

基于 DSP 的光纤陀螺寻北仪数据采集单元

陈晓璧^① 蒋庆仙 马小辉 王 华

【摘 要】 在光纤陀螺寻北仪中,数据采集单元的性能是决定系统性能的重要因素。本文研制了基于 DSP 的数据采集单元,主要完成光纤陀螺数字信号的接收、将加速度计组输出的两路模拟信号转换为数字信号并采集,以及完成与外部设备的通讯和寻北结果的显示;选用 TMS320LF2407 作为系统的核心 CPU,采用 16 位高精度模数转换器 AD7705 完成两路加速度计模拟信号的采集;最后给出了数据采集单元的软硬件实现方案。实验表明,该数据采集单元结构简单、工作稳定、实时性好。

【关键词】 寻北仪;数据采集单元;DSP;A/D 转换

【分类号】 U666.12

Data Collection Unit based on DSP for FOG North Seeker

Chen Xiaobi Jiang Qingxian Ma Xiaohui Wang Hua

Abstract Data collection unit is an important factor that determines the performance of FOG north seeker. The developed data collection unit based on DSP mainly undertakes tasks as follows: receiving of FOG digital signal, converting the analog signal from dual-axis accelerometers into digital signal and collection of the digital signal, and communicating with external equipments and displaying the north seeking result. TMS320LF2407 is selected as CPU of the unit and a 16-bit high precision AD7705 is used for data collection of the dual-axis accelerometers. The hardware and software implementation schemes of the data collection unit are presented. Experiments have shown that the data collection unit with simple structure works steadily.

Key words north seeker; data collection unit; DSP; A/D converting

1 引 言

基于 Sagnac 效应的光纤陀螺 (FOG) 是一种新型的角速率传感器,具有耐冲击、灵敏度高、寿命长、功耗低和集成可靠等优点,在机动载体和军事领域有广泛的应用^[1,2]。在捷联式光纤陀螺寻北仪中,由于惯性器件直接固联在载体上,受到的动态冲击比平台式系统更强,要求惯性器件的动态测量范围更宽;而且寻北仪工作时间短,对实时性要求很强。因此,数据采集单元的性能是决定系统性能的重要因素^[3-5]。

光纤陀螺寻北仪采用单光纤陀螺和双轴加速度计组合技术方案,寻北仪直接与载体固连。利用光纤陀螺测量地球自转角速率的水平分量来获得载体的北向信息,利用加速度计测量固定陀螺的基座的姿态角,对光纤陀螺的输出值进行补偿。通过二位置法测量来消除光纤陀螺的常值漂移和加速度计偏值的影响,经过解算得到陀螺敏感轴与真北方向的夹角,从而得到载体的某一固定轴与真北方向的夹角^[1,2]。寻北仪数据采集单元的软硬件设计以 DSP 为核心,硬件部分主要完成对光纤陀螺输出的数字信号进行采集、将加速度计

① 西安测绘研究所工程师

组输出的两路模拟信号转换为数字信号并采集,以及完成与外部设备的通讯和寻北结果的显示。软件部分主要完成对光纤陀螺和加速度计的信号采集过程的控制并对采样信号进行数字滤波,以便于寻北解算程序使用。实验结果表明设计的数据采集单元满足了系统寻北的精度要求,并且能够满足一般场合的应用要求。

2 数据采集单元的功能与组成

数据采集单元主要完成光纤陀螺输出的数字信号的接收、将加速度计组输出的两路模拟信号转换为数字信号并采集,以及完成与外部设备的通讯和寻北结果的显示。由光纤陀螺信号采集电路、加速度计信号采集电路和键盘液晶接口电路及相应的软件组成,其中加速度计信号采集电路包括前置放大滤波电路、精密限幅电路、信号调理电路和 A/D 转换与采集电路。

双轴石英挠性加速度计的两路输出为微弱的电流信号,为了便于后续电路处理,需要进行 I/V 转换把电流信号转换成电压信号。加速度计的标度因数 $I_g = 1 \pm 0.2 \text{ mA/g}$,匹配电阻为 50Ω 。设计的测角范围为 $\pm 15^\circ$,则加速度计输出的电压幅值为 $V = 1 \times 50 \times 10^{-3} \times \sin 15^\circ = 12.94 \times 10^{-3} \text{ V}$ 。

