

基于 MEMS 陀螺仪的微惯性测量系统的实现

Inertia measure using MEMS gyroscope

(清华大学) 王 犇 袁 涛 谭 涛

WANG Ben YUAN Tao TAN Tao

摘要: 微机电 (MEMS) 惯性传感器应用日益广泛, 本文给出了一种基于新型 MEMS 陀螺仪的微惯性测量系统的实现。系统采用了 ANALOG DEVICES 公司的 ADIS16255 陀螺仪, 其精度较高, 并增加了校准功能, 能够在内部对敏感度和偏差因子进行补偿。系统具有体积小、重量轻、可扩展性好等特点。本文给出了系统的原理图和软件流程的关键内容。

关键词: 微惯性测量系统; MEMS 陀螺仪

中图分类号: TP212.9 **文献标识码:** B

Abstract: MEMS (Micro-Electro-Mechanical system) inertial sensor has been widely used. This paper presents a micro inertia measure system based on a new kind of MEMS gyroscope. The measure system adopts an ADIS16255 gyroscope from ANALOG DEVICES company, it has a high precision, and enables self-calibration. This system is small, light and easy to expand. In this paper, we give the design principles and software flow chart.

Key words: Micro inertia measure system; MEMS gyroscope

目前, 运动检测和姿态跟踪在自动导航、电脑输入和虚拟现实等方面得到了广泛的应用。目前的运动检测一般采用光学或电磁场等方法来实现。然而, 光学检测对周围环境的照明情况很敏感, 运动物体也必须保持在检测系统的可观察范围之内, 同时电磁场检测也很容易受到环境中金属物体或其他物体的电磁干扰的影响。使用陀螺仪的惯性测量系统则不会被外界的照明情况或电磁干扰所影响。

随着微机电电子系统 (MEMS) 技术的不断成熟, MEMS 惯性传感器得到了广泛的发展, 其中, 由于微机械陀螺仪具有体积小、能耗低、机电性能好, 可以集成化的优点, 因此很适合应用在对精度要求不是很高的民用惯性测量系统中。

ANALOG DEVICES 公司的 ADIS16255 陀螺仪具有测量精度高, 并具有自校准等功能, 特别适用于运动检测、姿态跟踪等领域, 因此设计的硬件电路采用了此种芯片。

1 系统的硬件原理及电路设计

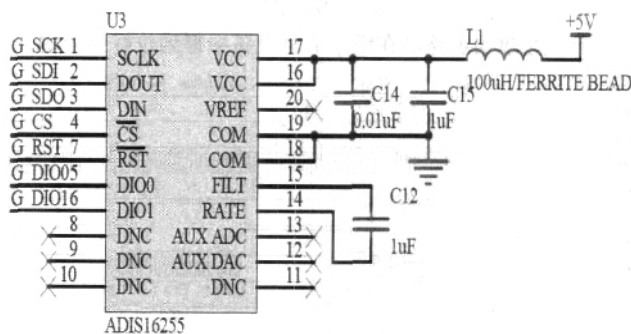
ANALOG DEVICE 公司的 ADIS16255 型陀螺仪为单轴陀螺仪, 其具有很高的集成度。工作温度范围为 -40°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$, 电源电压的范围为 4.75V ~ 5.25V 。其提供了三档不同的量程范围, 分别为、和, 应用中可以根据系统实际要求自由选择。在量程为, 温度为 25°C 的时候, 测量精度达到了 $0.01832^{\circ}\text{sec/LSB}$, 能够满足一般测量的要求。陀螺仪具有两个通用的 I/O 输出口 DIO0 和 DIO1, 可以将其中的一个配置为数据转换完成提醒端口, 当其完成每次数据转换后, 会拉低这个输出口, 从而可以使单片机进入中断程序, 从而读出转换完成的数据。陀螺仪内部已经对温度和电压波动引起的偏差做了一定的补偿, 因此, 由温度和电压波动引起的偏差较小。

陀螺仪还提供了校准功能, 可以通过设置敏感度因子 (GYRO_SCALE) 和偏置因子 (GYRO_OFF) 来校正输出数据。如下式 1) 所示:

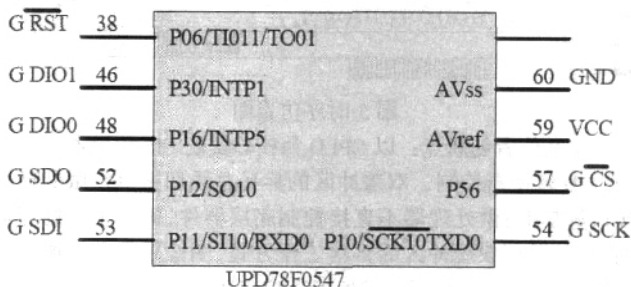
$$y = mx + b \quad (1)$$

y 是校准后输出的数据, x 是校准前的数据, m 是敏感度因子, b 是偏置因子。默认状态的 $m=1, b=0$ 。

陀螺仪和单片机的外围电路设计如下图 1) 和 2) 所示:



图(1)



图(2)

王 犇: 硕士研究生

其中, SCLK 是陀螺仪的 SPI 通信的时钟引脚, 与单片机的 SPI 时钟引脚相连; DIN 和 DOUT 是陀螺仪 SPI 通信的数据输入和输出引脚, 与单片机的 SPI 通信的数据输出和输入相连; 和是陀螺仪的片选信号引脚以及复位引脚, 与单片机的两个 I/O 引脚相连; DIO0 和 DIO1 是数据转换完后的中断引脚, 分别与单片机的 INTP5 和 INTP1 相连。

2 系统工作原理和软件设计

ADIS16255 陀螺仪所有的数据和命令的读取和写入都通过读写寄存器来完成。所有的寄存器数据长度都是 16 位, 地址长度为 6 位。在写入寄存器时, DIN 的前两位是 10, 后 6 位为寄存器的地址, 最后 8 位是写入的数据, 因此, 一个 16 位的寄存器需要两个数据帧写完。当读出寄存器时, 第一个数据帧的前两位是 00, 后 6 位为寄存器的地址, 最后 8 位无意义, 在第二个数据帧中, DOUT 引脚将输出寄存器的数据, 因此, 如果是一个单次的读寄存器操作, 需要 2 个数据帧来完成。在读出的 16 位的数据中, 第一位为新数据提醒标志位 (ND), 当输出寄存器更新后, 新数据提醒标志位被置 1, 当其被读出后, 提醒标志位归 0。第二位为错误提醒标志位 (EA), 当其置 1 的时候, 表示数据出现了错误。

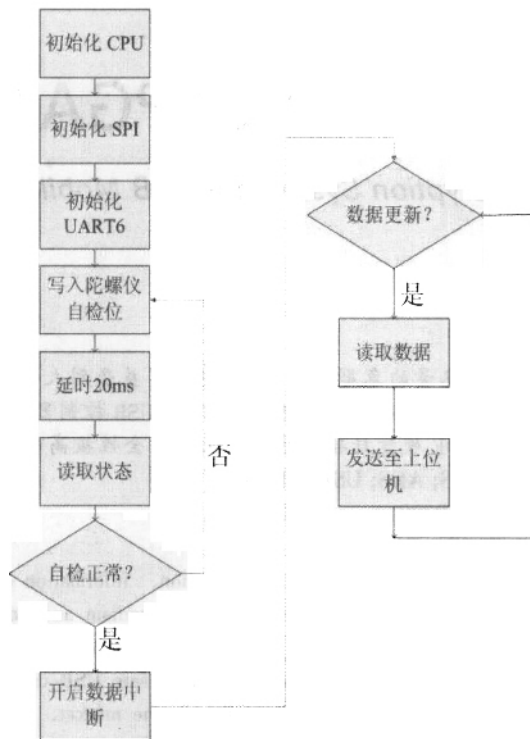
在正确使用陀螺仪之前, 首先, 需要对陀螺仪的各个寄存器进行正确的设置。基本的设置流程如下:

- (1) 设置 GYRO_OFF 和 GYRO_SCALE 寄存器, 对陀螺仪输出的敏感度和偏差进行用户自校准。
- (2) 设置 SMPL_PRD 寄存器, 设置合适的采样频率。
- (3) 设置 SENS/AVG 寄存器, 定义动态范围以及对应的数字滤波器。
- (4) 设置 MSC_CTRL 寄存器, 定义自检位以及数据更新中断位。
- (5) 设置 COMMAND 寄存器, 定义数据校正模式。
- (6) 设置 ALM_CTRL 寄存器, 设置数据报警。

在读出陀螺仪的角速度以及角度数据之前, 先要对陀螺仪的状态进行检查, 确认陀螺仪的机械结构完好。ADIS16255 陀螺仪提供了内部自检的功能, 可以方便的得到陀螺仪内部的情况。具体操作为将 MSC_CTRL 的第 10 位置高, 20ms 后, 读取状态寄存器的值, 如果为 0X0000, 表明自检通过, 否则表明陀螺仪存在如供电超限, SPI 通信错误等问题, 相应的错误位将在状态寄存器中标出。

