

# 微型惯性测量组合数据采集系统

Data Acquisition System for Micro Inertial Measure Unit

顾睿风 苏岩 朱欣华

(南京理工大学机械工程学院,江苏 南京 210094)

**摘要:** 根据目前微观性测量单元 MIMU 中硅微机械陀螺仪和加速度计的主要技术性能及 A/D 转换技术的现状,提出了基于高集成度、低功耗和 6 通道 16 位逐次逼近型 ADC 的电压输出实时数据采集系统。介绍了为提高系统应用性能而采取的技术措施,并通过实际测试证实了这些措施的必要性和有效性。实验表明,此数据采集系统测出的零位稳定性和标度因数等性能指标与用 Agilent 六位半 34401A 数字万用表测出的结果一致,满足设计要求。

**关键词:** 微观性测量单元 微机电系统 硅微陀螺仪 硅微加速度计 数据采集系统

**中图分类号:** TP274+.2 **文献标志码:** A

**Abstract:** In accordance with the main technical performance of the silicon micro mechanical gyroscope and accelerometer in micro inertial measure unit(MIMU), and current status of A/D conversion technology, the real-time data acquisition system based on ADC for the voltage outputs of three of the gyroscopes and accelerometers in MIMU is proposed. ADC is a highly integrated 6-channel, 16-bit A/D converter with low power consumption and high integration. Specific measures used in the design for enhancing applicable performance of the system are emphasized. In practical tests, the necessity and effectiveness of these measures are verified. The experiments show that the zero stability and scale factors measured by this data acquisition system are consistent with the results from Agilent 34401A 6 1/2 digit multimeter.

**Keywords:** Micro inertial measure unit(MIMU) Micro-electro-mechanical system(MEMS) Silicon micro gyroscope Silicon accelerometer Data acquisition system(DAS)

## 0 引言

微观性测量单元 MIMU (micro inertial measure unit) 主要包括 MEMS (micro-electro-mechanical system) 惯性传感器和数据采集系统 DAS 两个部分。MEMS 惯性传感器一般由 3 个正交安装的微加速度计和 3 个正交安装的单轴微陀螺仪组成,具有体积小、重量轻、寿命长、可靠性高、成本低和环境适应性强等优点;DAS 主要实现对陀螺仪和加速度计输出信号的实时采集<sup>[1]</sup>。基于 MIMU 的惯性或组合系统在武器制导、姿态控制等军事及民用领域具有广阔的应用前景<sup>[2-6]</sup>。

## 1 数据采集系统硬件设计

根据美国“联合制导攻击武器”JDAM (joint direct attack munition) 性能指标和导航精度要求,可估算出 MIMU 中微陀螺仪的主要性能要求是:测量范围为  $\pm 200^\circ/\text{s}$ ,零偏稳定性为  $0.0055^\circ/\text{s}$  (即  $20^\circ/\text{h}$ )<sup>[7]</sup>。

基于该指标设计 MIMU 中的数据采集系统时,宜采用至少 16 位分辨率的 ADC (对于陀螺仪  $\pm 200^\circ/\text{s}$  的测量范围,16 位 ADC 的量化分辨率可达  $0.006^\circ/\text{s}$ )。目前,在实时性能满足 MIMU 数据采集系统要求的逐次逼近型 ADC 中,16 位已是可供选择的较高分辨率。因此,设计的数据采集系统选择 16 位逐次逼近型 ADC。采用 16 位 ADC 对加速度计输出信号进行采集时,若加速度计的测量范围为  $\pm 5\text{ g}$ ,则量化分辨率可达  $0.15\text{ mg}$ ,与硅微机械加速度计的性能相适应。

由于 MIMU 包含 6 路惯性传感器输出,所以设计的数据采集系统有 6 个采集通道。多路数据采集系统的设计方法一般有两种:一种是通过采用多路开关使多路信号共享 ADC,另一种是为每个通道都配置一个 ADC<sup>[8]</sup>。前者的优点是成本低、体积小,但是通过多路开关来切换采集通道会造成采集到的 6 路惯性传感器输出信号在时间上的不同步。在高动态环境下,存在时间偏差的 6 路数据将导致不可忽视的导航计算误差<sup>[9]</sup>。因此,设计时应采用为每个通道配置 1 个 ADC 的方案并考虑尽量选择小体积和低功耗的器件。由于 ADI 的 AD7656 为采用新型 iCMOS 工艺制造的、在一个芯片内封装了 6 个独立通道的 16 位逐次逼近型 ADC,其内部配有小体积 A/D 转换芯片,且具有低功