为了检测加速度计信号的微小变化,需要对信号进行放大。对于微弱信号检测来说,关键措施之一是尽量减小测量过程中引入的观测噪声,而前置放大器则是引入噪声的主要部件之一。低噪声放大器设计的关键是低噪声半导体器件的选择、低噪声电子线路和其工作状态的优化设计,以及减少放大器外来干扰的技术措施^[7,8]。I/V 转换后的电压信号接入精密滤波放大电路,实现低通滤波。滤波后的电压信号还必须经过限幅和调理环节转换成与 AD 采集芯片输入兼容的电压信号才能接入 AD 的信号输入端^[6,9]。

3 数据采集单元的硬件电路设计

3.1 光纤陀螺信号采集

由于内部集成了信号处理电路,光纤陀螺按照标准的 RS-232C 串口方式输出角速率值,因此,使用 DSP 的 SCI 口直接接收光纤陀螺的输出值即可。

3.2 加速度计信号采集

3.2.1 前置放大滤波电路

经过 I/V 转换后的电压信号仍然十分微弱,可采用适于微弱信号放大的斩波稳零运算放大器放大电压信号^[6,9]。前置放大滤波电路如图 1 所示:

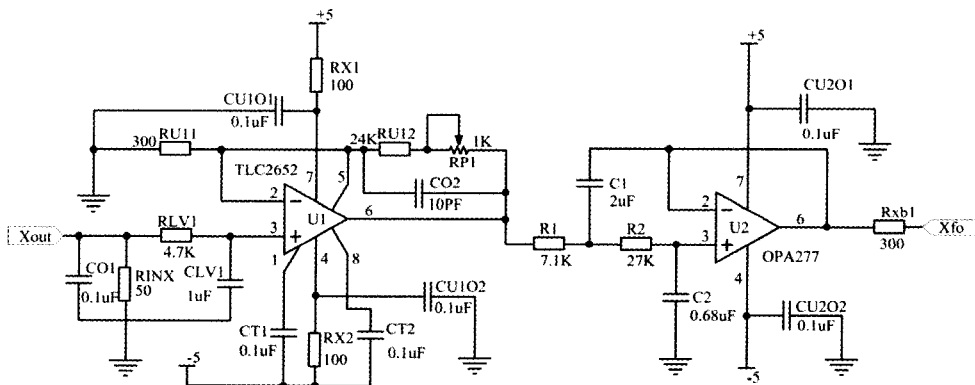


图 1 前置放大滤波电路

图中 X_{out} 为加速度计输出的电流信号,电阻 R_{INX} 为高精度采样电阻, X_{out} 经过 I/V 转换后变成与倾角相对应的电压信号。 R_{LV1} 和 $CLV1$ 组成输入滤波电路,主要用来滤除高频噪声。运

放 $U1$ 及其阻容部件组成前置放大电路。为了避免放大电路的分流对采样电路的影响,采用高精度斩波稳零运算放大器 $TLC2652$ 组成输入阻抗大的同相放大器。经过前置放大后的信号中混入

了斩波频率的噪声,使用高精度运放 OPA277 组成的二阶压控有源低通滤波器滤除信号中的高频成份,得到了稳定的输出信号 Xfo。

3.2.2 精密限幅电路

精密限幅电路如图 2 所示。精密限幅电路的上、下限电压分别由稳压管 DZ1、DZ2 经过电位器 ZR2、ZR3 分压后得到。当信号 Xfo 的电压大于上限电压时,二极管 DU31 导通,运放 U3 构成同相跟随器,信号 Xfo 的电压被限制在上限电压;当信号 Xfo 的电压小于下限电压时,二极管 DU32 导通,运放 U4 构成同相跟随器,信号 Xfo 的电压被限制在下限电压。在其它状态时,限幅电路不工作。为了适应 A/D 转换的需要,所设定的电压上限为 +1.25V,电压下限为 -1.25V^[6,9]。

