

基于 DSP 的光纤测头信号采集与处理系统设计

周满平,林家春*,张斌,韩欣
(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院,北京 100124)

摘要:为实现光纤布拉格光栅(FBG)三维测头三路光纤信号的同步采集与快速处理,设计了一种基于数字信号处理器(DSP)的嵌入式信号采集与处理系统。系统采用的 TMS320F2812 处理器,其主频为 150 MHz,结合 AD7656 模数转换器,可 6 通道同步采样,转换精度为 16 位,实现了三路光纤信号的同步采样和实时对三路信号做求和运算,当求和结果满足阈值条件,系统给外部设备发送触发脉冲信号,同时该系统还可通过串口与上位机进行通讯,以验证其采样精度并保存数据。试验结果表明,该系统同步性较好,响应速度快,采样精度小于 3 mV,可用于光纤布拉格光栅测头的信号采集与处理。

关键词:光纤布拉格光栅;数字信号处理器;TMS320F2812;AD7656

中图分类号:TH166;TP274.2

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)04-0464-04

Design of signal collection and processing system of fiber probe based on DSP

ZHOU Man-ping, LIN Jia-chun, ZHANG Bin, HAN Xin
(College of Mechanical Engineering & Applied Electronics Technology,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In order to synchronously collect and fleetly process the three-channel fiber signal of fiber bragg grating(FBG) 3D probe, an embedded signal collection and processing system based on digital signal processor(DSP) was designed. The TMS320F2812 was used as a processor, which frequency was 150 MHz, and AD7656 as the A/D converter, which could synchronously sample the six-channel signal and had 16-bit DC accuracy. It was realized that this system could synchronously collect and real-time calculate the sum of the three-channel fiber signal. When the results satisfied the reference value, a trigger signal was sent to the external device by the system. Through using serial port to communicate with PC, the sampling-accuracy of the system was verified and the data was preserved. The test results show that the system has good synchronous-capability, high response-speed and sampling-accuracy less than 3 mV, so it can be used to collect and process the signal of FBG probe.

Key words: fiber bragg grating(FBG); digital signal processor(DSP); TMS320F2812; AD7656

0 引言

光纤布拉格光栅具有抗电磁干扰强、灵敏度高、尺寸小、成本低等特点,被广泛用于传感器领域^[1-2]。在测头研究方面,光纤光栅的优势更是得到了体现。合肥工业大学研制的光纤布拉格光栅三维测头具有精度高、测量灵敏等特点^[3],而对测头三路输出信号的实时采集与处理关系到整个测头系统的性能。目前,该测头的信号采集与处理系统采用的是 PMAC 卡与上

位机结合的方式,既需要搭建上位机虚拟数据处理系统,又要解决采集卡与上位机的接口问题^[4]。这样显得系统过于庞大与臃肿,且成本高,不能达到便携式与嵌入式标准。此外,数据采集与处理分别位于两个不同的系统中,容易引入外界干扰,再者,信号处理的实时性难以得到保证。

针对以上的问题,本研究提出基于 DSP 的集三路光纤测头信号采集、处理与控制于一体的系统设计方案,简化了整个测头系统,解决了信号采集的同步性与

收稿日期:2010-11-19

作者简介:周满平(1982-),男,湖南永州人,主要从事齿轮噪声测量方面的研究。E-mail: zmp421@emails.bjut.edu.cn

通信联系人:林家春,男,副教授,硕士生导师。E-mail: linjc@bjut.edu.cn

信号处理的实时性,同时也降低了成本。

1 系统方案设计

由于需要对三维测头输出的 3 路光电信号进行同步采样,且为了配合光纤测头的高精度与高灵敏度的测量性能,系统采用高速数字信号处理器 DSP 与外扩 A/D 转换器相结合的方式设计。其中,DSP 处理器为了保证数据处理的实时性,外扩 A/D 转换器为了实现信号采集的同步性。该系统采用模块化设计思想:首先,将 3 路光纤测头信号经光电转换器转换为电压信号,由旁路电容滤波,经电压跟随器进行缓冲隔离,再由 A/D 转换器进行同步转换,转换结果由 DSP 处理器连续读出并作均值求和计算,最后,将运算结果与所设定的阈值做比较,当结果大于阈值时,通过 DSP 的 I/O 口向外发送触发激励脉冲。为了提高触发信号的驱动能力,在 DSP 的 I/O 输出端设置了电压驱动器。系统还可以通过串口模块与上位机进行数据通讯,总体设计结构如图 1 所示。该方案能实现 3 路信号采样的同步性与数据处理的实时性,满足光纤测头高精度与高灵敏度的设计要求,具有可行性。

