

〈系统与设计〉

基于 PSoC 的陀螺仪数据采集系统设计与实现

韩 颖

(中国空空导弹研究院 计量中心, 河南 洛阳 471000)

摘要:本文介绍了在红外成像导引系统中应用 PSoC 开发板对 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 陀螺仪数据进行采集的设计与实现。以 PSoC 5 为控制核心, 提出了一种系统质量高、成本低、功耗低、同时还能满足设计要求的设计方案。详细介绍 PSoC 5 硬件与软件的实现过程, 并设计静态与动态实验进行数据分析, 证明该数据采集系统拥有较高的测量精度。

关键词: PSoC; MEMS 陀螺仪; 数据采集

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2020)09-0905-04

Design and Implementation of a Data Acquisition System for Gyroscopes Based on PSoC

HAN Ying

(China Airborne Missile Academy Metrology and Testing Center, Luoyang 471000, China)

Abstract: This paper introduces a data acquisition system for a MEMS gyroscope using a PSoC development board, for use in infrared imaging guidance systems. Using a PSoC 5 as the control core, we proposed a design scheme with high quality, low cost, low power consumption, which satisfied the design requirements. We performed a detailed investigation regarding the realization process of the hardware and software of the PSoC 5. Static and dynamic experiments were designed for data analysis. It is shown that the data acquisition system has high measurement accuracy.

Key words: PSoC, MEMS gyroscope, data acquisition

0 引言

在红外成像系统中为了消除导弹快速飞行过程中受到的振动等造成的视频信号不稳定, 必须要对视频信号进行稳像处理^[1], 通常采用现场可编程门阵列 FPGA 或在系统可编程模拟电路 ispPAC 完成视频信号的采集。在本设计中, 将新兴的可编程片上系统 PSoC 运用在稳像系统中, 对 ADXRS622 型单轴 MEMS 陀螺仪的 Z 轴角速度输出信号进行采集, 通过基于串口通讯的上位机测控软件对采集到的陀螺仪数据进行接受、保存, 并用 Matlab 程序进行 Allan 方差分析, 确定该方案切实可行。这一设计, 集微控制器、可编程数字阵列和可编程模拟阵列为一体, 特别适合于要求精密且体积小巧的应用^[2-3], 这就为未来减小稳像系统体积奠定了基础。

1 数据采集系统设计

基于 PSoC (Programmable System on Chip) 的陀螺仪数据采集系统结构设计如图 1。通过设计数据采集模块将稳像系统中陀螺仪输出的模拟信号采集出来, 并转换为数字信号发送给 PSoC 开发板后, 通过串口与 PC 机连接, 在 PC 机上完成对采集到的陀螺仪数据的后续处理。PSoC 核心部分包含 PSoC 的硬件设计与软件设计, 主要负责陀螺仪数据的采集、存储以及通信。

2 PSoC 开发工具

CY8CKIT-001 PSoC®开发工具包中包含 PSoC5、PSoC3、PSoC1 三个系列。

在本设计中选用市场发展潜力更大的^[4]PSoC5 模

收稿日期: 2019-08-18; 修订日期: 2020-07-05。

作者简介: 韩颖 (1988-), 女, 浙江温州人, 汉族, 硕士研究生, 主要从事光学计量专业。E-mail: hyloveconan@163.com。

块板实现数据采集系统的时序控制和通讯控制^[5-6]。PSoC 5 性能参数如表 1 所示。

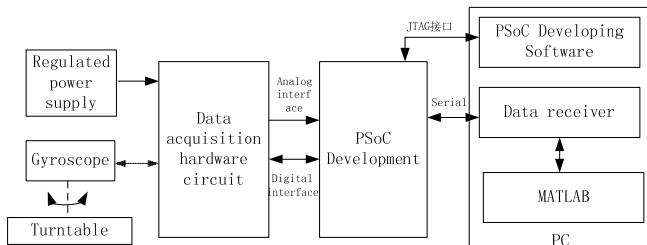


图 1 PSoC 陀螺仪数据采集系统结构

Fig.1 The gyroscope data acquisition structure based on PSoC

开发包中包含的 PSoC Creator 集成开发环境支持 C 语言，且 PSoC C 语言基本上是标准的 ANSI C，在 PSoC Designer 中编译器也具有很高的编译效率。因此，在本次编译过程中采用 C 语言进行 PSoC 5 的嵌入式程序的开发。

