

基于 DSP 的 MEMS 陀螺仪信号处理平台的设计

刘桂林, 张志文

(西安工业大学 电子信息工程学院 陕西 西安 710032)

摘要:针对现在 MEMS 陀螺仪的精度还不高的状况,为了降低陀螺仪信号的噪声,改善其非线性性能,提高陀螺仪信号的精度,提出基于 TI 公司的数字信号处理器 TMS320VC33 的 MEMS 陀螺信号实时采集与处理系统,对 MEMS 陀螺信号进行降噪、非线性补偿处理;并在 DSP 多任务机制下实现数据采集、处理、传输的并行化,该信号处理平台信号处理时间短,实时性高,可以满足 MEMS 陀螺仪的使用要求,算法简单有效,可以显著降低 MEMS 陀螺信号的噪声,在实际应用中具有一定的参考意义。

关键词:MEMS 陀螺仪;非线性补偿;数据采集;实时性

中图分类号:TN911.72

文献标识码:B

文章编号:1004-373X(2009)09-127-03

Design of Signal Processing Platform for MEMS Gyroscope Based on DSP

LIU Guilin, ZHANG Zhiwen

(Electronic Information Engineering Department, Xi'an Technological University, Xi'an, 710032, China)

Abstract: Because the MEMS gyroscope is not high accuracy, for reducing the signal and improving the MEMS gyroscope signal's accuracy, TMS320VC33, the new DSP chip produced by TI company is used in the signal processing platform. MEMS gyroscope signal processing platform is designed by combing operating system and used for denoising, nonlinear compensation process. This system makes a good effect in practical appliance because of its simple structure, small bulk, easy to integration and real-time.

Keywords: MEMS gyroscope; nonlinear compensation; data acquisition; real-time

0 引言

陀螺仪是一种能够精确地确定运动物体方位的仪器,它是现代航空、航海、航天和国防工业中广泛使用的一种惯性导航仪器,它的发展对一个国家的工业,国防和其他高科技的发展具有十分重要的战略意义。

近年来随着 MEMS(微机电系统)技术的发展, MEMS 陀螺仪的研究与发展受到了广泛的重视。MEMS 陀螺仪具有体积小、重量轻、可靠性好、易于系统集成等优点,应用范围广阔。但是目前 MEMS 陀螺仪的精度还不是很,要想大范围应用必须对 MEMS 陀螺仪的信号进行处理。

本文选用 TI 公司的 TMS320VC33 作为 MEMS 陀螺仪信号处理平台的核心芯片,同时引入 DSP/BIOS 实时操作系统提供的多任务处理机制,在对陀螺仪信号进行数据采集的间隙同时对先采集来的信号数据进行处理和传输,确保数据采集和处理的实时性,大大提高了信号处理平台的工作效率,在高速实时数据采集和处理领域具有一定的应用价值。

1 MEMS 陀螺仪信号处理平台的硬件结构

1.1 信号处理平台的硬件结构及工作原理

MEMS 陀螺仪信号的处理平台的硬件系统应该包括以下几个部分: DSP 模块,数据采集模块,上位机通信模块和 JTAG 调试接口模块。

数据采集模块由两部分组成: 6 路 16 位模/数转换器 ADS8364 和同步时序控制器 FPGA(A3P250VQ100)。FPGA(A3P250VQ100)一方面是控制各个单元时序,另一方面是为了对 A/D 采集来的陀螺信号进行预处理。

模/数转换器 ADS8364 通过 FPGA 与 DSPVC33 相连,采集三轴陀螺信号。

DSP 主要完成对陀螺信号的降噪运算。陀螺信号经 DSP 处理后再由 SCI 接口传送到上位机。

系统设计的原理框图如图 1 所示。

在图 1 中三路陀螺模拟信号经过各自的信号调理、抗混迭滤波后进入多通道 A/D 转换器,在 FPGA 的控制下选择一路信号进行转换,转换结果送入 FPGA 片上 FIFO 缓存,由 DSP 读取数据并进行数字信号处理。

同时 FPGA 对 A/D 转换器传过来的信号进行预处理,再送到 DSP 进行信号降噪处理,保证了 MEMS 陀螺信号处理系统处理的实时性。然后 DSP 把处理后的结果送至上位机和经过串口输出,完成数字输出和模拟输出,满足不同的应用要求。

