

SINS/GPS 组合导航系统的嵌入式软件设计

廖勇^{1,2}, 齐俊杰², 麻信洛²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 空军 95824 部队, 北京 100097)

摘要:开发了基于 SINS/GPS 组合导航系统的嵌入式软件。在研究 SINS/GPS 组合导航基本原理的基础上,提出了软件的总体设计方案,给出了详细的软件设计过程,编写了系统的启动程序,设计了中断驱动方式的主程序结构,并通过采用汇编语言和 C 语言的混合编译方式完成程序的设计,通过实际应用,表明基于嵌入式软件设计的 SINS/GPS 组合导航系统具有较强的容错能力和余度能力。

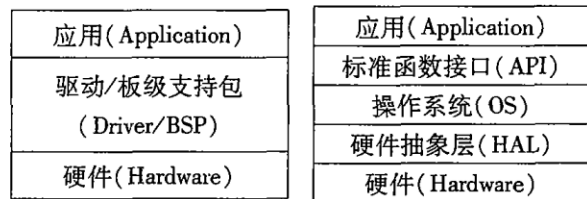
关键词:SINS/GPS ; 嵌入式软件 ; 混合编译

中图分类号: TN967.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2007)06 - 0019 - 04

随着现代电子信息技术的发展,嵌入式技术的应用越来越广泛^[1-2]。尤其是在导航领域,导航设备正朝小型化、微型化应用发展,而且对系统精度和实时性要求也越来越高,而嵌入式技术能够很好的满足这些应用要求。SINS/GPS 组合导航能够增强导航系统容错能力和余度能力,研究高精度、高可靠性、小体积、低成本的 SINS/GPS 组合导航系统具有重要意义,在飞机、舰船或其它对导航系统体积和性能有严格要求的领域具有潜在的应用价值。本文在研究 SINS 与 GPS 基本原理的基础上,根据 SINS/GPS 组合导航系统滤波算法和系统的组合方案,对 SINS/GPS 组合导航系统进行了软件设计。

1 嵌入式软件开发的特点

不同于通用计算机和工作站上的软件开发过程,嵌入式软件的开发具有很多特点和不确定性^[3]。一个显著问题是嵌入式软件与硬件之间具有紧密的耦合关系。这就要求在开发嵌入式软件时,必须考虑系统的硬件部分,以硬件为基础进行设计。在嵌入式系统中存在 2 种软件结构模型^[4],如图 1 所示。图 1(a)的应用层直接建立在驱动/板级支持包上,设计者不必考虑操作系统,但是却要求其自行开发底层驱动程序。图 1(b)比图 1(a)多了一个硬件抽象层、操作系统和标准函数接口,应用层通过标准函数接口 API 调用操作系统提供的服务。这使得应用层的开发可以在更高的层面上进行,减小了底层开发难度。



(a) 不带操作系统支持 (b) 带操作系统支持

图 1 2 种不同的嵌入式软件结构

本文采用基于不带操作系统支持的软件结构设计 SINS/GPS 组合导航系统嵌入式软件^[5-7]。

2 基于反馈的 SINS/GPS 组合导航系统滤波算法

基于反馈的跟踪融合滤波算法在融合中心对雷达和红外形成的航迹进行融合获得融合航迹;再把它预测状态及其协方差阵反馈到 SINS/GPS 组合导航系统作为它们的预测状态及其协方差阵,从而避免了互

收稿日期:2007 - 06 - 20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50505001)

作者简介:廖勇(1976 -),男,河南信阳人,副教授,博士生,主要从事计算机应用技术研究。

协方差阵的影响。这种方法是全局最小均方意义下的融合,算法具有一定的鲁棒性。

假设 $P^i(k|k)$ 和 $P^i(k|k-1)$ 分别为传感器 i 的滤波协方差阵和一步预测协方差阵,若把系统融合的一步预测估计值及其一步预测协方差阵反馈到 SINS/GP,即令

$$P^i(k|k-1) = P(k|k-1) \quad i=1,2, \quad \hat{X}^i(k|k-1) = \hat{X}(k|k-1) \quad i=1,2 \quad (1)$$

$$\text{则有} \quad P^i(k|k) = [(P(k|k-1))^{-1} + (H^i)^T (R^i)^{-1} H^i]^{-1} \quad (2)$$