3 PSoC 平台硬件设计

根据系统需要，在 PSoC Creator 软件中使用原理图设计工具完成了 PSoC 5 的硬件设计，主要包括定时器、串行通讯控制器和 A/D 并行数字接口等 3 种功能模块。

3.1 工程创建及处理器选型

设计工程名称为：HY_UART；器件架构为：Empty PSoC5LP design；具体器件型号为：CY8C5868AXI-LP035。

3.2 系统时钟设计

根据开发工具包的时钟资源和应用系统的要求将时钟设计为 33 MHz。

3.3 定时器模块

定时器模块用于提供 1 ms 定时周期，控制 A/D 转换器按照 1 kHz 的采样频率进行模数转换。因此，设计输入时钟频率 100 kHz，定时周期 1 ms，8 bit 减法计数器，连续运行，以 TC 信号为中断源。

3.4 UART 模块

UART 模块用于串行通讯控制。设计波特率 115200，1 位起始位，1 位停止位，1 位偶校验，8 位数据位，只使用接收中断。

3.5 并行数字接口

并行数字接口用于 16 位六通道同步采样芯片 AD7656 的并行输出数据接口及时序控制，在 PSoC Creator 中，并没有提供标准的并行数字接口模块。经过研究设计使用 EMIF 接口作为并行接口的主体，并配置 1 个控制寄存器和 1 个状态寄存器作为控制信号和状态信号用来实现并行数字接口。

EMIF 接口电路硬件设计参数为：24 位地址，16 位数据，异步时序；控制寄存器电路硬件设计参数为：1 位数据位，直接控制；状态寄存器电路硬件设计参数为：1 位数据位，时钟频率 33 MHz。

3.6 器件管脚分配设计

最后，根据 CY8CKIT-001 PSoC® 开发工具包的管脚资源和系统需要完成了系统的管脚配置，具体如图 2 所示。

4 PSoC 系统软件设计

PSoC 硬件设计完成后，需要根据应用系统的功能要求，手动添加与应用目的有关的程序代码。

4.1 程序主框架

完成 PSoC 的硬件设计后，运行“Build”菜单，会自动生成最终的程序主框架，其中的“Generated_Source”文件夹是开发软件根据硬件设计自动生成的代码文件夹，包含了相关硬件的所有可用的 API 源代码。

后续的代码开发工作主要包含 2 个部门的内容：完善 main() 函数；重载需要变更的 API 函数。

4.2 Main() 函数

在 Main.c 文件中，首先进行常量和变量定义，然后进行函数定义和重载，接着进行自定义函数的代码编制，最后进行 main() 函数代码的编制。

表 1 PSoC 5 性能参数

Table 1 The performance parameters of PSoC 5

Characteristics	Parameters	Advantages
Kernel	ARM Cortex™-M3 (100 DMIPS)	The maximum operating frequency is 80 MHz, Performance up to 100DMIPS
Operating voltage	0.5 V to 5.5 V	
	Active:2 mA	Meet the requirements of low power consumption.
Power	Sleep:2 μA, Hibernate: 300 nA	The voltage is the widest in the industry. Sleep voltage as low as 300 nA
Price	1 k batch PSoC chip cost \$3	Very cost effective

