

基于浮点 DSP+ARM 的光纤捷联/GPS 组合导航计算机的设计

王 其, 徐晓苏

(东南大学 仪器科学与工程学院, 南京 210096)

摘要: 介绍一种基于 DSP TMS320VC33PGA 和 ARM 系列微处理器 S3C44B0X 构成的光纤捷联/GPS 组合导航计算机的设计, 详细介绍了系统硬件结构设计、高精度数据采集电路、FPGA 接口电路设计、FLASH 程序引导设计以及系统软件设计. 通过实验室三轴转台实验证明该系统具有实时性好、精度高、体积小的优点.

关键词: 船舶; 导航计算机; 浮点 DSP; ARM 微处理器; 数据采集; 光纤陀螺仪

中图分类号: U666.12⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2007) 05-0034-03

FOG strapdown INS/GPS integrated navigation computer based on DSP+ARM

WANG Qi, XU Xiao-su

(School of Instrument science and engineering, Southeast University, Nanjing, China 210096)

Abstract: *The design of fiber optic gyroscope (FOG) strapdown inertial navigation system (SINS)/GPS integrated navigation computer based on DSP TMS320VC33PGA and MPU S3C44B0X OF ARM series. The structural design of system hardware, high precision data capture circuit, FPGA interface circuit design, FLASH program guide design and system software design is introduced in detail. The experiment proves that the system has advantages of real time, high precision and small volume through three-axis rotation platform of the lab.*

Key words: *ship; navigation computer; floating-pointing DSP; ARM micro-processor; data capture; fiber optic gyroscope*

0 引言

捷联惯性导航系统的陀螺仪和加速度计直接固联在运载体上, 陀螺仪和加速度计分别用来测量载体角运动信息和线运动信息, 是一种高精度的实时定位系统, 具有高自主性、体积小、成本低、重量轻、可靠性高、输出信息量全等优点. 捷联惯性导航系统的原理图如图 1 所示^[1].

全球定位系统 (GPS) 能为载体提供高精度的三维位置、速度以及时间信息, 但由于其控制权原因 GPS 定位系统只能作为一种辅助导航设备. 目前, 低成本的 SINS/GPS 组合导航系统已经成为国内外导航界研究

的热点之一. 基于浮点 DSP 的惯性组合导航系统是基于小型光纤捷联惯性导航系统的惯性/GPS 组合导航系统, 其优良的性能特点适应了导航系统低功耗、低成本、小体积、高性能、环境适应性强的发展趋势. 一个导航计算机要完成大量的运算处理工作, 实现惯性测量单元 (IMU) 的数据采集、与外部系统的通信、时序逻辑控制和人机接口等功能. 由于 DSP 芯片本身处理能力和结构的限制, 单个 DSP 难以满足系统的实时性要求, 本文采用了 MCU 与 DSP 构成主从式多处理器的系统方案, 满足了体积小、成本低、功耗低的系统设计要

收稿日期: 2006-11-10; 修回日期: 2006-12-26

基金项目: “十一五”总装备部预言项目 (51309020503); 国防 973 项目 (973-61334); 国家自然科学基金资助项目 (60374046); 国家自然科学基金项目 (50575042); 教育部博士点专项科研基金项目 (20050286026).

作者简介: 王其 (1981-), 男, 博士研究生, 主要从事精密仪器及测控技术研究.

