

文章编号: 1001-1455(2010)03-0333-04

基于 Model 1221 的小型加速度测量系统*

朱翼超^{1,2}, 高成¹, 李炎新¹, 陈永广³

(1. 解放军理工大学工程兵工程学院, 江苏 南京 210007;

2. 总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214007;

3. 江苏永丰机械有限责任公司, 江苏 盱眙 211722)

摘要: 采用微机械传感器 Model 1221, 通过扩展外部存储器 SD 卡, 设计并制作了由 2 块直径 2.3 cm 的电路板构成、基于 LPC 2132 微处理器的小型加速度测量系统, 并结合该系统的 RS 232 在 PC 机上设计了对测量数据读取、存储和去噪的分析处理软件。为了准确掌握系统静态和动态性能, 分别开展了向心加速度静态标定和冲击加速度动态对比测试, 结果表明该系统在测量范围($-50\sim 50$)g 和频响范围(0~2 kHz)内性能较好, 同时可进行长时间存储, 具有一定的应用前景。

关键词: 爆炸力学; 向心加速度; ARM 微处理器; 加速度传感器

中图分类号: O389; TM938

国标学科代码: 130·35

文献标志码: A

1 引言

加速度测量装置可用来测量晃动、振动以及由振动、冲击产生的速度、位移等参数。常规的加速度测量装置主要包括加速度计、电荷放大器、数据采集卡和存储器等, 由于结构复杂、体积大、较重等原因, 测量领域受到限制, 例如测量小型火箭弹的运动参数时, 常规的仪器无法跟踪火箭进行测量, 同时为捕获火箭点火时脉冲加速度, 对系统的信号采样和数据存储速率也提出了更高的要求^[1-2]。本文中采用的加速度传感器 Model 1221 应用的是微机电 MEMS(micro-electro-mechanical system)技术^[3-5], 可用于飞行装置的加速度以及冲击振动的测量等。

2 加速度测量系统的总体设计

2.1 系统的硬件设计方案

为满足加速度测量系统需具备的快速频响特性和高速数据采集能力, 提出了小型加速度测量系统硬件结构设计方案, 如图 1 所示。该系统主要包括加速度传感器芯片及外围电路、信号调理电路、微处理器、外部存储器和电源等。此外, 通讯端口主要有 2 个功能: 根据实验要求对系统参数进行设置; 将测量结果输出到计算机以便后期分析与处理。

加速度传感器的种类根据其工作原理可分为压电式、压阻式、电容式、谐振式、隧道式等。通过对比, 本文中选用 Model 1221-050 单轴集成加速度传感器, 其加速度量程为($-50\sim 50$)g。该传感器是一种以微机电技术为基础的新型传感器, 包含了微机械电容传感单元、温度传感器、传感运放电路和差分输出电路。不仅简化了电路, 消除了交叉耦合影响, 而且利用该传感器的差分输出端口提高了系统的测量精度。该加速度传感器能同时满足较高量程和较宽频响范围的要求, 频响范围可达到 0~2 kHz。此外, 该传感器体积不到一元硬币, 且具有低功耗、低噪声以及抗冲击能力强等特点。

微处理器 LPC 2132 主要起控制、数据采集和传输作用, 它从芯片级扩展出 SPI、I/O、UART 等接口。通过选用 ARM 7TDMI-S 内核芯片加 μ C/OS-II 操作系统^[6], 极大提高了系统的可靠性和稳定性,

* 收稿日期: 2009-03-21; 修回日期: 2009-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(60671007)

作者简介: 朱翼超(1983—), 男, 博士研究生。

降低了系统的开发难度。信号调理电路设计的目的是将传感器的差分信号转换成符合 LPC 2132 数据采集需要的电压范围,同时滤除信号的噪声。系统选取 SD 卡作为数据存储器的主要原因是 SD 卡容量大(最大可达 4 GB),访问接口可即插即用,数据保存功耗低,不易丢失。