3.2.3 信号调理电路

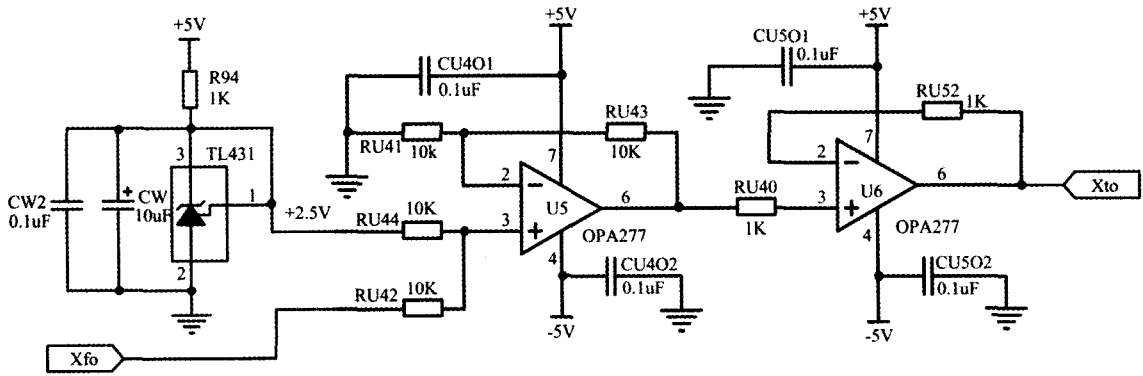


图 3 信号调理电路

基准电压芯片 TL431 所组成的电路为 A/D 转换芯片的基准输入端、模拟输入通道的负端和调理电路提供标准的 +2.5V 参考电压。由运放 U5 构成的同相加法电路作为信号的调理电路,把 -1.25V ~ +1.25V 之间的信号 Xfo 加上 +2.5V 基准电压后变为 +1.25V ~ +3.75V 之间的信号 Xto。

3.2.4 A/D 转换与采集

选用美国 AD 公司的 16 位串行 A/D 转换芯片 AD7705 来完成 A/D 转换^[11]。选取 AD7705 的参数设置为:输出数据更新速率 20Hz;系统增

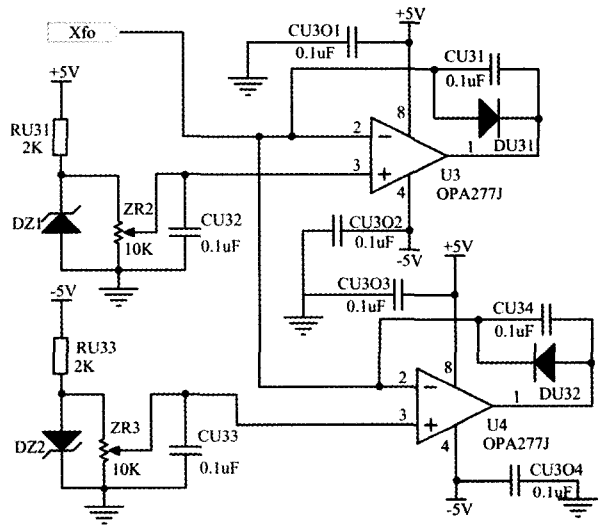


图 2 精密限幅电路

由于 A/D 转换芯片的模拟通道输入的信号为单极性的差分信号,信号 Xfo 必须调理成单极性信号后方能接入 A/D 转换芯片^[10]。信号调理电路如图 3 所示。

益 2;主时钟频率 fCLK = 2.4576MHz。

AD7705 工作时,模拟输入通道正端的电压输入范围是由可编程增益放大器(PGA)的增益倍数、基准电压、电源电压、模拟输入通道负端的参考电压、模拟通道的输入模式共同确定的。本系统中 AD7705 为单极性差分输入、非缓冲工作方式,增益倍数为 2。为了简化电路设计,基准电压和参考电压都为 +2.5V,模拟输入通道正端的输入电压范围为 +1.25V ~ +3.75V。A/D 转换电路如图 4 所示。

