过数学计算, 对采样数据进行数字滤波, 并将结果从串口 (USART) 发送。

多点采样和数字滤波^[8]。为剔除模拟量在传送的过程中受到干扰而发生幅值畸变, 对数据进行多次采样, 再经过软件数字滤波, 以提高测量精度。采取算数平均值算法, 平滑数据曲线, 滤出干扰影响, 得到测量有效值为:

$$N_{ADC} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k n_i$$

式中, k 为采样次数, n_i 为第 i 次采样结果。

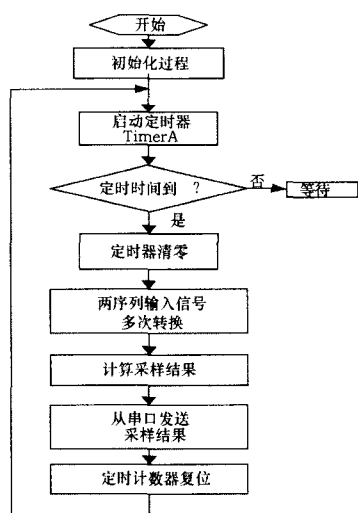


图 6 软件流程图

核心程序代码:

```
#include "msp430x14x.h"
//main program
MAIN ORG 0D000h
RESET
mov #0A00h,SP
CALL #Init_Sys
CALL #DELAY
EINT
LOOP
JMP LOOP
//Initialize MSP430 system
Init_Sys
StopWDT //Stop watchdog
SetupBC// OPEN XT2; MCLK=DCOCLK; SMCLK = XT2
SetupOsc// Clear OSC fault flag
SetupAD
bis.b #BIT1+BIT2,&P6SEL//Enable A1/A2;
mov #SHT0_8+MSC+ADC12ON+REFON+REF2_5V;
```

```
&ADC12CTL0//Vref=2.5V;
mov #CSTARTADD_1+SHP+CONSEQ_1,
&ADC12CTL1;
mov.b #SREF_1+INCH_1,ADC12MCTL1
//A1 goes to MEM1; Vr+=Vref+,Vr+=Vss;
mov.b #EOS+SREF_1+INCH_2,ADC12MCTL2;
SetupUART// initialize UART;
SetupTimer_A// initialize TimerA;
ret
//AD trans program
TRANS clr R5
TRANS_0
bis #ENC,&ADC12CTL0//Enable versions;
bis #ADC12SC,&ADC12CTL0//Start conversions;
TRANS_1
bit #BIT2,&ADC12IFG//wait all trans end;
jz TRANS_1
mov &ADC12MEM1, A1result (R5)//Move
results mov &ADC12MEM2,A2result(R5)//
bic #ENC+ADC12SC,&ADC12CTL0
incd R5; Increment results table pointer
cmp.w #0032,R5//TRANS 16 time
jeq TRANS_2
jmp TRANS_0
TRANS_2
bic #ENC+ADC12SC,&ADC12CTL0//stop trans
clr
ret
```

5 零位漂移的处理

当操纵杆处于机械零位不动时, 被控制电机没有动作。尽管在操纵杆数据输入和采样过程中采取了滤波、信号调整、多点采样和电磁屏蔽等措施, 但由于长期使用后机械磨损带来的机械位置偏移和电路窜扰等原因带来的机械零位采样值漂移是不可避免的, 为了避免这种漂移会带来的电机误动作, 可以采取人为判断排除的方法, 即根据电机的最小控制精度, 确定允许零点漂移范围, 当零位采样值在漂移范围内时, 强制输出值恒定。

6 结论

经过一体化设计, 将操控手柄的机械部分与数据采集和发送电路集成在一起, 采用 MSP430F149 芯片, 通过内部 ADC12 模块对操纵手柄模拟输出进行多次采样和数据处理, 其控制电路简单可靠, 采样精度高, 采样数据经串口发送提高了传输控制距离。在实际设计中, 采样精度 $< 0.9\%$, 控制距离由几米提高至几百米, 尺寸仅为 $70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 15\text{mm}$, 目前已成功应用于系列经纬仪控制台上。

参考文献:

- [1] 李艳平, 李岩, 郭立红. 对经纬仪静态精度检测中星校技术误差源的分析 [M]. 光学精密工程, 2004, 12 (z2): 79-83.
- [2] 高策, 乔彦峰. 光电经纬仪测量误差的实时修正 [J]. 光学精密工程, 2007, 15 (6): 846-851.

(下转第 1271 页)

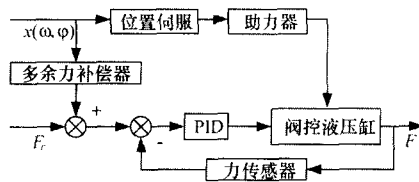


图 3 多余力补偿方案

助力器。多余力补偿器根据 2.2 节辨识得到的幅值比和相移非线性插值函数计算得到所需的多余力补偿指令, 叠加到气动载荷指令, 从而达到消除多余力的目的。假设位移运动指令为 $x = x_a \sin(\omega t + \varphi_1)$, 则经过多余力补偿器后得到的多余力补偿指令为:

$$F_c = x_a A(\omega) \sin(\omega t + \varphi_1 + \varphi(\omega))$$

4 试验结果

整套被动加载试验系统包括工控机两台, 控制机柜一台, 加载试验台一台 (包括加载缸、被加载助力器、位置伺服系统、台架及固定支架), 油源一台, 其它测试仪器仪表若干。试验条件为: 加载油源油温 $< 50^\circ$, 助力器油源根据耐久试验内容加热到相应的温度, 环境温度 $< 30^\circ$, 油源压力为 15MPa。