则融合后目标的状态估计为

$$\hat{X}(K|K) = [I - \bar{K}_2(k) H^2(k)] \hat{X}^1(K|K) + [I - \bar{K}_1(k) H^1(k)] \hat{X}^2(K|K) - [I - \bar{K}_1(k) H^1(k) \bar{K}_2(k) H^2(k)] \hat{X}(K|K-1) \quad (3)$$

3 SINS/GPS 组合导航系统嵌入式软件设计主要过程

3.1 系统的启动代码

一般在 32 位 ARM 应用系统中,大多数采用 C 语言进行软件编程。但是在运行应用代码前进行系统初始化时,常用一个汇编文件作启动代码,用它来实现中断向量表的建立、堆栈初始化、系统变量初始化、中断系统初始化、I/O 初始化、外围部件初始化、地址重映射等操作。在所有的初始化工作完成之后才能把程序流程转入主应用程序。下面只给出部分的初始化工作。

1) 建立中断向量表。中断向量表用于处理异常情况以及外部中断。ARM 要求中断向量表必须放置在从 0 地址开始,连续 8×4 字节的空间内。各个中断向量在向量表中的位置分配如图 2 所示。

中断发生以后,ARM 处理器便强制把 PC 指针置为向量表中对应中断类型的地址值。因为每个中断只占据向量表中 1 个字的存储器空间,只能放置 1 条 ARM 指令,所以通常在向量表中放的是跳转指令,使程序能从向量表里跳转到存储器里的其他地方,再执行中断处理。

• LPC2210 支持存储器地址重映射。存储器重新映射的部分允许在不同模式下处理中断,它包括中断向量区 32 字节和额外的 32 字节,重新映射的代码位置与地址 $0x00000000 - 0x0000003F$ 重叠。包含在 SRAM、外部存储器和 Boot Block 中的向量必须包含跳转到实际中断处理程序的分支或者其它执行跳转到中断处理程序的转移指令。

2) 初始化外部总线控制器。首先利用管脚配置寄存器 PINSEL2,把相应管脚配置成外部存储器数据线 D[15: 1],外部存储器地址线 A[23: 0],输出使能信号 OE,字节定位选择信号 BLS[1: 0],写使能信号 WE,芯片选择信号 CS[1: 0]。对外部存储器控制器的配置包括以下几个方面:①一个存储器组内部的读写访问之间以及访问一个存储器组和访问另一个存储器组之间需要间隔的空闲时钟周期个数(1-17 个时钟)以避免器件间总线的相互争用;②读访问长度;③写访问长度(3-19 个时钟);④存储器组是否写保护;⑤存储器组的总线宽度 8、16 或 32 bit,本系统配置成 16 bit。

3) 初始化系统堆栈。ARM 处理器支持七种运行模式,每种模式都有自己的堆栈,在启动代码中要对各个模式的堆栈进行初始化,通过修改当前程序状态寄存器 CPSR,转换到相应的处理器模式,再对每种模式自己的堆栈进行设置。

3.2 系统主应用程序的设计

考虑到系统的实时性,系统对定时器、键盘按键、GPS-OEM 板输出信息等事件的响应都是以中断的形式进行处理的。系统以链表的形式设计了一个中断队列,各个事件的中断服务函数只是在中断队列放入相应的代表中断的消息,并不提供完整的中断服务,完整的中断服务在对中断消息进行处理时提供。消息包括中断类型,中断优先级以及指向下一个消息的指针。主函数类似于 WIN32 的消息解析函数,函数 IsIntQueueEmpty() 不断扫描中断队列是否有中断产生,如果有,函数 GetFirstInt() 首先判断消息的优先级并返回优先级最高的消息类型,继而对消息所代表的中断提供相应的操作。