在电路板布局时,为了缩小尺寸,将 PCB 板设计成上下 2 块半径 23 mm 圆形板:一块是主电路板,包括 Model 1221、LPC 2132、各芯片的外围电路和信号调理电路,主要实现加速度信号的获取;另一块是数据存储板,主要设有触发执行电路和 SD 卡卡槽。

2.2 系统的软件设计

系统软件包括主程序、信号采集子程序、数据存储子程序,如图 2 所示。数据的存储可通过 2 种方式实现:一种是将 SD 卡作为文件系统的存储介质,由实时操作系统控制;另一种是采用系统命令层函数将数据进行存储。经过测试表明,前者程序较简单,SD 卡中数据的读取可通过 PC 机的操作系统直接获取,但存储速度较慢;后者存储速度较快,但 SD 卡中的数据需在本系统的硬件电路上读取,过程较复杂。由于存储时间需配合采样率,具有较高要求,因此,本文中选用后者的存储方式。

在编写信号采集子程序中,为确保采样间隔不受 SD 卡读写的干扰,采用中断方式进行采样。程序调试中,采样速率的选取是软件设计方案中的关键问题,采样速率过低无法捕捉冲击脉冲信号;采样速率过高将与 SD 卡的存储时间性能参数相冲突,这将导致数据的丢失。实验表明,设计的系统的最佳采样速率可达到 8 kHz。此外,在计算机上采用 Visual Basic 语言设计了具有数据的导入、存储、显示和处理功能的应用程序。

3 加速度测量系统的测试实验

3.1 系统标定

3.1.1 标定装置

根据向心加速度原理设计了加速度静态性能测试装置,如图 3 所示。系统主要由旋转电机、旋臂、变频器、无线触发装置和非接触转速测试仪等组成。

首先将加速度测量模块固定在旋臂的一侧,使加速度测量系统的敏感轴与旋臂的径向重合,在旋臂的另一侧放置无线触发装置,通过调整与电机轴心的距离使旋臂两侧平衡。改变变频器的电源输出频率可调节旋转电机的旋转频率。