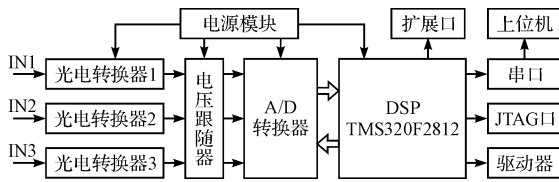


图 1 系统总体结构图

2 系统硬件设计

硬件系统由信号预处理模块、A/D 转换模块、DSP 处理模块、驱动模块、串口通讯模块及电源模块构成。各个模块之间以信号流的形式构成信号采集与处理系统。

2.1 信号预处理电路设计

信号预处理部分包括光电转换器和电压跟随器。光电转换器采用了光电转换组件,具有高灵敏度与外围设计简单的特点,实现变化的光信号到电压信号的转换。电压跟随器采用运算放大器的正相端作输入,反相端与输出直接连接构成。由于电压跟随器具有高输入阻抗和低输出阻抗的特点,带负载能力较强,在该系统中起光电信号与后级电路的缓冲隔离作用,可防止光电信号与后级电路信号之间的相互干扰,电路设计如图 2 所示。

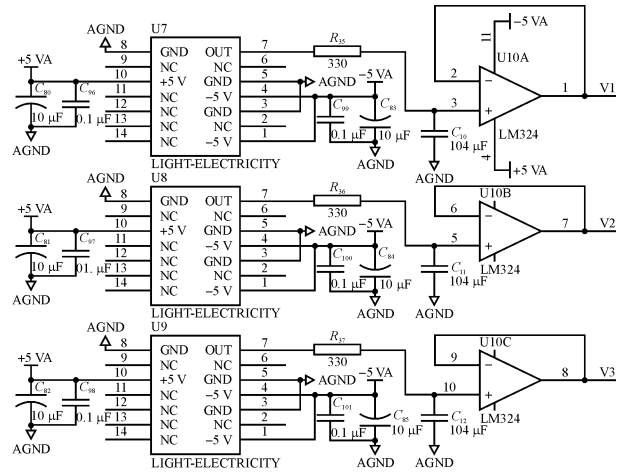


图 2 信号预处理电路

2.2 DSP 与 A/D 接口设计

DSP 处理器采用了 IT 公司 2000 系列的 TMS320F2812 芯片,其主要用于工业控制领域。它是一款主频高达 150 MHz,数据处理位数为 32 位,内部自带 128 KB SDRAM 和 128 KB FLASH 存储容量,且具有丰富外设结构的高性能处理器^[5]。

A/D 转换器采用了 ADI 公司的 AD7656 芯片。它是一款 6 通道输入,能实现同步采样,具有 16 位采样精度,采样速率高达 250 Ksps 的模数转换器^[6]。本系统用了其中 3 个输入通道,A/D 模式采用的是 16 位并行输出模式,模拟电压输入范围为 ±10 V。根据 AD7656 的数据转换时序图^[7],如图 3 所示,将 A/D 启动转换信号 CONVSTA、B、C 连在一起由 DSP 的 GPIOA1 端控制,作为 A/D 转换器 6 通道同步转换的启动信号;A/D 转换忙输出信号 BUSY 连接到 DSP 的外部中断 XINT1 端,当 A/D 转换完成后通知 DSP 及时读取转换结果;A/D 片选信号 CS 及读信号 RD 分别由 DSP 的 GPIOA0 端和读引脚 XRD 控制;A/D 转换完成的数据直接输出到 DSP 的数据总线 XD 上;结果读取完成后 A/D 的复位脉冲信号 RESET 由 DSP 的 GPIOA2 端控制。