南京理工大学自主科研专项计划基金资助项目(编号:ZDJH02)。

修改稿收到日期:2010-10-25。

第一作者顾睿风,男,1986年生,现为南京理工大学精密仪器及机械专业硕士研究生;主要从事精密仪器设计方面的研究。

耗的特点,因此,AD7656 能满足 MIMU 中对数据采集系统使用的 ADC 的要求。

另外,MIMU 中的数据采集系统除完成基本的数据采集功能外,还应具有对传感器的误差进行补偿等数据处理功能<sup>[1]</sup>;且为方便具体应用时与导航/制导计

算机的对接,数据采集系统采用的串行通信接口应输出 6 路惯性传感器的数字化信息。

根据上述确定的 MIMU 中数据采集系统的设计方案和要求,设计了基于 AD7656 的微型惯性测量组合数据采集系统。系统硬件结构如图 1 所示。

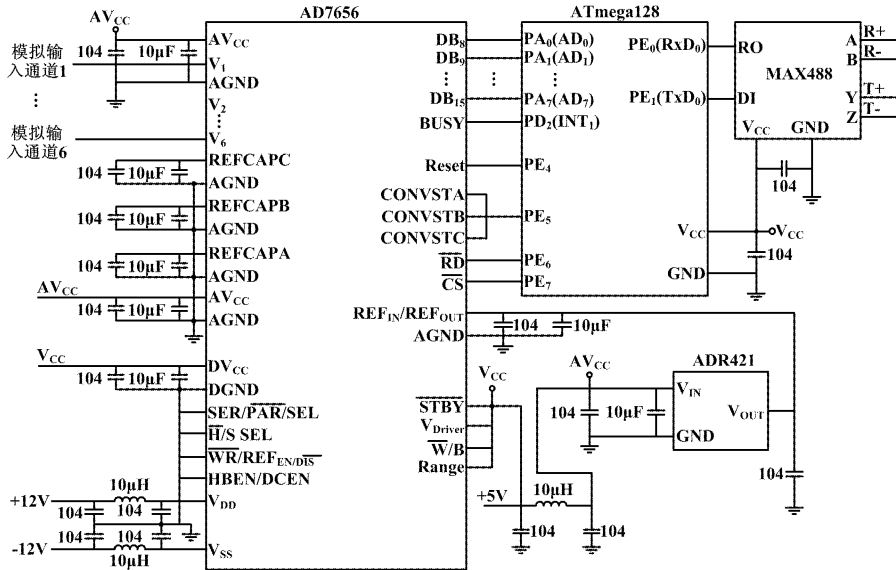


图 1 数据采集系统硬件结构图  
Fig. 1 Hardware structure of DAS

### 1.1 A/D 转换器 AD7656

A/D 转换器 AD7656 片内集成了一个 2.5 V、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  的基准源(REF)和相应的基准缓冲器(BUF),6 个低噪声、宽带采样/保持放大器(T/H);具有高速并行和串行接口,方便与微处理器连接;在电压为 5 V、每通道以最高 250 kS/s 的采样率工作时的功耗仅 140 mW,与性能最接近的同类双极型 ADC 相比,耗能降低了 60%。采用 64 引脚 LQFP 封装,尺寸仅为 12 mm × 12 mm。AD7656 的结构原理如图 2 所示。

图 2 中,AD7656 内部的 6 个 ADC 被分成 3 对,每对有 1 个相关的 CONVST<sub>x</sub> 引脚,各引脚分别用来启动 V<sub>1</sub> 与 V<sub>2</sub>、V<sub>3</sub> 与 V<sub>4</sub> 以及 V<sub>5</sub> 与 V<sub>6</sub> 的同步采样,3 个 CONVST<sub>x</sub> 引脚连接到一起时可实现片上 6 个通道的同时采样。