3.3 定位数据的读取

由于是角速率传感器、加速度传感器等多传感器共享 RS-485 总线,为了防止总线冲突,必须对各传感

...	...	
0x1C	FIQ	外部快速中断
0x18	IRQ	普通外部中断
0x14	(Reserved)	保留
0x10	Data Abort	数据异常
0x0C	Prefetch Abort	指令预取异常
0x08	Software Interrupt	软件中断
0x04	Undef	未定义指令中断
0x00	Reset	复位中断

图 2 中断向量表

器节点地址设置不同的值。本文所选用的传感器支持 2 种输出模式: 随机输出和连续输出。在随机输出模式中, 外部每发送一个命令, 传感器就以一定的格式输出一个响应, 在连续输出模式中, 传感器以固定速率向外部发送当前敏感值, 而无须外部命令。传感器默认方式是连续输出模式。如果采用默认模式, 由于是多个传感器周期性的占据 RS-485 总线, 各传感器输出响应的时刻难以控制, 容易发生总线冲突, 也给读取传感器

器输出值的服务程序的设计造成困难。在本文的设计中, 在初始化时将传感器输出模式改为随机输出, 利用定时器以一定周期定时产生定时器中断, 定时器中断消息的服务程序首先应关中断, 保证读取数据的同步, 然后以轮询的方式向各个传感器发送命令并接收响应来获得各个传感器的敏感值, 进行捷联解算后再开中断。在发送命令时如果传感器没有响应应该多试几次, 读取数据后要进行相应的故障检测与识别。读取传感器敏感值的程序流程图如图 3 所示。

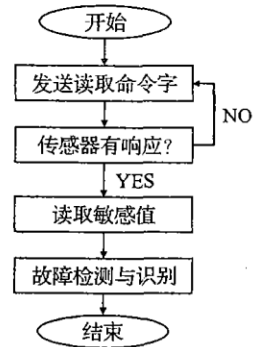


图 3 读取惯性传感器敏感值流程图

TFAG200 接收板软件接口包括输入、输出语句 2 类^[8]。用户可以通过输入语句对 GPS 接收机进行初始化, 这包括输入本地粗略坐标, 近似时间、导航模式、通信速率、输出语句的选择等等。输出数据是 GPS 接收机向用户发送的定位信息, 这正是我们所需要的。实际应用中可根据需要选定不同的输出语句。GPS 接收机的输出语句均按串行通信协议, 数据格式可通过 \$PSRF100, 1, 9600, 8, 1, 0 * 0C 设为 8 个数据位, 1 个停止位, 无奇偶校验, 波特率为 9 600 bit/s, 数据格式为 ASCII 字符码。其输出语句达十多种, 包括 GGA, GSA, GSV, VTG 等。这些定位数据语句不仅给出了位置、速度、时间等信息, 而且指出当地的卫星接收情况。

OEM 板每隔 1s 自动输出位置和观测数据帧 1 次, 但星历数据不是自动输出的, 必须先给 OEM 板输入指令, OEM 板才能够输出星历数据。这需要编制初始化程序, 通过命令语句 \$PSRF103 选择相应的输出语句。初始化时本文选择的输出语句为“\$GPGGA”。

3.4 图形液晶显示的实现

HS12864-10A 图形点阵液晶显示器, 显示模块点阵为 64 × 128, 其字符字体显示可由硬件设置为 5 × 8, 6 × 8, 7 × 8, 8 × 8 之中的任意一种形式来实现。可以以图形方式、文本方式及图形和文本结合方式进行显示, 以及可以实现字符方式下的特征显示。它具有内部字符发生器 CGROM, 共 128 个字符。T6963C 可管理 64 k RAM 作为显示缓冲区及字符发生器 CGROM, 并可允许 MPU 随时访问显示缓冲区。向 T6963C 发送数据或命令先要判断 T6963C 的当前状态, 只有在允许的状态下处理器对 T6963C 的操作才有效。

向 T6963C 发送数据或命令时, 首先判断 T6963C 的当前状态; 只有在允许接收数据时 (S1 = 1) 才能向器件的数据入口地址处发送数据/参数; 只有在允许接收命令时 (S0 = 1) 才能向器件的命令入口地址处发送命令; 每条指令的执行, 都先送入参数 (若有的话), 再送入指令代码。