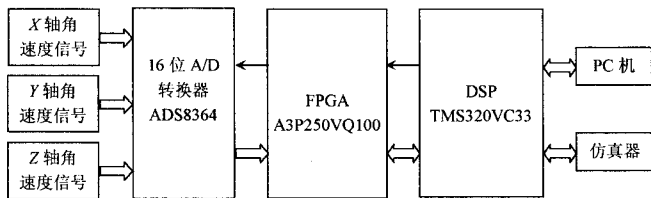


图1 信号处理平台硬件原理框图

1.2 信号处理平台 A/D 电路设计

在整个 MEME 陀螺信号处理平台中,A/D 转换器是整个系统数据采集部分关键核心器件,信号处理系统中选用了美国德州仪器(TI)公司的 ADS8364 作为 MEMS 陀螺信号处理平台的 A/D 转换器。ADS8364 是 TI 公司推出的高速、低功耗、6 通道 16 位 A/D 转换芯片,共有 64 个引脚。其时钟信号由外部提供,最高频率为 5 MHz,对应的采样频率是 250 kHz。数字电源供电电压为 3~5 V,即可以与 3.3 V 供电的微控制器接口,也可以与 5 V 供电的微控制器接口。所以 ADS8364 非常适合应用在精度要求较高,结构简单的嵌入式信号处理系统中。

ADS8364 的时钟信号由外部提供,这里由 FPGA 提供时钟信号,主要是考虑到 FPGA 可以灵活地改变时钟频率,进而改变系统的采样频率。A/D 转换完成后产生转换结束信号 EOC。将 ADS8364 的 BYTE 引脚接低电平,使转换结果以 16 位的方式输出。地址/模式信号(A0, A1, A2)决定 ADS8364 的数据读取方式,可以选择的方式包括单通道、周期或 FIFO 模式。将 ADD 引脚置为高电平,使得读出的数据中包含转换通道信息。考虑到数据采集处理系统的采样频率一般较高,如果用 DSP 直接控制 ADS8364 的访问,将占用 DSP 较多的资源,同时对 DSP 的实时性要求也较高。因此在本系统设计中,用 FPGA 实现 ADS8364 的接口控制电路,并将转换结果存储在 FPGA 中,用 DSP 实现 FPGA 芯片的输出接口。

图 2 为 ADS8364 与 FPGA 的接口电路设计图。

1.3 DSP 的串行通信接口设计

TMS320VC33 DSP 中的串口是一种同步串行接口,串行通信接口(SCI)是采用双线通信的异步串行通信接口,即通常所说的 UART 口,VC33 内部带有串行通信模块,该串口支持 16 级接收和发送 FIFO,可以与 PC 和其他异步通信外设进行数字通信,在信号处理平

台系统中采用 RS 232 通信方式将数据发给上位机,与 TMS320VC33 接口的外设选用 MAX3232。

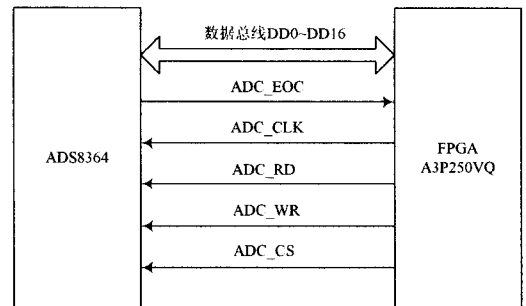


图2 ADS8364 与 FPGA 的接口电路图

2 MEMS 陀螺仪信号处理平台系统任务分析

MEMS 信号处理系统划分为三个独立的任务:数据采集任务、陀螺信号处理任务和上位机通信任务。各个任务之间通过 DSP/BIOS 的旗语信号量进行同步和协调。

数据采集任务是负责对 MEMS 陀螺的信号进行采集。该任务是系统的关键部分,优先级最高,执行时间比其他任务短,因此选用 DSP/BIOS 的硬件中断模块(HWI)。硬件中断模块(HWI)具有严格的实时性和高优先级,一旦 SPIFIFO 接收寄存器被外部 ADC 写满,立即产生相应的中断,CPU 立即挂起当前的任务,调用相应的中断服务程序数据采集任务,将 FIFO 缓冲区内的采样值读入接收数据缓冲区,启动后续采样。这时中断服务程序退出,CPU 的控制权返还给先前的任务。

陀螺信号处理任务负责对采集到的数字量信号进行小波除噪和温度补偿等算法处理。在设计时引入了 DSP/BIOS 的另一种线程类型 TSK 来实现。任务是独立使用的 CPU 进程,真正体现了多线程的思想,支持阻塞和优先级抢断。

TSK 共有 15 个优先级,每个任务均有自己独立的堆栈,响应延时比较长,适合对实时性要求不是很高的进程。TSK 对象的优先级低于硬件中断(HWI),可根据任务的优先级和当前执行状况调度或抢占任务。陀螺信号处理任务在数据采集任务的空闲周期执行,也就是在采样值写入 FIFO 缓冲区这段时间执行。当数据采集任务执行完成,发送旗语信号量 SEM_PROC 陀螺信号的处理任务,对数据缓冲区内的采样值进行处理,如果没有收到旗语信号量 SEM_PROC 任务自动挂起。

上位机通信任务负责系统与外部通信,将处理完成的数据通过 SCI 接口传输给上位机。上位机通信任务同样采用 DSP/BIOS 中的 TSK 线程实现。上位机通信任务的优先级低于任务陀螺信号处理任务,在数据采集和信号处理的间隙执行。陀螺信号处理任务执行完