在 CONVST<sub>x</sub> 引脚上升沿,被选中通道的 T/H 置为保持模式,A/D 转换开始,同时,芯片的 BUSY 引脚变高,表示转换正在进行。转换在 CONVST<sub>x</sub> 引脚上升沿开始后的 3 μs 时完成,同时 BUSY 引脚变低。在 BUSY 引脚的下降沿,T/H 回到跟踪模式。该信号可同时用于通知微控制器读取 A/D 转换结果。

输出各通道 A/D 转换结果(SER/PAR 引脚置低)可采用并行接口模式,也可通过 AD7656 的 DB<sub>15</sub> 到 DB<sub>0</sub> 引脚的 16 位输出成通过 DB<sub>15</sub> 到 DB<sub>8</sub> 引脚的 8 位输

出(前者需将  $\overline{\text{W/B}}$  引脚接高电平,后者则接低电平)。

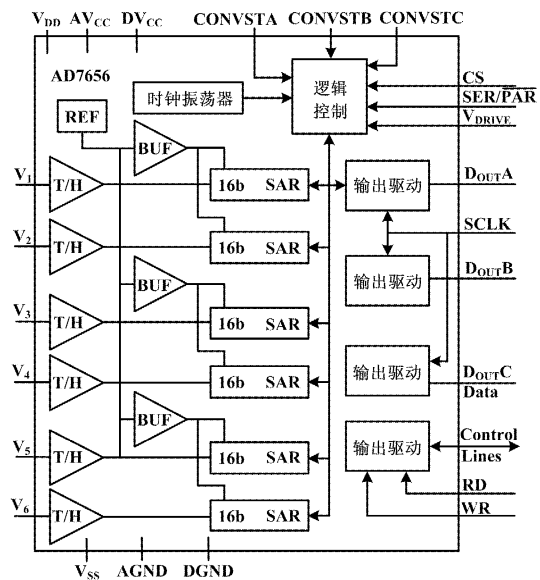


图 2 AD7656 内部结构  
Fig. 2 Internal structure of AD7656

本文采用 8 位输出方式。这样,数据采集系统的微控制器将通过对 AD7656 的并行接口的 2 次读操作来获取每个通道的 A/D 转换结果。当 AD7656 的 HBEN 引脚接低电平时,先读低 8 位,后读高 8 位;反

之先读高 8 位,如图 3 所示。系统通过 12 个读指令读取通道  $V_1 \sim V_6$  这 6 个通道的 16 位 A/D 转换结果。

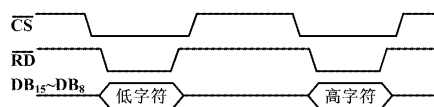


图 3 AD7656 并行接口(字节模式)下的读操作

Fig. 3 Parallel interface READ operation under byte mode

设计的数据采集系统要求硅微陀螺仪和加速度计的测量满量程输出调整为  $\pm 5 \text{ V}$ , 这里采用  $2.5 \text{ V}$  基准且 A/D 转换的模拟输入范围是  $\pm 2V_{\text{REF}}$ 。此时, 16 位 A/D 转换的分辨率为  $10/2^{16} \approx 0.15 \text{ mV} = 1 \text{ LSB}$ 。AD7656 片内集成了一个  $2.5 \text{ V}$  基准源, 但其在  $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  的温度系数在环境温度变化  $10^\circ\text{C}$  时将引起  $0.25 \text{ mV}$  ( $2.5 \times 10 \times 10/1\,000\,000$ ) 的变化。当 A/D 转换模拟输入为最大值时会产生  $\pm 2 \times 0.25 = \pm 0.5 \text{ mV}$  的最大 A/D 转换误差(等价于  $0.5/0.15 \approx 3.3 \text{ LSB}$ )。为减小环境温度造成的影响, 采用外部基准源方案, 选用温度系数为  $1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  的 ADR421, 温度变化对基准源的影响降为内部基准源的  $1/10$ 。

## 1.2 微控制器与 AD7656 的接口

数据采集系统中的微控制器除具有完成对 ADC 进行控制的功能外, 还应具有一定的运算和数据处理能力。因此, 设计时采用了 ATMEL 公司的先进精简指令集 AVR (advance RISC) 单片机 ATmega128。由图 1 所示的硬件结构可知 ATmega128 微控制器与 AD7656 的接口连接。