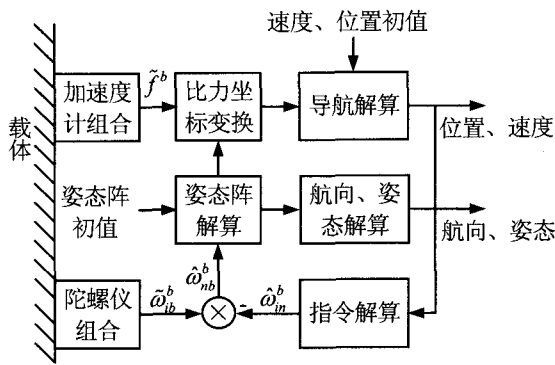


图1 捷联惯性导航系统原理方框图

1 系统硬件结构

图2是基于TMS320VC33PGA和ARM系列微处理器S3C44B0X构成的主从式多处理器FOG捷联/GPS组合导航系统结构框图，其中DSP作为从机主要完成FOG输出数据的采集、与主机之间的数据交换、组合导航算法运算等功能，主处理器模块是系统的控制核心，由SAMSUNG公司S3C44B0X构成，它是一款基于ARM7TDMI内核的SOC芯片，其不仅具有低功耗、高性能的优点，而且具有丰富的外设接口，作为主机完成加速度计信号的转换与采集、与从机之间的数据交换、人机接口、GPS信息的获取等功能，整个系统在定时于控制电路的同步下协调工作。

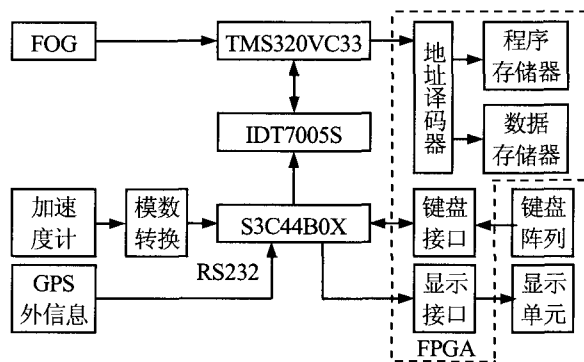


图2 组合导航系统硬件总体框图

本设计中GPS接收机采用了加拿大马可尼公司的SUPERSTAR OEM卡^[2]。它是低价位的导航型GPS接收卡，具有12个信道、全视野的接收能力，接收码为C/A码（码率为1.023NIHZ，码和载波相位跟踪），系统工作在1575.42MHz（L1波段），体积小（仅有名片大小）可方便地集成于用户系统中，并可配置成差分接受模式以提高定位精度。SUPER STAR可在苛刻的条件（如树叶遮挡、城市高楼林立）下提供很高的可靠性和优异的性能，并具有通过软件升级为WAAS（广域增强系统）的功能。GPS接收机的信息通过RS232接

口以1次/s的频率发送给MCU，串行传输速率设定为19,200 Bits/s，GPS信息主要用于捷联惯性导航系统的初始对准和误差在线校正。

2 IMU数据采集模块

IMU包含3个挠性石英加速度计和3个光纤速率陀螺仪，用于提供载体的加速度和角速率。采用串行口直接接收光纤陀螺仪和GPS输出的数字信号。加速度计采用模拟信号输出，对其进行滤波、放大预处理然后由ADC转换为数字信号。设计微小型导航计算机模拟信号采集的原理结构框图如图3所示^[3-4]。信号采集部分由模拟信号调理电路、ADC、光电隔离、FPGA和处理器构成。在导航计算机实时、高精度、宽动态范围的要求下，采用TI公司生产的高精度，宽动态范围的24位 $\Delta-\Sigma$ 结构的模数转换器ADS1251和Altera公司的嵌入式现场可编程门阵列产品ACEX 1K系列中的EPF 10K 100A，使加速度计测量系统达到了宽范围量程、测量精度高、数据输出频率高的要求^[5-6]。