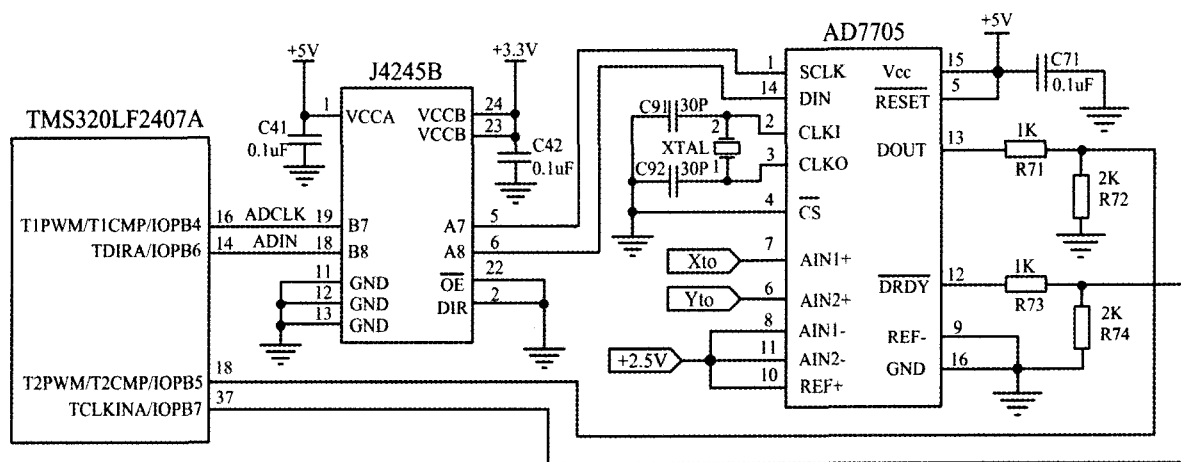


图 4 A/D 转换电路

为了实现对两路加速度计信号同步采集,且从满足性能要求、降低成本以及减小 PCB 板尺寸等方面考虑,对两个通道的模拟信号采用交替采样、分时转换的方法。利用 DSP 的数字 I/O 和 AD7705 之间实现四线制串口通讯。DSP 的 IOPB4 和 IOPB6 引脚分别作为串行时钟和命令端经过 J4245B 电平转换后接入到 AD7705 的 SCLK 和 DIN 引脚。模拟输入通道的负端和基准电压输入的正端接入 +2.5V 精密电压。AD7705 的 DOUT 和 DRDY 引脚经过电阻分压后分别与 DSP 的 IOPB5 和 IOPB7 引脚相连。通过查询 DRDY 的状态,读取 AD7705 的数据存储器,获取转换的结果^[6]。

3.3 键盘液晶接口电路

由于系统的计算和控制功能较多,为了节省 DSP 的资源,按键和显示都设计为静态方式。显示时只要向显示缓存发送显示内容,而不用考虑保持和刷新的问题。在系统需要按键操作时,才进行按键的识别。选用专用的键盘芯片 ZLG7289B 作为键盘控制器。系统设计了“0~9”和“.”十个按键和五个功能键,采用 2407A 的 SPI 口与 ZLG7289B 进行通讯。

4 数据采集系单元的软件设计

系统软件开发采用 TI 公司推出的集成开发环境 CCS(Code Composer Studio)。系统复位后首先进

行初始化,主要包括 TMS320LF2407 系统初始化、GPIO(数字 I/O)初始化、SCI 通讯模块初始化和系统中用到的常量、变量的初始化^[6]。

4.1 光纤陀螺数据采集程序设计

TMS320LF2407A 通过 SCI 口按字节接收光纤陀螺输出的数据,按照数据编码格式进行相应转换后存入 2407A 扩展的数据存储区中。首先对 SCI 口初始化,通过查询 RXRDY 位接收数据。当 RXRDY = 1 时,读取串口接收缓冲器中的数据。如果接收到的数据为帧头,则连续读取 5 个字节,按照数据编码格式整理成一个数据并存储到数组中。如果不是帧头,则继续判断接收到的数据,直到接收到数据帧头为止。

4.2 加速度计数据采集程序设计

AD7705 使用软件来配置输入信号的极性、增益值和输出数据的更新频率。2407A 使用 I/O 口作为模拟串口与 AD7705 通讯。2407A 对 AD7705 的两个模拟输入通道交替读取,通过查询 DRDY 端口来完成加速度计两轴输出信号的采集。