成,发送旗语信号量 SEM - XMIT 上位机通信任务,将数据送出。

3 MEMS 信号处理平台软件设计方案

MEMS 陀螺仪信号处理平台的软件设计包括 DSP 程序设计、FPGA 控制和时序程序设计。DSP 编程的主要任务是初始化、管理板上的资源,并实现前端数字信号处理的算法。这里以 TI 公司提供的功能强大的 CCS(Code Composer Studio)为集成开发环境。

系统上电复位后。首先完成 DSP 自身的初始化,包括配置 RAM 模块,设置 I/O 模式、定时器模式、中断等,然后程序进入循环状态,等待中断。

FPGA 的软件设计主要包括对 A/D 的采集控制、数据存储与传输的控制、信号的预处理和同步时序的产生与控制。首先由 FPGA 把 A/D 采集来的 MEMS 陀螺仪的数据存储在 FPGA 中,然后由 FPGA 对采集来的信号进行预处理,然后等待 DSP 的控制信号把预处理的信号送入 DSP 中进行信号处理和传输。

系统软件的设计方案如图 3 所示。

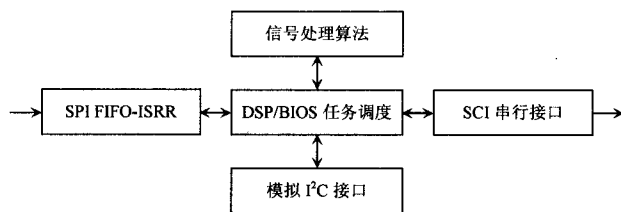


图 3 信号处理系统软件设计方案

4 结 语

本文设计的 MEMS 陀螺信号处理平台,能够完

作者简介 刘桂林 男,1979 年出生,硕士研究生。主要研究方向为智能控制与信号处理。

成三轴陀螺信号的采集和处理,并将处理过的 MEMS 陀螺信号发送给主机,由于采用了 TI 公司高性能的 DSP 芯片 TMS320VC33,并在软件设计中采用了 DSP/BIOS 多任务机制,使得该信号处理平台具有体积小,精度高,实时性好等优点,能够满足对 MEMS 陀螺信号处理,在实际应用中具有一定的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 李荣冰,刘建业,林雪原.梳状音叉 MEMS 陀螺非随机误差分析[J].电子科技大学学报,2006,35(6):929-931.
- [2] Bernstein J. An Overview of MEMS Inertial Sensing Technology[EB/OL]. Sensors, 2003, <http://www.sensorsmag.com/articles/0203/14/main.shtml>, 2003.
- [3] 刘瑞华,刘建业.振动轮式 MEMS 陀螺动力学分析[J].宇航学报,2001,22(6):114-119.
- [4] 陈永.基于滑膜阻尼效应的音叉式微机械陀螺研究[D].上海:中国科学院上海微系统与信息技术研究所,2004.
- [5] Jinwon Kim, Jang Gyu Lee, Gyu In Jee, et al. Compensation of Gyroscope Errors and GPS/DR Integration [A]. Position Location and Navigation Symposium [C]. IEEE, 1996: 464-470.
- [6] 郑利龙,曹志刚.GPS 组合导航系统的数据融合[J].电子学报,2002,30(9):1384-1386.
- [7] 张海鹏,房建成.MEMS 陀螺仪短时漂移特性实验研究[J].中国惯性技术学报,2007,15(1):100-104.
- [8] 臧容春,崔平远.陀螺随机漂移时间序列建模方法研究[J].系统仿真学报,2002,17(8):1845-1847.
- [9] 刘镇平,张春熹,王妍.小波分析在捷联惯导陀螺信号滤波中的应用[J].中国惯性技术学报,2005(1):171-176.
- [10] 李广辉.基于小波方法的陀螺仪信号处理系统研究[D].天津:天津工业大学,2006.

(上接第 126 页)

- [6] 孔令成,韩海舰.多媒体火灾自动报警监控系统的设计[J].电子技术应用,1997(10):6-9.
- [7] 姚国宾,马艳峰,梅红秀,等.智能火灾报警网络监控系统[J].消防科学与技术,2002,2(5):55.
- [8] 邓彦,陈一帆.城市火灾自动报警监控系统浅析[J].消防科学与技术,2003,22(21):47-48.
- [9] 郑艳琼,李昂,马渝昆.城市火灾自动报警监控系统的发展[J].消防科学与技术,2006,25(19):100-101.
- [10] 陈伟男,胡文纲,彭澄廉.城市火灾自动报警信息系统的设计与实现[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005(8):1867-1872.

作者简介 蒋 中 男,1957 年出生,教授。主要从事建筑电气、消防监控等方向的研究。

孔令成 男,1965 年出生,中国科学院合肥智能机械所硕士生导师,研究员,实验室主任。主要从事消防和安全技术研究。