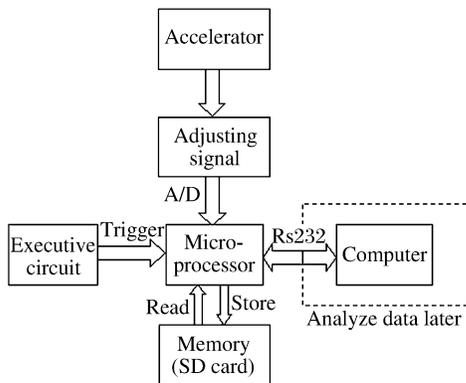


图 1 小型加速度测量系统的硬件构成

Fig.1 Acceleration measurement system's hardware

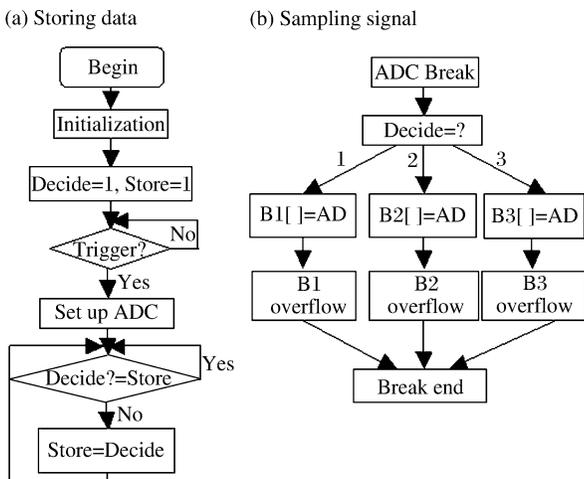


图 2 信号采集存储程序流程图

Fig.2 Flow chart of sampling signal

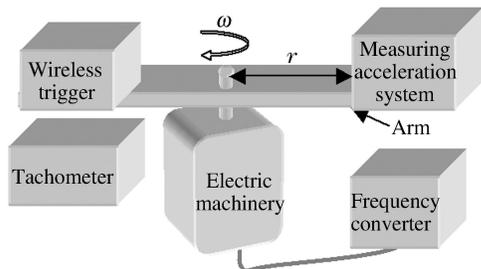


图 3 加速度静态标定实验示意图

Fig.3 Sketch of testing static acceleration

电机工作时, 转轴带动旋臂在水平面上旋转, 当转速稳定在某一恒定值, 向心加速度为定值时, 无线遥控触发加速度测量系统开始工作。转速测试仪测量电机的旋转周期 $T^{[7]}$ 。当加速度传感器距电机轴心的距离为 r 时, 向心加速度理论值

$$a = \omega^2 r = (2\pi/T)^2 r \quad (1)$$

3.1.2 标定结果

标定结果部分数据如表 1 所示, 其中理论值 a 为测量装置施加在系统上的标准加速度, 实测值 U 为系统的输出电压, 可以看出, 系统的静态性能在测试范围 $(-42 \sim 42)g$ 内线性度较好, 未出现饱和现象。

为了使误差平方和最小, 对测量结果采用最小二乘法进行处理和拟合, 根据拟合公式, 系统的标定曲线方程为

$$U = 0.0256a + 1.248 \quad (2)$$

表 1 系统静态标定数据

Table 1 Results of testing static acceleration

a/g	U/V	a/g	U/V
- 2.08	1.202	2.06	1.305
- 6.69	1.088	6.77	1.420
- 11.53	0.978	10.30	1.510
- 15.63	0.870	14.81	1.618
- 20.20	0.758	20.65	1.760
- 23.80	0.667	24.31	1.855
- 27.31	0.582	27.83	1.936
- 32.36	0.464	30.76	1.984
- 34.10	0.411	35.28	2.116
- 38.96	0.306	41.57	2.263
- 41.61	0.242	42.65	2.283

3.2 冲击加速度测量实验

3.2.1 实验原理

向心加速度测试并不能反映该系统的冲击响应特性, 为此, 利用悬挂式冲击震动模拟平台对系统的动态性能开展冲击加速度比对测试。该平台是以摆锤冲击的方式, 模拟爆炸冲击震动环境, 根据能量守恒和弹性碰撞原理设计的^[8]。本文中采用水平向冲击实验, 通过对锤重、锤高和垫层厚度等参数的设置, 震动平台的性能指标可达到: 冲击加速度峰值 $(40 \sim 50)g$, 作用时间 $3 \sim 5ms$ 。

震动台上安装的配套加速度测量装置是由北京东方震动研究所研制的 DASP 数据采集系统、扬州无线电二厂生产的 YD-127 型加速度传感器和 TYPE-5853 型电荷放大器组成。为了保证 2 套系统都能准确测量震动平台的冲击加速度, 且结果具有可比性, 将 2 套系统的敏感轴向与震动方向保持一致且安装位置接近。

3.2.2 实验结果与分析

根据以上实验原理和方法开展了相关测试, 实验结果如图 4 所示, 所测波形一致性较好。其中图 4 (a) 为模拟平台配套测量系统的测试数据, 加速度峰值 $a_1 = 45.7g$, 上升前沿 $t_{r1} = 3.0ms$; 图 4 (b) 为本文研制的加速度测量系统获取的加速度曲线, 其峰值 $a_2 = 45.2g$, 上升前沿 $t_{r2} = 3.1ms$ 。

测试结果表明研制的加速度测量系统的低频响应(含直流响应)较好, 可以捕获最小上升前沿 $3ms$ 的冲击加速度, 测量峰值范围和频率响应特性能够满足冲击脉冲加速度测量要求。