① AD7656 的  $\overline{\text{SER/PAR}}$  和  $\overline{\text{HBEN}}$  接低电平,  $\overline{\text{W/B}}$  引脚接高电平, 用于选择先低后高的 8 位并行模式, 以读取 16 位 A/D 转换结果;

② ATmega128 的 I/O 口线  $\text{PE}_4$  与 AD7656 的  $\overline{\text{RESET}}$  引脚相连, 上电后, 微控制器通过软件使  $\text{PE}_4$  产生高电平脉冲而使 AD7656 复位;

③ AD7656 的  $\text{CONVST}_x$  均连在一起, 并受 ATmega128 的 I/O 口线  $\text{PE}_5$  控制, 微控制器通过软件使  $\text{PE}_5$  产生一个上升沿, 从而使 AD7656 的 6 个通道同步采样并进行 A/D 转换;

④ ATmega128 的 I/O 口线  $\text{PE}_6$  和  $\text{PE}_7$  分别与 AD7656 的  $\overline{\text{RD}}$  和  $\overline{\text{CS}}$  相连, I/O 口线  $\text{PA}_0 \sim \text{PA}_7$  与 AD7656 的  $\text{DB}_8 \sim \text{DB}_{15}$  相连。在 A/D 转换结束时, 微控制器通过软件按图 3 所示的时序, 通过 12 个读操作过程读取 6 个通道的 16 位 A/D 转换结果;

⑤ AD7656 的  $\text{BUSY}$  引脚与 ATmega128 的  $\text{INT}_1$  相连, A/D 转换完成时, 该引脚的下降沿触发  $\text{INT}_1$  中断,

ATmega128 响应该中断, 读取转换结果。

另外, 利用 ATmega128 内部具有异步串行通信接口及外接的电平变换芯片 MAX488, 为数据采集系统设计了 RS-485 标准的串行通信接口。

## 1.3 提高性能的其他技术措施

为尽可能发挥 16 位 ADC 的性能, 设计时还采取了如下技术措施。

① AD7656 通过  $V_{\text{DD}}$  与  $V_{\text{SS}}$  为其内部的采样保持开关等提供电源(电压范围分别为  $+5 \sim +15 \text{ V}$  和  $-15 \sim -5 \text{ V}$ , 设计时需保证电压值大于等于模拟输入端的输入电压)。由于 MIMU 中的惯性传感器采用  $\pm 12 \text{ V}$  电源供电, 因此, 为简化系统电源设计, 该  $\pm 12 \text{ V}$  电源也为 AD7656 的  $V_{\text{DD}}$  与  $V_{\text{SS}}$  提供电源。但调试中发现, AD7656 对  $V_{\text{DD}}$  和  $V_{\text{SS}}$  的纹波敏感, 从而会直接影响 A/D 转换精度。因此,  $\pm 12 \text{ V}$  电源在给硅微惯性器件供电的同时, 经图 1 左下角所示的  $\Pi$  型 CLC 滤波后再接入 AD7656 的  $V_{\text{DD}}$  和  $V_{\text{SS}}$  引脚。同时, 芯片还需由  $\text{AV}_{\text{CC}}$  引脚和  $\text{DV}_{\text{CC}}$  引脚供给其  $4.75 \sim 5.25 \text{ V}$  的电压, 分别用于为 ADC 的核心电路和芯片的数字电路供电, 对此, 外部引入了  $+5 \text{ V}$  电源作为 AD7656 的  $\text{DV}_{\text{CC}}$  和整个数据采集系统的所有数字电源(统一用  $V_{\text{CC}}$  表示)。为减少数字电源纹波对 AD7656 的  $\text{AV}_{\text{CC}}$  的影响,  $+5 \text{ V}$  电源( $V_{\text{CC}}$ ) 经过类似的  $\Pi$  型 CLC 滤波后作为 AD7656 的  $\text{AV}_{\text{CC}}$  及基准源芯片 ADR421 的输入。AD7656 的  $V_{\text{drive}}$  引脚提供接口驱动, 与给微处理器供电的  $V_{\text{CC}}$  直接相连。