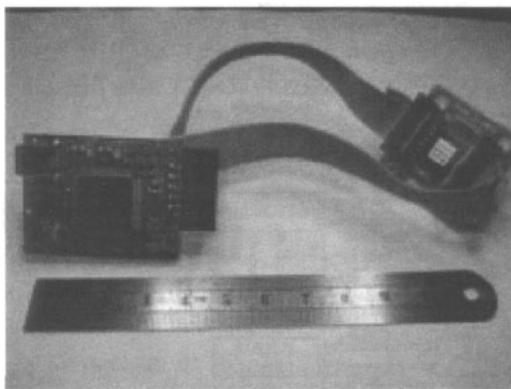
在微惯性测量系统的应用中, 需要连续的读取角速度或者角度的信息。ADIS16255 陀螺仪的数据寄存器在内部按照采样频率实时更新, 与外部读取频率没有关系。单片机读出其数据可以有两种方法, 第一是查询的方法, 当设置好采样频率后, 可以由单片机定时的去读取需要的寄存器的值。在这种方法中, 单片机无法精确的知道陀螺仪的数据更新时间, 如果读取频率过高, 会浪费单片机的计算资源, 如果读取频率过低, 则会降低系统的精度。第二种是中断的方法, 通过对 MSC_CTRL 寄存器的设置, 可以使其当寄存器中的数据更新完成后, 会在 DIO0 或 DIO1 引脚上产生一个上升沿信号或者一个下降沿信号, 这个信号可以触发单片机的一次中断, 在中断程序中读取寄存器的数据。在本文中, 采用了中断的方法来读寄存器。

软件的流程图见图 3。



图(3)

系统的实物图见图 4)



图(4)

3 实验结果

在系统测试中, 我们对温度寄存器 (TEMP_OUT)、角速度寄存器 (GYRO_OUT) 和角度寄存器 (ANGL_OUT) 进行了读取和初步分析。

在室温下, 读取温度寄存器的值为 0X808F, 其数据位为后 12 位, 补码格式, 分辨率为 0.1453 °LSB, 测得温度为 21 °C。

当陀螺仪静止时, 读取角速度寄存器的值为 0X8001, 其数据位为后 14 位, 补码格式, 当量程为时, 分辨率为 0.07326 °/sec, 角速度值基本为零。

当陀螺仪静止时, 读取角度寄存器的值, 然后将陀螺仪顺时针转动 90°, 再次读取角度寄存器的值, 两次读数为 0X8B72 和 0X952B, 其数据位为后 14 位, 二进制格式, 分辨率为 0.03663°, 得出转动角度为 91°, 很好的和实际转动角度吻合。(下转第 21 页)

(1) 作为本机驱动的一种, LCD 驱动会在系统启动时, 同操作系统内核一起被加载。LCD 驱动程序是由 gves.exe 加载的; gves.exe 的加载过程由 common.reg 等配置文件进行控制, 在 device.exe 成功启动后, gves.exe 才会被加载和启动; 而 explorer.exe 成功运行时 WCE5.0 的 LOGO(图标) 才能显示出来。了解这些, 在移植过程中, 尤其在验证 LCD 驱动程序时是十分必要的。

"Launch20"="device.exe" ; 数值越小, 加载越早

"Depend20"=hex:0a,00

.....

"Launch30"="gves.exe"

"Depend30"=hex:14,00 ; 依赖关系, 表明 gves.exe 的加载依赖于 device.exe

笔者曾经遇到过由于触摸屏驱动异常, 导致 device.exe 加载失败, 进而引起 gves.exe 的加载异常。设置为禁止加载触摸屏驱动后, device.exe 和 gves.exe 均加载成功, 而后 LCD 驱动被正常调用。

(2) 为了确保代码中 LCD 硬件部分配置正确, 可以利用 ADS, EMBEST IDE 等开发工具, 使用与 WCE 下相同的硬件配置, 写一个简单的 LCD 实验程序(不挂载到任何嵌入式操作系统下), 对其进行验证。此外, 在函数中利用串口输出语句, 跟踪函数调用过程, 或者输出关键参数的实际值, 对于调试程序以及加深对驱动程序的理解是十分有效的手段。

(3) 在 LCD 驱动程序移植中有两个很重要的概念容易混淆, 说明如下:

Frame buffer:

通常称为帧缓存。用来接收 LCD 控制器发送的像素值以便将图像显示在屏幕上。其大小根据公式($\text{ScreenHeight} \times \text{ScreenWidth} \times \text{colorDepth} / 8$)决定。

Primary surface:

是 GDI(图形设备接口)对 frame buffer 的封装。实际分配的时候, 能保证其不小于 frame buffer 大小即可。

5 结束语

本文创新点: 笔者采用深圳英蓓特公司基于 S3C2410 的开发箱 EDUKIT-III, 在 WCE4.2 和 WCE5.0 下均实现了 LCD 驱动程序的成功移植。本文详细介绍了 WCE5.0 下的 LCD 驱动程序的实现机制, 并对比了 WCE 4.2 与 5.0 下驱动程序的差异, 进而分析了 LCD 驱动移植的方法及要点。希望能为读者进行 WCE 下 LCD 驱动程序的移植提供一定的参考。

经济效益: 10 万元

参考文献

- [1] S3C2410 datasheet Samsung Semiconductor, Inc.
 - [2] 张东泉、谭南林、王雪梅、焦风川编著 Windows CE 实用开发技术[M] 电子工业出版社 2006
 - [3] Platform Builder for Microsoft Windows CE 5.0 Help 2004
 - [4] 姚胜兴. 基于嵌入式系统的彩色液晶显示驱动控制[J]. 微计算机信息, 2007, 1-2: 57-59
- 作者简介: 方安平, 女, 1955-, 副教授, 研究方向: 嵌入式系统; 库少平, 男, 1969-, 副教授, 研究方向: 嵌入式系统; 丁智勇, 男, 1980-, 硕士生, 研究方向: 嵌入式系统; 专业: 计算机科学与技术。

Biography: FANG An-ping, female, 1955 -, associate professor, research field: Embedded system.

(430070 湖北武汉 武汉理工大学 计算机科学与技术学院) 方安平

(School of Compute Science & Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan, 430070) FANG An-ping

通讯地址: (430070 武汉理工大学 鉴湖校区 计算机科学与技术学院嵌入式与远程监控实验室) 方安平

(收稿日期: 2008.07.23)(修稿日期: 2008.09.05)

(上接第 153 页)

4 结论

本文的创新点为采用了单片机 NEC ?PD78F0547 和 ADIS16255 型陀螺仪组成了一个微惯性测量单元, 给出了硬件原理图和软件流程图, 该测量单元具有体积小、重量轻、精度较高等优点, 在实验室条件下已经取得了预期的效果。

参考文献

- [1] 杨国华. 微机电系统 (MEMS) 产品及其促进市场化途径的研究[J]. 微计算机信息, 2006, 7-2: 230
- [2] Programmable Low Power Gyroscope, ADIS16255 data sheet. ANALOG DEVICES, 2007 <http://www. www.analog.com>
- [3] 单片机 C 高级语言程序设计及其应用, 袁涛, 李月香, 杨胜利著, 北京航空航天大学出版社。

作者简介: 王犇 (1985-), 男, 清华大学自动化系硕士研究生, 研究方向: 微惯性装置在检测方向的应用。

Biography: WANG Ben, born in 1985, master, study in automation department of Tsinghua university, research direction: micro inertia measurement.

通讯地址: (100084 北京 清华大学中央主楼 428 NEC 嵌入式实验室) 王犇

(收稿日期: 2008.07.23)(修稿日期: 2008.09.05)

《PLC技术应用200例》

PLC(可编程序控制器)广泛地应用在冶金、机械、机器人、石油化工、电力传动、纺织机械、注塑机、包装机械、印刷机械、造纸机械、机床、自来水厂、污水处理、煤矿机械、焊接机器、榨糖机械、制烟机械、工程机械、水泥机械、玻璃机械、食品机械、灌装机械、橡胶机械、船舶、铁路、窑炉、车辆、智能建筑、电梯控制、中央空调控制、大型医疗机械、起重卷扬机械、大坝闸门、大型泵站.....

各行各业机械工程师, 电气设备工程师, 高级技工都需要具备 PLC 的知识, 才能做好本职工作。本书汇集 200 多个硬 PLC 和软 PLC 在各行业的应用实例, PLC 故障诊断实例, PLC 抗干扰措施, PLC 使用经验、PLC 技术发展, 均在本书之中论述。

本书适合大专院校机械类、电气类、电力类、自动控制 and 自动化类专业的本科、研究生做毕业设计参考, 同时适合老师进行教学、搞科研项目参考。本书是上述各行业的工程技术人员, 技术工人的必备参考书, 同时也是工厂和科研单位的技术领导, 设备采购负责人的参考书。凡具备高中以上文化水平的人均可成为读者。

200 多个西门子、三菱、美国通用电气、施耐德、欧姆龙、罗克韦尔、松下电器、和泉.....等 PLC 应用实例, 任您选读。一技之长, 改变人生。

大 16 开, 每册定价 110 元(含邮费)。预购者请将书款及邮寄费通过邮局汇款至

地址: 北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息 邮编: 100081

电话: 010-62132436 010-62192616(T/F)

<http://www.autocontrol.com.cn> <http://www.autocontrol.cn>

E-mail: editor@autocontrol.com.cn; E-mail: control-2@163.com