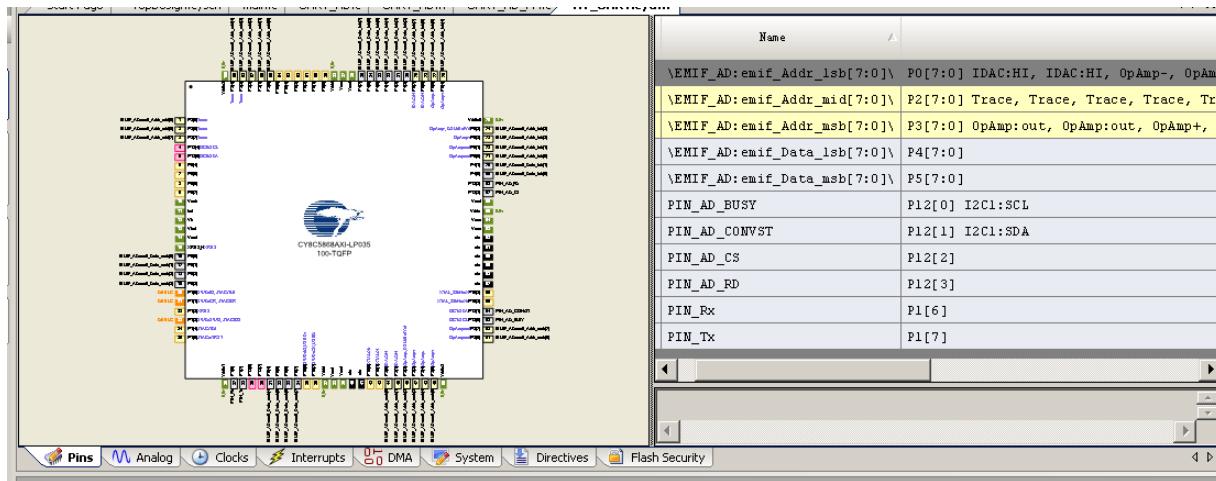


图2 器件管脚分配

Fig2 Device pin assignment

4.3 AD7656_read()函数

AD7656_read()函数用于控制 AD7656 的并行数据接口的读取时序，使用全局变量 AD_data 进行参数传递，因此没有设计返回值。

4.4 RS422_TX()函数

RS422_TX()函数用于 UART 发送控制，其通讯协议是根据上位机串口数据接收软件的协议指定的。

4.5 编译、链接结果

在编译完成后，可通过串口程序与 PC 机相连，进行后续的数据处理等。

5 上位机串口数据接受程序

完成串口数据接收，并保存采集到的陀螺仪数据，以“raw”格式进行保存，便于 Matlab 程序调用，用于后续的数据处理算法研究和试验验证。

5.1 静态实验

在温箱中模拟 25℃的室温条件，以 1 kHz 频率对 ADXRS622 型 MEMS 陀螺进行静态数据采集，敏感轴指向 Z 轴方向，陀螺标度因数为 7.0 mV/°/s，并假设其不变。由于受上位机程序通讯协议的限制，其接收并保存的频率为 500 Hz，因此实际的采样频率为 500 Hz，每 2 ms 保存一个数据。

采集 1 组数据，采样时间 1min。用 Matlab 编写 Allan 方差计算函数，画出原始数据及 Allan 方差如图 3，并列出 Allan 方差系数计算结果如表 2。

根据 Allan 方差计算结果可知，对于 MEMS 陀螺仪，其零偏不稳定性、速率随机游走和速率斜坡是主要的噪声源。陀螺仪量化噪声和角速度随机游走相对较小，说明数据采集系统精度较高，驱动性能较稳定。零偏不稳定性较高则是由数据中的低频零偏波动所引起的，主要为电子器件温漂、电路噪声以及环境噪声等。速率随机游走来源不确定，当前的研究认为其

可能是具有长相关时间的指数噪声的极限情况，也可能源于晶体振荡器的老化效应。速率斜坡本质上是一种确定性误差，可能与稳压源，外界环境温度的变化以及陀螺本身的精度有关。

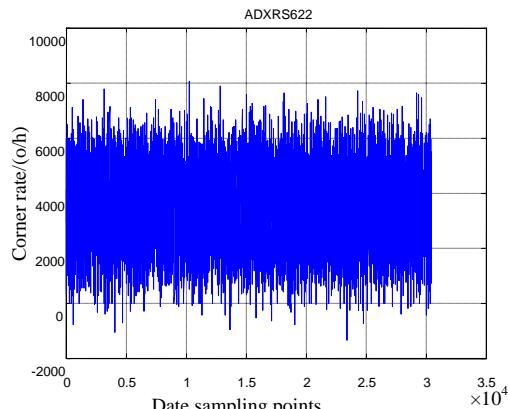


图3 Allan 方差分析结果

Fig.3 The analysis result of Allan variance

表2 Allan 方差系数计算结果

Table 2 The computation of Allan variance

Q/μrad	N/(°/h ^{1/2})	B/(°/h)	K/(°/h ^{3/2})	(°/h ²)
1.5833	9.9491 × 10 ⁻¹	1.0135 × 10 ²	7.1574 × 10 ³	1.5584 × 10 ⁵