② 如图 2 所示, AD7656 包含 3 个内置基准缓存 (BUF), 每对 ADC 使用一个基准缓存。这些缓存均需要在  $\text{REFCAPA/B/C}$  引脚上接入外部去耦电容(每个引脚均接入  $10 \mu\text{F}$  和  $100 \text{ nF}$  的电容)。

③ AD7656 每个模拟输入引脚的前后两个引脚都有一个  $\text{AV}_{\text{CC}}$  和  $\text{AGND}$  引脚, 它们为每个 ADC 提供所需的电源和基准地。如 33 引脚是  $V_1$  通道, 34 引脚为  $\text{AV}_{\text{CC}}$ , 32 引脚则是  $\text{AGND}$ 。每个 A/D 转换通道的  $\text{AV}_{\text{CC}}$  和  $\text{AGND}$  引脚之间要进行去耦, 图 1 给出了  $V_1$  引脚前后的  $\text{AV}_{\text{CC}}$  和  $\text{AGND}$  引脚之间的去耦,  $V_2 \sim V_6$  引脚前后的  $\text{AV}_{\text{CC}}$  和  $\text{AGND}$  引脚之间也要像  $V_1$  那样进行去耦。

## 2 数据采集系统软件设计

MIMU 中的数据采集系统的软件包括初始化(串口、定时器、I/O 口和中断的初始化)、接收上位机命令、定时采样并读取 A/D 转换结果以及通过串口发送数据帧等模块。

### 2.1 数据采集系统软件流程

系统初始化后, 相关的 I/O 引脚完成相应的输入

和输出属性设置;通过微控制器的 PE<sub>4</sub>引脚使 AD7656 复位;微控制器的定时器采用无分频 CTC 模式;串口波特率为 115 200 bit/s;开启全局中断、使能外部中断、串口接收中断和定时器匹配中断。之后,系统处于通过串口接收命令的状态。数据采集系统软件流程如图 4所示。

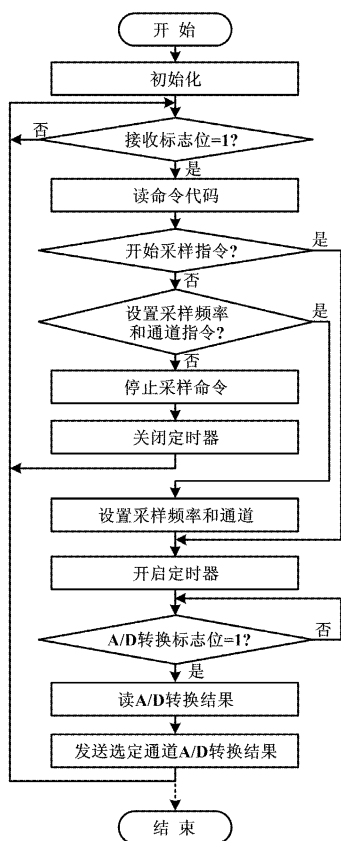


图 4 数据采集系统软件流程  
Fig. 4 Software flowchart of DAS

当微控制器通过串口收到控制指令后,产生串口接收中断,该中断响应后,通过软件使“接收标志”置位。主程序判断“接收标志”有效后,读取命令代码并作出响应。命令代码有 0x53 (“开始采样”)、0x54 (“设置采样频率和采样通道”)和 0x50 (“停止采样”)三个。

若系统接收到的是“开始采样”命令,则开启定时器,数据采集系统按缺省配置工作。即定时器每隔 5 ms产生一次中断,在中断服务程序中,微控制器在 PE<sub>5</sub>引脚产生上升沿,AD7656 启动 6 通道采样及 A/D 转换,同时系统查询“A/D 转换结束标志”是否有效。当 AD7656 完成转换时,其 BUSY 引脚变低,引起微控制器的 INT<sub>1</sub>中断,微控制器响应中断后,置“A/D 转换结束标志”为 1,微控制器查询到该标志有效后按图 3

所示的时序读取 6 个通道的 A/D 转换结果。最后将数据成帧后通过串口发送。若未接收到新的命令,则按照上述流程以 200 Hz 的采样速率采集 6 个通道的数据并发送。