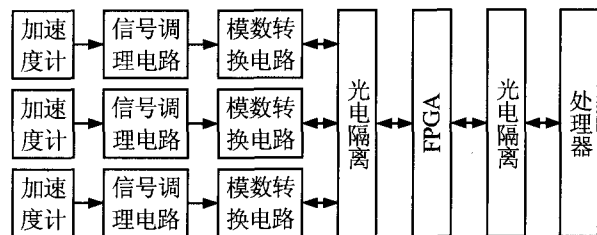


图3 加速度计信号采集的原理结构框图

信号放大电路将输入的微弱的电流信号放大到与ADS1251的量程相当的程度，以获得尽可能高的分辨率，输入的 $\pm 25\text{mA}$ 电流信号先经过精密采样电阻，然后由两个运算放大器将转换成需要的0V~5V差分电压信号，并且该模块应尽可能靠近信号源，使信噪比得到改善。抗混叠滤波的目的是在所测量信号中去除干扰信号，系统内部和外部干扰的影响，被测信号上叠加着干扰信号，当被测信号很微弱时，就会被干扰噪声“淹没”，导致很大的数据采集误差。滤波功能的实现是由RC滤波器完成的。光电隔离电路的目的是为了保证系统安全，避免被测量的瞬变或冲击对数据采集板的影响，并保证AD芯片的读数不受“地”电位或共态电压差异的影响，以确保准确采集信号。去耦电路是为了防止电源内阻的耦合，需在电路板上每个电源引出线的近旁装一只去耦电容器，特别是对于精密运算放大器还要注意防止地线的耦合^[7]。

3 FPGA接口电路的设计

利用FPGA中很少的资源就可以实现键盘接口，

方便系统调试和控制,而且不影响 DSP 导航解算.利用硬件电路实现键盘接口,需要实现扫描、去抖、编码、中断等功能.4×4 键盘接口有四个行扫描线和四个列扫描线,内含 4×4 的 FIFO 用于暂存按键值,其中键包括数字键和若干功能键.采用中断方式能够使按键值及时被 CPU 读取,每一次有按键按下时,键盘接口向 CPU 发送一个中断请求,被 CPU 读取一个键值后中断线复位,只要 FIFO 非空则发中断请求.

键盘接口模块包括 CPU 接口逻辑、FIFO、按键编码逻辑.其中,按键编码逻辑的功能是输出扫描码和读入回复扫描码,当有按键时将按键编码写入 FIFO.键盘接口硬件结构如图 4 所示.

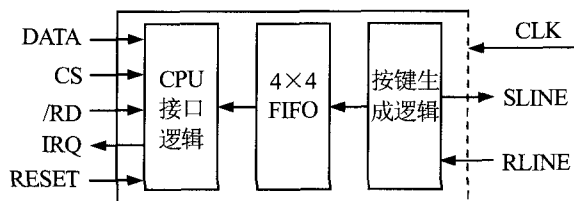


图 4 键盘接口模块结构图

键盘模块的系统时钟和 UART 模块采用 24MHz,对于内部延时去抖定时功能采用多级计数链实现. FIFO 模块设计采用同步 FIFO. CPU 接口逻辑中的中断逻辑很简单,只要 FIFO 非空就生成中断信号,被 CPU 读一次后中断线就复位一次.这里重点介绍键盘接口电路的设计,利用 FPGA 实现其他接口电路设计的方法基本一致.

4 基于 FLASH 的程序引导设计

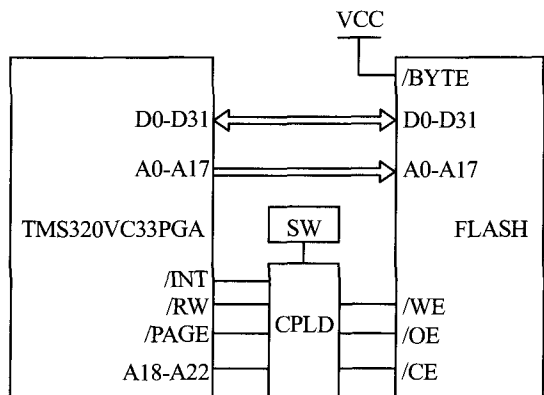


图 5 FLASH 程序引导设计

所谓程序引导 (BOOTLOADER) 是指 DSP 系统在上电复位后, DSP 将一段存储在外部非易失性存储器的程序代码转移到片内 RAM 或片外 SRAM 等高速存储器中运行^[8]. 这样既利用了外部的存储单元扩展 DSP 本身有限的 ROM 资源, 又充分发挥了 DSP 内部

资源的效能. FLASH 存储具有容量大、掉电内容不丢失、可以在线编程的特点, 因此, Flash 存储器已逐渐成为 DSP 系统的一个基本配置, 其主要用来存放程序代码、系统设置常量或表格等. 基于 FLASH 的程序引导如图 5 所示.