助力器运动指令为: $x = 3 \sin(2\pi \times 2t)$, 加载频率为 25.3Hz。未加入多余力补偿器前的试验结果如图 4 所示。

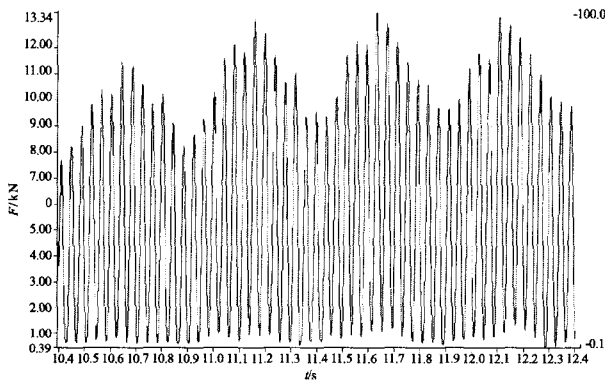


图 4 未补偿多余力时的试验曲线

由图 4 可见, 助力器主动运动产生的多余力很大, 严重影响了系统的加载精度。加入多余力补偿器后的试验结果如图 5 所示。

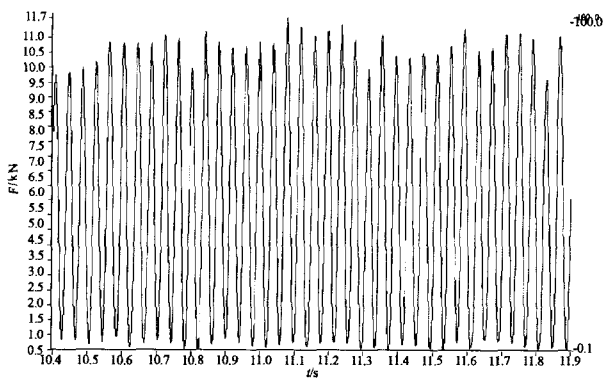


图 5 补偿多余力后的试验曲线

由图 5 可见, 本文所设计的多余力补偿器有效地消除了多

余力, 具有较高的加载精度。

助力器运动指令为: $F = 5 \sin(2\pi \times 2t)$, 系统加载频率为 53.6Hz, 试验结果如图 6 所示。

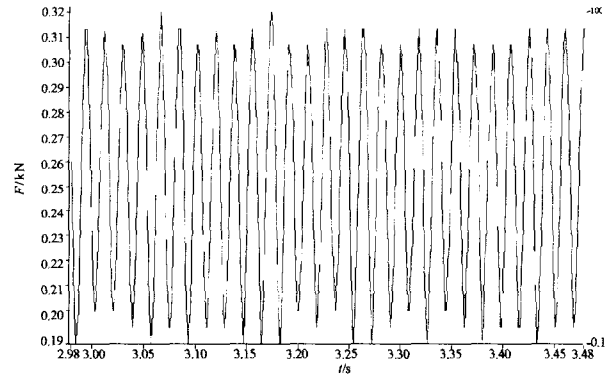


图 6 加载频率为 53.6Hz 时的试验曲线

5 结论

针对直升机旋翼助力器被动加载中的高频载荷模拟, 本文设计了动态加载控制系统, 采用上下位机式分布式计算机控制系统结构, 解决了高频率载荷模拟的实时控制问题, 其中上下位机之间的通信采用 RS485 通信协议。同时提出了一种更具普遍性的互相关频响辨识算法, 在此基础上设计了多余力补偿方案, 有效地消除了多余力对加载精度的影响。试验结果表明本文所设计的动态加载装置和控制策略能够实现助力器气动载荷的准确模拟。

参考文献:

- [1] 焦宗夏, 华清, 王晓东, 等. 负载模拟器的评价指标体系 [J]. 机械工程学报, 2002, 38 (11): 26-30.
- [2] 翟传润, 赵克定. 基于 CMAC 的电液伺服飞行模拟器复合控制 [J]. 机床与液压, 1999, (6): 15-16.
- [3] 张毅刚. 采用数字相关法测量相位差 [J]. 计量学报, 2000, 7: 216-220.
- [4] 吴俊清. 相位差的数字化测量研究 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2005, 13 (1): 99-104.
- [5] 吴俊清. 基于虚拟仪器的相位差测量研究 [J]. 北京理工大学学报, 2005, 13 (5): 435-438.

(上接第 1268 页)

- [3] 叶伟昌, 谢家瀛, 林岗. 机械工程及自动化简明设计手册 (上册) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [5] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术机系统设计实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [6] 孙传友, 孙晓斌, 汉泽西, 等. 测控系统原理与设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [7] 孙传友, 孙晓斌, 张一. 感测技术与系统设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 马宏, 王金波. 误差理论与仪器精度 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2007.