系统完成初始化后也可能收到“设置采样频率和采样通道”命令,此时,微控制器除按命令中的参数调整定时器相关参数外,还应通过串口发送由该命令指定的通道的 A/D 转换结果。其他流程与接收到“开始采样”命令一样。

微控制器在接收到“停止采样”命令后,通过关闭定时器停止采样流程(关闭定时器后系统不会进入相应的中断服务程序,也就不能启动 A/D 转换)。

## 2.2 与导航计算机的通信

数据采集系统与导航计算机通过指令帧和数据帧实现指令和数据通信。帧格式如图 5 所示。

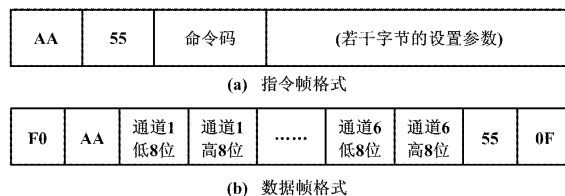


图 5 帧格式  
Fig. 5 Frame format

指令帧由帧头(AA 55)、命令码和相应的设置参数组成,其中,命令码定义如表 1 所示。数据帧由帧头(F0 AA)、数据(最多 12 个字节)和帧尾(55 0F)组成。

表 1 指令帧中的命令码定义

Tab. 1 Definition of command codes in instruction frame

命令码	指令	参数
0x50	停止采样	
0x53	开始采样	
0x54	设置	采样频率 采样通道 定时参数 Para、 预分频因子 Div、 通道选择字节 Sel

当 ATmega128 的定时器 1 工作在 CTC 模式下时,导航计算机可以计算出定时参数 Para 以及控制寄存器 TCCR1B 中的时钟选择位 CS[2:0]的预分频因子,即 Div<sup>[10]</sup>。通道选择字节 Sel 定义如表 2 所示(相应位置位表示该通道被选中)。

表 2 字节 Sel 的定义

Tab. 2 Definition of Sel

D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>
0	0	Ch5	Ch4	Ch3	Ch2	Ch1	Ch0

### 3 数据采集系统测试及应用

根据图 5 所示的数据帧格式,在串口采用较高的 115 200 bit/s 波特率时,可以将按 600 Hz 采样频率采集的 6 个通道的数据通过串口输出。

在对数据采集系统本身进行测试时,AD7656 按照 600 Hz 的采样速率,使 6 个通道对 ADR421 提供的 2.5 V 基准源进行多组测量,表 3 列出了 2 组测量结果。

表 3 采样频率 600 Hz 时测量结果

Tab. 3 Measuring result at 600 Hz sample rate

实验组号	采样次数	采样通道	采样电压平均值/V	采样电压标准差/(mV · LSB <sup>-1</sup> )
1	5238	通道 1	2.483 198	0.245 2/1.6
		通道 2	2.476 820	0.081 8/0.5
		通道 3	2.484 040	0.218 1/1.5
		通道 4	2.479 552	0.203 4/1.4
		通道 5	2.482 698	0.213 4/1.4
		通道 6	2.478 629	0.469 6/3.0
2	5297	通道 1	2.483 293	0.275 0/1.8
		通道 2	2.476 836	0.146 2/1.0
		通道 3	2.484 063	0.224 6/1.5
		通道 4	2.479 576	0.240 2/1.6
		通道 5	2.482 714	0.241 2/1.6
		通道 6	2.478 490	0.454 5/3.0

由表 3 可见,采样电压标准差总体为 1.5 LSB 对应的电压,发挥了分辨率为 16 位、逐次逼近型的 ADC 的性能水平。表 4 给出了设计初期 AD7656 的  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$  没有经过  $\Pi$  型 CLC 滤波时,在同样条件下的测试结果。

表 4 电源无滤波时的测量结果

Tab. 4 Measuring result without power filtering

实验组号	采样次数	采样通道	采样电压平均值/V	采样电压标准差/(mV · LSB <sup>-1</sup> )
1	5598	通道 1	2.483 622	0.481 0/3.20
		通道 2	2.476 925	0.449 4/3.00
		通道 3	2.483 771	0.472 4/3.10
		通道 4	2.479 429	0.490 8/3.30
		通道 5	2.482 495	0.554 4/3.70
		通道 6	2.478 327	0.799 2/5.40