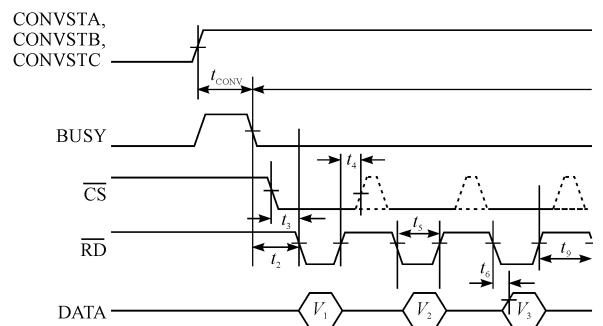


图 3 A/D 并行接口时序图

DSP 与 AD7656 的接口电路设计如图 4 所示。控制过程为:首先由 DSP 的 GPIOA1 端给 A/D 转换器一个高电平,启动 A/D 的 6 个输入通道同时转换;此时, A/D 的忙信号 BUSY 自动由低变为高电平,3 μs 后 A/D 完成数据转换, BUSY 信号由高变为低电平,同时通知 DSP 数据转换已经完成,此时 DSP 外部中断 XINT1 做出响应, DSP 开始读取 A/D 转换结果, GPIOA0 端变为低电平片选 A/D, DSP 读信号端 XRD 连续发出 3 个低电平脉冲信号依次读取 A/D 前 3 个输入通道结果寄存器中的数据(该系统只用了 A/D 前 3 个输入通道,其他 3 个通道接地处理);最后,由 DSP 的 GPIOA2 端向 A/D 发出一个 100 ns 的复位脉冲,以便下一次读取 A/D 转换结果的次序从通道 1 开始。3 个通道数据读取完成后, A/D 启动转换信号变为低电平,准备下次启动转换。

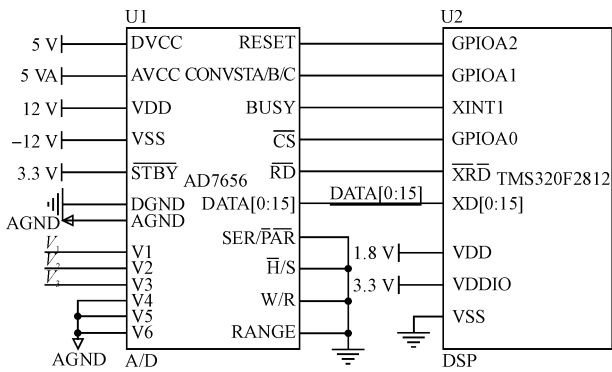


图 4 DSP 控制 A/D 接口设计

2.3 驱动电路设计

由于 DSP 对外部设备发出的触发脉冲不超过 3.3 V,而所需的驱动脉冲达到了 5 V 左右,为了增强触发脉冲的驱动能力,采用电压串联负反馈来增强电路驱动能力,驱动电路的电压放大倍数为 $A_u = 1 + R_f/R_1$,通过调节反馈电阻 R_f 的值即可实现输出电压的调节。该方法电路简单、效果明显、驱动能力强,如图 5 所示。