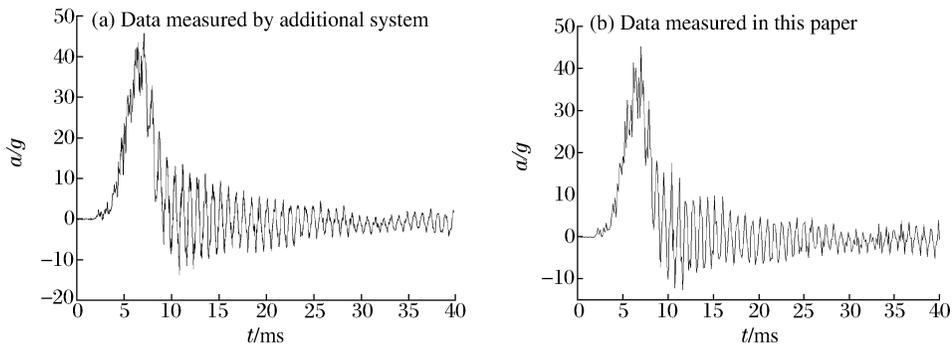


图 4 冲击加速度测量曲线

Fig. 4 Curves of measured blast ing acceleration

4 结 论

设计并研制了小型加速度测量系统, 分别开展了静态加速度标定实验和冲击加速度比对测试, 结果

表明该系统在测量范围内探测的数据准确可靠,动态响应特性较好。该系统体积小、重量轻、安装方便,可独立完成对目标加速度的测量,在测试空间受限的领域中具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1] 海涛,刘光辉.传感器的现状和发展趋势[J].传感器技术,2003,22(5):61-64.
HAI Tao, LIU Guang hui. State of the art and trends of sensor[J]. Journal of Transducer Technology, 2003, 22(5): 61-64.
- [2] 董景新.微机械加速度计[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [3] Atwell A R, Okojie R S. Simulation, fabrication and testing of bulk micro machined 6H-SiC high resistive accelerometers[J]. Sensors and Actuators, 2003, A104: 11-18.
- [4] Kovacs G T A. Micro machined transducers sourcebook[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [5] Gordon T B. Strap down micro electromechanical (MEMS) sensor for high g motion applications[J]. IEEE Transaction on Magnetics, 2001, 31(1): 52-54.
- [6] Tadiqadapa S A, Najafi N. Developments in microelectromechanical systems(MEMS): A manufacturing perspective[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, 2003, 125(11): 816-823.
- [7] 涂有瑞.霍尔传感元件及其应用[J].电子元器件应用,2002,4(12): 41-43.
TU You rui. Application of Hall sensor[J]. Journal of Electronic Components Application, 2002, 4(12): 41-43.
- [8] 卢红标,周早生,严东晋,等.爆炸冲击震动模拟震动平台的研制[J].爆炸与冲击,2005,5(3): 276-280.
LU Hong biao, ZHOU Zao sheng, YAN Dong jin, et al. Development on shocking table for blast explosions[J]. Explosion and Shock Waves, 2005, 5(3): 276-280.

Design and realization of an acceleration measurement system by using Model 1221*

ZHU Yi chao^{1,2}, GAO Cheng¹, LI Yan xin¹, CHEN Yong guang³

(1. Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology,
Nanjing 210007, Jiangsu, China;

2. The First Engineers Scientific Research Institute, the General Armaments Department,
Wuxi 214007, Jiangsu, China;

3. Jiangsu Yongfeng Mechanic Ltd, Xuyi 211722, Jiangsu, China)

Abstract: A small size acceleration measurement system based on ARM system was designed by using acceleration chip Model 1221 and expanding the external memory. Combined with the communication port, the application software was developed to display, store and deal with the data measured. By measuring the centripetal acceleration of the rotating body at the uniform velocity, this system was calibrated. The blast acceleration produced by shaking table was surveyed, and then the data were compared. The results show that the size of this system is smaller, the intelligent extent is higher, the dynamic range is greater and the memory capacity is larger.

Key words: mechanics of explosion; centripetal acceleration; accelerator; ARM microprocessor

* Received 21 March 2009; Revised 21 December 2009

Supported by the National Natural Science Foundation of China (60671007)

Corresponding author: ZHU Yi chao, yichao828@sohu.com

(责任编辑 曾月蓉)