采样电压标准差总体为 3.6 LSB 对应的电压,与带有滤波的系统相比,总体差 2 LSB。因此,对 AD7656 的  $V_{DD}$  和  $V_{SS}$  进行滤波,对提高采样精度是必要和有效的。

将设计的数据采集系统分别用于对某型硅微陀螺仪和加速度计进行的数据采集。对于量程为  $\pm 200$  °/s 的硅微陀螺仪,按照测试规范,先用 Agilent 六位半

34401A 数字万用表经一套完整的实验测出其零位稳定性和标度因数,分别为 41.81 °/h(即 0.011 61 °/s) 和 26.005 mV · (°/s)<sup>-1</sup>。然后用设计的数据采集系统代替 Agilent 34401A 进行相同的测试实验,得到的零位稳定性和标度因数分别为 42.099 0°/h(即 0.011 69°/s) 和 25.962 mV · (°/s)<sup>-1</sup>。二者几乎完全相同。用设计的数据采集系统对量程为  $\pm 2$  g 的硅微加速度计经一套完整的实验,测出其零位稳定性和标度因数分别为 0.102 mg 和 1.006 8 V/g,与供应商提供的用 Agilent 六位半 34401A 数字万用表进行实验得出的 0.106 mg 的零位稳定性和 1.008 6 V/g 的标度因数也几乎相同。

由于六位半数字万用表的分辨率相当于 21 位,因此,用该表测出的微惯性传感器的性能指标可以忽略测量环节造成的误差。开发的 DAS 在对微惯性传感器测量时获得了与采用 6 位半数字万用表测量时一致的测量结果,表明 DAS 能满足对实验用惯性传感器进行数据采集的要求。

### 4 结束语

根据目前 MIMU 中硅微机械陀螺仪和加速度计的主要技术性能及 A/D 转换技术现状,基于 AD7656 设计了 MIMU 中的数据采集系统。由于 AD7656 是采用新型 iCMOS 工艺制造的、在一个芯片内封装了 6 个独立通道的 16 位逐次逼近型 ADC 的低功耗、小体积 A/D 转换芯片,因此,满足对 MIMU 中数据采集系统 ADC 的要求。具体介绍了 DAS 的设计方法,特别强调了为提高 AD7656 性能所采取的技术措施。实验证实了文中提出的技术措施的必要性和有效性。同时也说明,对于同一个硅微陀螺仪和加速度计,采用设计的 DAS 测出的陀螺仪和加速度计的零位稳定性和标度因数与采用 Agilent 六位半 34401A 数字万用表测出的参数几乎相等。由此可见,开发的 DAS 能满足对实验用硅微陀螺仪和加速度计的数据采集的需要。目前,设计的 DAS 已和微机械惯性传感器组成 MIMU 并用于标定测试,最终设计的 MIMU 将在微惯性/卫星组合系统中得到应用。文中关于 AD7656 的讨论和设计细节可供采用该类芯片进行其他应用设计的参考。

#### 参考文献

- [1] 胡士峰,马建仓. 基于 MEMS 陀螺和加计的微惯性测量单元研制[J]. 航空计算技术,2008,38(6):115-118.
- [2] Kourepenis A, Connelly J, Sitomer J. Low cost MEMS inertial measurement unit[C]//Proceedings of 2004 National Technical Meeting of the Institute of Navigation, San Diego, California, USA, 2004:246-251.

(下转第 77 页)

其中 $(x_0, y_0)$ 为圆心坐标, $r$ 为半径。

## 2.6 其他几何图形的 C51 函数

其他规则曲线的生成步骤如下。首先在平面上确定一些满足条件的、位于曲线上的坐标点,然后用光滑直线分段连接相邻的点,就形成了曲线。如绘制 $y = \sin(x)$ 函数的图形,坐标点选取好后,相邻点之间调用绘制直线的函数就可以近似地绘制出其图形。具体生成算法的描述可阅读参考文献[2]。

## 3 C51 函数库

形成函数库的优点是增加代码的重用性,对基于 T6963C 的 LCD 显示模块都可以使用此函数库,从而提高研发产品效率。当需要调用函数库中的函数时,只要给出函数的原型,把此函数库连接到应用程序中即可。