进行程序设计时, 由于向 T6963C 发送数据或命令属于内存映射 I/O, 可把诸如写命令和写数据的子程序定义成类似于函数的宏, 比较直观, 也使程序易于阅读, 相关宏如表 1 所示。

表 1 相关宏定义

名称	功能	定义相关宏
LCD_WriteCommand()	写命令子程序	#define LCD_WriteCommand HS12864_COM = (uint16) command
LCD_WriteData()	写数据子程序	#define LCD_WriteData(dat) HS12864_DAT = (uint16) dat
LCD_ReadState()	读取状态字子程序	#define LCD_ReadState() HS12864_COM
LCD_ReadData()	读取数据子程序	#define LCD_ReadData() HS12864_DAT

有了上面的基础就可以为 T6963C 控制器编写点阵图形液晶显示器的驱动程序, 如需编写无参数、单参数、双参数的命令写程序, 写 1 字节数据子程序以及 LCM 的初始化函数等。双参数的命令写程序的流程图如图 4 所示。

利用已编写的液晶显示驱动程序就可以编写显示程序将导航结果显示出来。本文以文本和图形两种方式对导航结果进行显示。文本方式以文本的形式将导航结果实时地显示出来。图形方式可以显示航迹, 把液晶屏左上角选为坐标原点, 经纬度的确定以把航迹显示在中间为准。

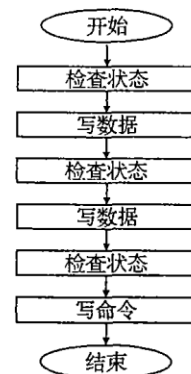


图 4 带双参数的命令写程序流程图

4 结束语

本文研究了 SINS/GPS 组合导航系统的嵌入式软件设计。提出了软件的总体设计方案,给出了详细的软件设计过程,编写了系统的启动程序,设计了中断驱动方式的主程序结构,用汇编语言设计了系统的底层驱动程序,用 C 语言来设计主应用程序。本文采用了汇编语言和 C 语言的混合编译方式,不仅优化了系统的运行速度,而且也加快了开发进度。

参考文献:

- [1] 夏靖波,王 航,陈雅容. 嵌入式原理与开发[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006.
- [2] 王 勇,刘光灿. DSP 在捷联惯性制导技术中的应用[J]. 微处理机,2003,12(1):62-64.
- [3] 李 科,王安健,张太平. 选择合适的嵌入式系统硬件平台进行 GPS 设备开发[J]. 测绘与空间地理信息,2006,29(2):71-73.
- [4] 龙 腾. DSP 系统多通道数据采集的高效实现[J]. 北京理工大学学报,1996,16(6):675-679.
- [5] 龚真春,宋执环. 嵌入式 GPS/MIMS 组合导航系统的设计与应用[J]. 计算机工程与应用,2005,41(9):108-110.
- [6] 杨 恒. ARM 嵌入式系统设计及实践[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2005.
- [7] Taiwan Falcon Aerospace Corporation. Reference Guideline to TFAC GPS Engine Board Series - TFAG 10/100/200[EB/OL]. <http://www.tfac.com.tw>,2001
- [8] 王美龄,牛剑凯,刘 彤. 一种应用于嵌入式领域的 GPS 接收机的硬件设计[J]. 中国惯性技术学报,2006,14(2):43-46.

(编辑:田新华)

Embedded Software Design of SINS / GPS Combination Navigation System

LIAO Yong^{1,2}, QI Jun-jie², MA Xin-luo²

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. Unit 95824 of Air Force, Beijing 100097, China)

Abstract: Embedded software design of SINS / GPS Combination Navigation System is developed, the whole design project of the software is proposed, the detailed design process of the software is given, the start-up program of the system is compiled, and the main program structure of the hold drive mode is devised in this thesis. The blended translation and edition of the assembly language and C language are adopted, which can not only optimize the run speed of the system, but also accelerate the exploration schedule of it.

Key words: ship's inertial navigation system (SINS); global position system (GPS); embedded; blended translation and edition