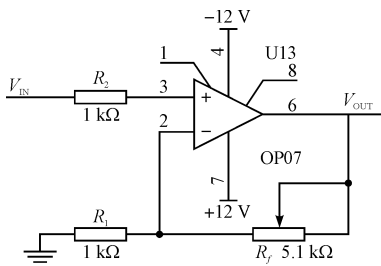


图 5 驱动电路

3 系统软件设计

根据系统的功能要求,软件设计分为 3 个部分,分

别为:①DSP 控制 A/D 进行同步采样;②DSP 对采集的数据做运算处理;③系统向外设发送触发脉冲。程序流程图如图 6 所示。首先初始化 DSP 系统,初始化 DSP 外设、I/O 及中断;初始化 A/D 转换时序,使 A/D 转换处于初始状态;启动 DSP 定时器中断,在定时器中断服务程序中执行 A/D 采样、数据运算和向外设发送触发脉冲等操作。启动 A/D 转换后,首先需判断 A/D 转换是否结束;当转换结束后,启动 DSP 外设中断,在外设中断服务程序中读 A/D 3 个通道采样结果;连续采集和读取 A/D 转换结果 N 次(N 的大小可以根据采样速率设定,本系统设为 1000);进入算法程序,对采样结果求均值,再将 3 路均值求和,与阈值做比较,当求和结果大于阈值,系统向外设发送触发脉冲。

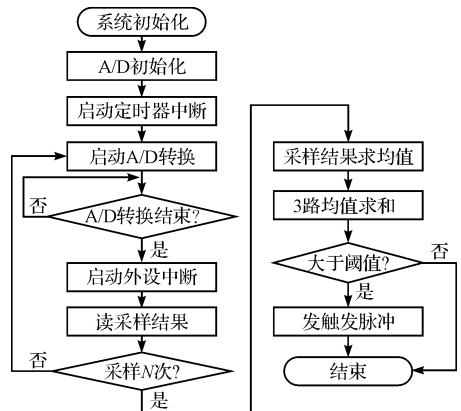


图 6 系统软件流程图

4 系统测试

为验证系统的采样精度,笔者给系统输入 1.470 V 干电池直流信号,经 A/D 采集,送上位机显示,采样结果如图 7 所示。得平均值为 1.465 V,则采样精度约为 0.003 V。

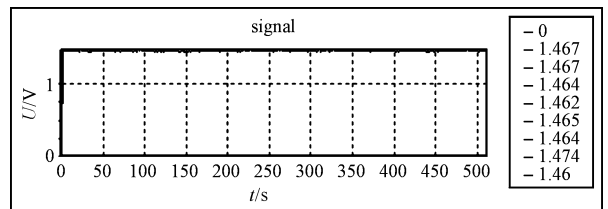


图 7 系统采集 1.470 V 直流信号

接着,本研究再分别给系统输入 10.3 Hz 与 15.1 Hz,峰峰值为 2 V 的正弦波信号,以验证系统采集数据的准确性^[8]。并通过串口将数据传输到上位机,对信号做时域与频域分析。设定系统的采集频率为 125 Hz,作 1 024 点 FFT。

频率为 10.3 Hz 信号的时域图与频域图如图 8 所

示,其频谱图显示幅值最大点为第 84 点,对应频率为:

$$f = \frac{n}{N} \times f_s = \frac{84}{1\ 024} \times 125 = 10.25 \text{ Hz}$$

频率为 15.1 Hz 信号的时域图和频域图如图 9 所示,其频谱图显示幅值最大点为第 124 点,对应频率为:

$$f = \frac{n}{N} \times f_s = \frac{124}{1\ 024} \times 125 = 15.13 \text{ Hz}$$

由测试结果表明,系统 A/D 采样精度较高,采集的正弦信号正确。

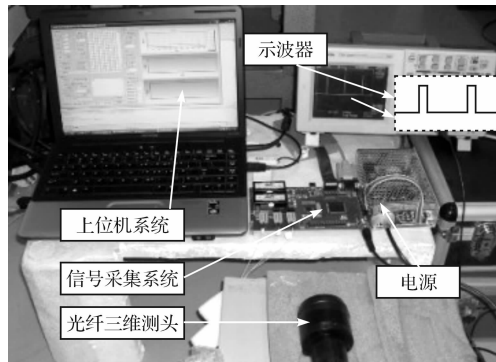


图 10 光纤测头信号采集系统实验平台

6 结束语

本研究设计的基于 DSP 的光纤三维测头信号采集与处理系统,解决了三路光纤信号同步采集和快速处理问题,并具有实时对外发送脉冲信号的功能,体积小,实现了系统的便携式和嵌入式。

测试实验结果表明:该系统采集精度高,响应速度快,系统稳定性较好,为布拉格光纤三维测头的后级信号采集与处理提供了一个有效的实现工具。

参考文献 (References):