5.2 动态达位实验

受实验装置影响,仅在 $+40^\circ \sim -40^\circ$ 的角度范围内对陀螺仪进行动态达位试验,利用PSoC开发板和上位机程序采集角速度为 $10^\circ/\text{s}$, $20^\circ/\text{s}$, $30^\circ/\text{s}$, $40^\circ/\text{s}$ 时的数据,并记录如表3所示。

表3 各角速度下平稳时的均值

Table 3 Mean when smooth at each angle speed

Angle speed/($^\circ/\text{s}$)	Forward mean/($^\circ/\text{s}$)	Reverse mean/($^\circ/\text{s}$)
10	10.0417	-10.1136
20	20.1839	-20.2372
30	30.2314	-30.2667
40	40.2556	-40.3194

根据以上数据可知,转台角速度升高,陀螺仪达到稳定时的角速度均值会逐渐偏离理论值。但整体来说,陀螺仪输出的角速度较为贴近真实值,精度较高。

6 总结

本文设计的PSoC的陀螺仪数据采集系统方法简单,易于实现。运用PSoC5内部的定时器、串行通讯控制器和A/D并行数字接口等功能模块完成电路设计,节省设计时间、减少板卡空间、降低功耗,同时还能提高系统质量、降低系统成本,特别适合于要求精密且体积小巧的应用,为减小稳像系统体积奠定了基础。本文选用的ADXRS622型MEMS陀螺仪属于商业级陀螺仪,并不是目前性能最好的MEMS陀螺仪。预计未来突破元器件与技术封锁后,可以将PSoC与更高精度的MEMS陀螺仪相结合,设计出更加符合精致制导武器发展需求的稳像系统。

参考文献:

- [1] 韩颖,黄剑侠,高原. MEMS 陀螺在红外成像系统中的研究应用[J]. 红外技术, 2015, 37(3): 248-257.
HAN Ying, HUANG Jianxia, GAO Yuan. Applications of MEMS Gyroscope in Infrared Imaging Systems[J]. *Infrared Technology*, 2015, 37(3): 248-257.
- [2] 范永杰,陈华. 基于MEMS 陀螺仪的实时电子稳像技术[J]. 红外技术, 2015, 37(9): 724-727.
FAN Yongjie, CHEN Hua. Real-time Video Stabilization System Based on MEMS Gyroscope[J]. *Infrared Technology*, 2015, 37(9): 724-727.
- [3] 雷琼莹,金伟其,郭宏,等. 基于MEMS 陀螺仪及压电微摆镜的光机电联合稳像技术[J]. 红外技术, 2018, 40(4): 332-337.
LEI Qiongying, JIN Weiqi, GUO Hong, et al. Opto-mechatronics Joint Image Stabilization Based on MEMS Gyroscope and Piezoelectric Micro-pendulum Mirror[J]. *Infrared Technology*, 2018, 40(4): 332-337.
- [4] 丛秋波. Cypress: 为系统提供更多解决方案[J]. 电子设计技术, 2010(6): 77.
CONG Qiubo. Cypress: Provide More Solutions for Systems[J]. *EDN China*, 2010(6): 77.
- [5] 万选明. 轻松玩转 PSoC-PSoC3/5 开发流程[J]. 电子制作, 2011(4): 66-74.
WAN Xuanming. Easy to Play PSoC-PSoC3/5 Development Process[J]. *Practical Electronics*, 2011(4): 66-74.
- [6] 韩路跃,杜行检. 基于MATLAB的时间序列建模与预测[J]. 计算机仿真, 2005, 22(4): 105-107.
HAN Luyue, DU Xingjian. Modeling and Prediction of Time Series Based on Matlab[J]. *Computer Simulation*, 2005, 22(4): 105-107.