当 TMS320VC33PGA 芯片设置成微计算机工作方式时, 具有多种引导装载方式. 为提高系统设计的灵活性和实用性, 本系统在光纤捷联/GPS 组合导航计算机中采用了 Flash 芯片和可编程逻辑器件(CPLD)实现了 TMS320VC33PGA 芯片多种引导方式的集成.

5 系统软件设计

合理的软件协议是确保双处理器高效协作的一个关键, 因此对双处理器交换信息的内容和时序都必须加以约定. 图 6 是导航软件流程图, 它主要包括系统自检模块、初始装订数据模块、导航初始对准模块、导航计算模块和信息融合组合卡尔曼滤波算法模块.

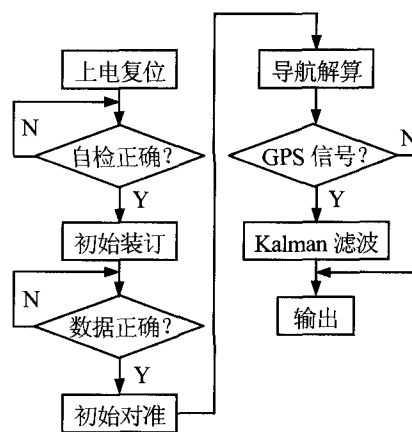


图 6 导航软件流程图

系统上电运行后, 存储在 FLASH 内的程序通过 Bootloader 拷贝到内部 RAM 中运行, 然后导航计算机和各个传感部件自检并输出相应信息, 如果自检信息正常, 接收发送的初始经纬度信息并且验证, 确认信息正确后进入初始对准、导航解算和卡尔曼滤波. 最后把采集得到的原始数据和导航完成的信息传送给控制计算机, 以供进行后期数据分析.

6 系统测试实验

为测试上述导航计算机的性能, 在实验室环境下完成了两组对比实验. 首先将 IMU 安装于三轴模拟转台上, 只对 IMU 进行实验, 此时运算模块上运行捷联解算的导航算法. 其中, 陀螺仪和加速度计的零位漂移分别为 0.1°/h 和 0.001 m/s². 实验中, 改变三轴转台的转动姿态, (下转第 15 页)

号体) 进行比较, 得到两条 GZ 曲线如图 9. 小侧体与大侧体相比排水量下降了 57%, 但 GZ 曲线在最大值点仅下降了 23%, GZ 曲线下降幅度远没有侧体排水量下降幅度大. 因此如果五体船稳性裕度较大, 可以减小侧体排水量以有效地降低全船的静水阻力.

4 结论

通过对五体船大倾角稳性进行计算分析研究, 可以得到如下结论:

1) 五体船与去掉两个前侧体得到的三体船的初稳性没有区别, 但大倾角稳性五体船较三体船好得多.

2) 五体船侧体横向位置 b 对初稳性和大倾角稳性影响都很大. 随着 b 的增大, GZ 值迅速增大, 但 GZ 曲线的最大值点对应的横倾角也明显减小. 因此并非 b 值越大, 稳性越令人满意.

3) 无论提高五体船前侧体还是后侧体的高度, 都会降低 GZ 值, 但影响并不非常剧烈; GZ 曲线的最大值点对应的横倾角没有明显变化; 侧体出水角减小, 从而会增大其在波浪中的出水概率.