### 3.1 生成 C51 函数库

在 Keil C51 集成开发环境下生成 C51 函数库非常简单。将所有函数放在一个源文件中,并把此文件添加到工程,然后选中“Project”菜单中的“Option for Target ‘xxx’”命令,打开“Option for Target ‘xxx’”对话框,选“Output”标签,选中“Create Library”单选按钮,点击“确定”按钮后,重新执行“Build target”命令,即生成 LIB 库文件,如图 5 所示。

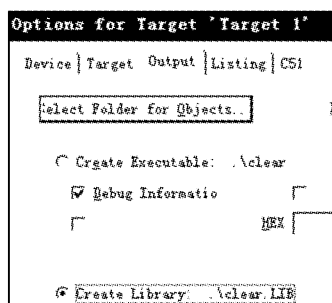


图 5 “Option for Target ‘xxx’”对话框

Fig.5 Dialog box of “Option for Target ‘xxx’”

### 3.2 使用 C51 函数库

C51 函数库生成后即可在工程项目中使用。为了便于使用,伴随该函数库创建了一个头文件,并在头文件中声明函数原型。当工程中使用 C51 函数库中的函数时,只要在源文件中包含此头文件并连接函数库即可。在 Keil C51 集成开发环境下,要将生成的函数库连接到工程中,需要运行“Project”菜单中的“Components, Environments, Book”命令,打开“Components, Environments and Books”对话框,选择“Add Files”按钮,把函数库添加到工程中。

## 4 结束语

基于 T6963C 的 LCD 模块被广泛应用于智能仪器仪表中。通过对该芯片的详细介绍,结合计算机图形学的知识,本文给出了在这类显示模块中绘制几何图形的 C51 函数,最后生成了 C51 函数库,便于在以后的产品开发中使用,从而提高产品的研发效率。C51 函数库在产品开发中得到了很好的应用,实践应用证明了它的高效性。

### 参考文献

- [1] 孙俊喜. LCD 驱动电路、驱动程序设计及典型应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:61-69.
- [2] 王汝传,邹北骥. 计算机图形学[M]. 北京:人民邮电出版社,2003:93-103.
- [3] 王云平. 液晶显示器绘图编程算法的实现[J]. 辽宁化工,2003,32(1):41-43.
- [4] 李银华,姬光锋. T6963C 点阵式液晶显示模块的应用研究与编程[J]. 液晶与显示,2008,23(5):560-566.
- [5] 袁满. 基于 T6963C 的 LCD 液晶显示的实现[J]. 自动化技术与应用,2007,26(9):110-111.
- [6] 宋俊杰,原冬梅,金海龙,等. 基于 MSP430 的内置 T6963C 液晶显示模块控制技术[J]. 液晶与显示,2010,25(1):110-113.
- [7] 李荣标,徐向前,李国明,等. 浅析 T6963C 液晶显示模块与 PIC 单片机的接口技术[J]. 现代显示,2009,20(3):34-37.

(上接第 73 页)

- [3] Bernstein J. An overview of MEMS inertial sensing technology[EB/OL]. [2010-11-30]. <http://www.sensorsmag.com/sensors/acceleration-vibration/an-overview-mems-inertial-sensing-technology-970>.
- [4] 杨金显,袁赣南. 基于 MIMU/GPS 的组合导航设计及实验[J]. 光学精密工程,2008,16(2):285-294.
- [5] 吴盘龙,杜国平,薄煜明. 空地制导弹药的 MIMU/GPS 组合导航系统研究[J]. 电光与控制,2008,15(10):65-68.
- [6] 张峥. 惯性步态测量系统的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,

2006.

- [7] 杨金显,袁赣南,徐良臣,等. 基于微机械陀螺的 MIMU 关键技术[J]. 中国惯性技术学报,2007,15(1):28-30.
- [8] 朱欣华,姚天忠,邹丽新. 智能仪器原理与设计[M]. 北京:中国计量出版社,2002:45.
- [9] 刘育浩,黄新生,谭红利. 基于高性能 DSP 和高精度 A/D 的导航计算机系统[J]. 中国惯性技术学报,2008,16(2):140-143.
- [10] 朱飞,杨平. AVR 单片机 C 语言开发入门与典型实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:22-31.