- [1] 姜德生,何伟. 光纤光栅传感器的应用概况[J]. 光电子·激光,2002,13(4):420-430.
- [2] SERGE M, LIU K, MEASURES R M. Strain sensing using fiber optic Bragg grating[C]//Proceeding of SPIE, Boston, MA, USA,1991;255-263.
- [3] 费业泰,范哲光,丁邦宙,等. 光纤布拉格光栅(FBG)三维测头:中国,CN101424522[P]. 2009-05-06.
- [4] KUANGA K S C, KENNY R, WHELAN M P, et al. Embedded fiber Bragg grating sensors in advanced composite materials[J]. **Composites Science and Technology**,2001,61(10):1381-1384.
- [5] 孙丽明. TMS320F2812 原理及其 C 语言程序开发[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [6] REEDER R, LOONEY M. Hand Pushing the State of the Art with Multichannel A/D Converters[Z]. **Analog Dialogue**,2005:152-156.
- [7] 李石亮,杨俊安,叶春逢. 基于 AD7656 的多路并行同步音频数据采集系统设计及实现[J]. 现代电子技术,2008,273(10):167-168.
- [8] 刘甜,吴小平,陈洪芳,等. 基于 DSP 和 FPGA 的锥齿轮传动噪声测试分析系统设计[J]. 机械传动,2010,34(5):67-68.
- [9] 黄安贻,张理恒. 基于小波变换的信号检测及其在 DSP 上的实现[J]. 机电技术,2010,33(3):2-4.
- [10] 陈俊青,马钧华. 基于 Vxworks 实时操作系统与多路 DSP 伺服系统的网络通信[J]. 轻工机械,2008,26(6):80-83.

[编辑:张翔]

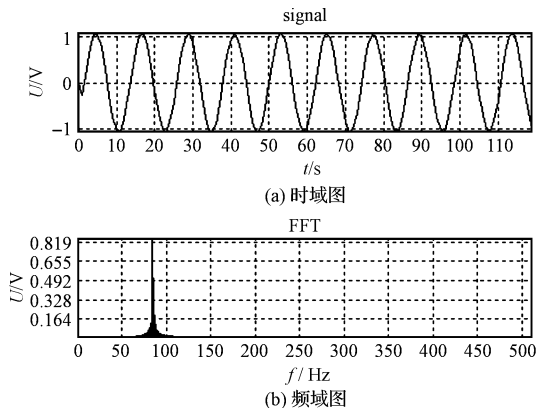


图 8 系统采集 10.3 Hz 正弦波的时域图与频域图

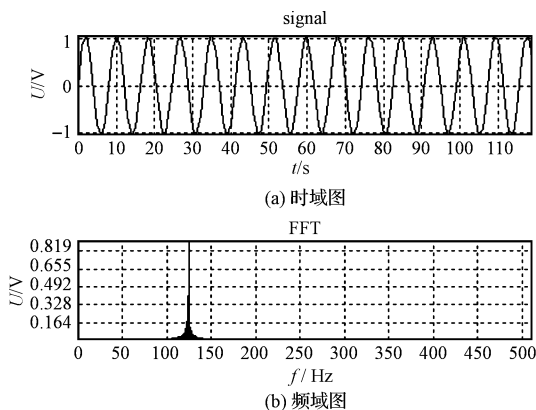


图 9 系统采集 15.1 Hz 正弦波的时域图与频域图

5 系统实验

对系统进行联机实验,实验平台如图 10 所示,当测头对工件进行触碰测试时,用示波器观察系统的触发输出^[9]。在软件算法里设定系统零阈值触发,当测头碰到工件时^[10],系统就实时做出响应,向外发送触发脉冲信号,如图 10 所示。系统采集的数据还可以通过串口发送至上位机进行绘图显示与保存备案。实验结果表明,系统具有较高的灵敏度与响应速度,采集数据正确,实现了设计功能。此外,通过更改传感器,该系统还可以用于其他信号的采集与分析。