4) 采用较小主尺度的后侧体, GZ 曲线下降幅度远没有侧体排水量下降幅度大. 因此如果五体船稳性裕度较大, 可以减小侧体排水量以有效地降低全船的

(上接第36页)

从输入/输出模块读取相应的导航参数. 实验结果表明在系统运行100s、300s、600s后的解算的姿态角与转台准确的姿态角的误差分别为 0.5° 、 1.5° 、 2.5° 以内, 说明了IMU误差曲线呈发散特性, 仅能够在较短时间较准确地敏感载体的姿态, 无法完成长时间的导航任务. 第二组为IMU/GPS组合导航系统静态实验, 此时在运算模块的FLASH中烧入捷联算法和相应的数据融合算法, IMU安装在三轴模拟转台上, GPS天线安装于东南大学逸夫科技馆楼顶, 采用速度/位置匹配的组合导航方式. 由于GPS的定时校正作用, 系统地位置误差呈现收敛的曲线, 误差范围在2m以内, 具有较高的定位精度.

7 结语

基于浮点 DSP 和 ARM 系列微处理器 S3C44B0X 构成的光纤 SINS/GPS 组合导航计算机, 采用主从式多处理器结构、高精度数据采集电路、双口 RAM 并行数据传送模式和 FPGA 接口电路的设计, 使系统脱离了通用计算机平台, 三轴转台实验证明该系统能满足精度高、体积小、实时性好、功耗低等要求, 对导

静水阻力.

参考文献:

- [1] 卢晨. 小水面中体五体车客渡船概念设计及全船结构有限元分析[D]. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 2005.
- [2] Nigel Gee, Edward Dudson, Hans Steiger. The Pentamaran-A New Hull Concept for Fast Freight and Car Ferry Applications [EB/OL]. <http://www.ngal.co.uk/downloads/techpapers/paper9.pdf>.
- [3] Nigel Gee. Applications of the Pentamaran Hull Form for Fast Sealift and Freight Applications [EB/OL]. http://www.nsrp.org/panels/pdmt/downloads/pentamaran_hull_form.pdf.
- [4] 李培勇, 裘泳铭, 顾敏童, 许统铨. 多体船完整稳性计算[J]. 上海交通大学学报, 2002, (36): 1560-1563.
- [5] 盛振邦, 刘应中. 船舶原理[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.
- [6] 李培勇. 多体船型的性能及概念设计研究[D]. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 2002.
- [7] 中国船舶检验局编译. 国际海事组织-国际高速船安全规则[S]. 北京: 人民交通出版社, 1995.

航系统在微小型领域的广泛使用具有实际意义.

参考文献:

- [1] 袁信. 捷联式惯性导航原理[M]. 北京: 航空专业教材编审组, 1985.
- [2] Canadian Marconi Company. User's manual-ALLATAR [EB/OL]. Publication No. 1200-GEN-0101A, 1998.
- [3] Mohammad Carhang-Negad, Gabor C Temes. A high-resolution multi-bit $\Sigma\Delta$ ADC with digital correction and relaxed amplifier requirement[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1993, 28(6): 648-660.
- [4] Un-Ku Moon, Gabor C Temes, Jesper Steensgaard. Digital technique for improving the accuracy of data converters[J]. IEEE Communications Magazine, 1998, (10): 136-143.
- [5] 张大庆. 基于浮点 DSP 的主从式多处理器在数据采集与处理系统中的应用[J]. 电气自动化, 2002, (5): 49-52.
- [6] 薛志宏. 基于DSP和单片机的双CPU导航计算机设计[J]. 导航, 2003, 39(2): 86, 292, 142.
- [7] 李宏生. 基于DSP的主从式紧耦合捷联导航计算机[J]. 中国惯性技术学报, 2001, 9(3): 34-38.
- [8] Texas Instruments. TM S320C3x User's Guide[Z]. 1997.