4.3 按键处理程序设计

按键功能模块设计和显示设计相互联系,在按下某个键时,在液晶屏上有相应的显示。每个按键的响应设计为模块结构,在模块中内置了控制参数。依据控制参数和系统的状态及操作步骤,每次按键操作响应都转向相应的代码段,实现

特定的功能。

4.4 液晶显示处理程序设计

液晶显示分为纬度设置显示、工作过程显示和寻北结果显示三种方式。

(1) 纬度设置显示:在输入纬度参数时,显示键盘输入的数值和符号,并提示下一步所要进行的操作。

(2) 工作过程显示:在系统工作时,按照工作程序显示出每一步的工作状态。

(3) 寻北结果显示:将解算出来的寻北结果转换成合适的形式,并在液晶屏上显示出来。

5 实验结果与结论

光纤陀螺的采样频率为 400 Hz(每秒输出 400 个数据),采样时间为 1min。考虑到观测信息较充足,且涉及到硬件存储的容量和计算速度,在采集过程中对 0.5s 的 200 个数据进行了最小二乘估计,可以有效去除信号中的周期项和白噪声。光纤陀螺的输出如图 5 所示。AD7705 输出数据的更新速率为 20Hz,采样时间为 10s。采用中位数估计求得双轴加速度计的稳定输出值,再换算成姿态角。表 1 是加速度计的测试结果,测角精度小于 2"。

表 1 加速度计的测试结果

序 号	β	γ
1	12'08"	59'34"
2	12'06"	59'32"
3	12'07"	59'34"
4	12'10"	59'33"
5	12'08"	59'32"
6	12'09"	59'33"
7	12'12"	59'35"
8	12'08"	59'33"
估值	12'8.50"	59'33.25"
中误差(")	1.86"	1.04"

实验结果表明,设计的数据采集单元具有硬件结构简单、体积小和成本低等特点,且具有较强的

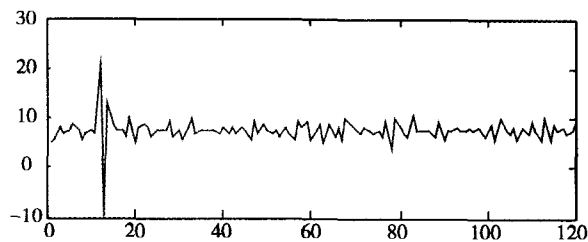


图 5 光纤陀螺的输出

的实用性。满足了系统寻北的精度要求,并且能够满足一般场合的应用要求。

参考文献

- [1] 蒋庆仙,马小辉,陈晓壁. 光纤陀螺寻北仪的二位置寻北方案[J]. 中国惯性技术学报,2006,14(3):1-5
- [2] H. A. Lamprecht, H. Tromp, M. A. Abbott. Base motion compensation for a fiber - optic north - seeking gyroscope [C]// Symposium Gyro Technology, Stuttgart, Germany: 1996: 10.0 - 10.18
- [3] 梁栋,缪玲娟,沈军. 基于 DSP 的捷联式寻北仪数据采集单元的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2006,14(8): 1122 - 1124
- [4] 赵亮,缪玲娟,沈军. 光纤陀螺捷联惯导系统中数据采集单元的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2006, 14(4):555 - 557
- [5] 方红,丁敏. 惯性仪表数据采集模块的设计与实现 [J]. 南京师范大学学报工程技术版,2005 (5) :22 - 25
- [6] 陈晓壁. 二位置光纤陀螺寻北仪的研制[D]. 西安交通大学硕士学位论文,2009
- [7] 郭喜庆. 基于机电一体化技术的新型寻北系统的研究与应用[D]. 中国科学院研究生院博士学位论文, 2002
- [8] 张志君. 基于光纤陀螺的寻北定向技术研究[D]. 中国科学院研究生院博士学位论文,2005
- [9] 陈晓壁,马小辉,王华. 石英加速度计在倾角测量中的应用[J]. 2009,29(2):53 - 57
- [10] 清华大学电子学教研组. 模拟电子技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2004
- [11] 武汉力源电子. AD7705/7706 中文使用手册[S]. 武汉:武汉力源电子有限公司,1999:10 - 14