

舰载导弹振动环境状态实时监测系统设计

史贤俊, 薛文国, 肖支才

(海军航空工程学院 控制工程系, 山东 烟台 264001)

摘要: 为了全面监测舰上导弹贮存的振动环境, 设计了对舰艇横摇、纵摇和升沉条件下的加速度信号实时监测系统; 该系统采用一体化、模块化设计的思想, 应用堆栈式结构总线 PC104, 提高了系统的便携性、可靠性; 采用两种供电方式提高了系统适应性; 文章详细阐述了硬件系统和软件系统的设计, 并重点对数据采集存储和数据显示功能实现进行了论述; 在 1 000 Hz 采样频率的实验条件下, 采集数据准确可靠, 精确度为 99.75%, 达到了系统设计的要求。

关键词: 振动; LabWindows/CVI; 数据采集; PC104 总线

Real-time Monitoring System Design of Shipboard Missile Vibration Environmental State

Shi Xianjun, Xue Wenguo, Xiao Zhicai

(Department of Control Engineering, NAAU, Yantai 264001, China)

Abstract: In order to overall monitor the vibration environment of missile storage, design a real-time monitoring system of shipboard missile vibration environment. It was made use of picking up the acceleration signal caused by the ship rolling, pitching, heaving motion. It used integrated and modularized designing idea, and applied PC104 bus to improve the system portability, adaptability. In addition, Two kinds of power supply was used to enhance the system reliability. This paper expounds in detail the design of hardware system and software system, and mainly discusses data acquisition and data display function realization. In the sampling frequency of 1000Hz, collecting data are accurate and reliable, accuracy of 99.75%, reaching the requirement of system design.

Keywords: vibration; LabWindows/CVI; data acquisition; PC104 bus

0 引言

在诸多影响导弹武器系统可靠性及寿命的因素中, 振动对导弹的可靠性及寿命影响不可小觑, 尤其是贮存在舰船上的导弹。当前对舰上导弹贮存的环境进行全过程跟踪缺乏便携性、适应性^[1]。所以当导弹在保养期内因振动而出现系统故障时, 缺乏全面的状态数据依据, 不能快速的维护和维修。这些不足也使得对导弹可靠性判断缺乏客观的依据。因此, 系统的分析舰上导弹贮存的力学环境及分析其对导弹贮存可靠性的影响是非常有必要的。而全面监测和记录导弹贮存环境的振动参数则是分析这些内容的基本前提。

本文设计了舰载导弹振动环境状态监测系统, 全面监测和记录导弹武器的振动环境参数, 为导弹武器系统可靠性判断提供真实和客观的环境历史记录数据。

1 系统总体方案设计

在充分研究监测参数的类型和指标的基础上, 确定了振动监测系统的技术指标和功能, 最终设计出相应的方案。

1.1 振动监测参数指标

(1) 振动强度范围: 舰艇受海浪的作用会产生横摇、纵摇和升沉三维运动。由于导弹在铁路、公路和水路运输过中的振动强度范围一般是: 轴向过载 $\pm 0.25 \sim \pm 3.5$ g, 横向过载 $\pm 0.25 \sim \pm 2.5$ g, 法向过载 $\pm 0.2 \sim \pm 3.0$ g。美海军舰载导弹

在舰船做高速机动航行时, 各个方向过载范围在 $\pm 0.62 \sim \pm 1.42$ g 之间。因此结合器件参数, 将加速度信号采集范围定义在 ± 5 g 之间。

(2) 振动采样频率: 由于海浪对舰船的作用一般集中在 0~5 Hz 的低频范围内, 根据香农采样定律, 所以监测系统设定的低频振动采样频率不应低于 15 Hz; 另外, 舰艇自身的主机推进和电机工作等活动会对船体产生 16~60 Hz 的高频响应振动, 以及舰艇受意外冲击的高频响应, 此外考虑已对导弹做了多级减震的防护, 因此, 环境监测系统的采样频率可设置在 50~1 000 Hz 的频率范围内, 这里我们选取采样频率为 1 000 Hz。

1.2 系统总体设计

PC104 是一种专门为嵌入式系统而定义的控制总线, 具有体积小、功耗低、可靠性高、维护方便、与 PC 机兼容等优点^[2]。根据设计要求、现场使用条件和环境, 振动监测系统采用基于 PC104 总线的设计方案。它采用紧固堆叠方式安装, 有利于设计高密度、小体积便携式数据采集仪^[3-4]。另外, 贯彻模块化的设计思想, 选用成熟的产品, 减少特殊资源的种类和数量, 降低成本、提高可靠性。系统总体方案设计框图如图 1 所示。

2 系统硬件设计

2.1 硬件系统模块选取

根据系统总体设计要求, 本着易于维护、扩展, 减轻开发难度, 减少开发成本、重复学习的原则, 进行系统硬件模块的选取。

收稿日期: 2014-01-05; 修回日期: 2014-02-28。

作者简介: 史贤俊 (1968-), 男, 山东莱州人, 教授, 博士, 主要从事智能测试与模式识别的研究。

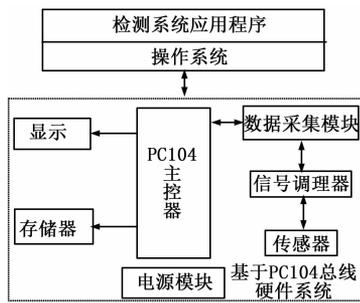


图 1 系统总体方案设计框图

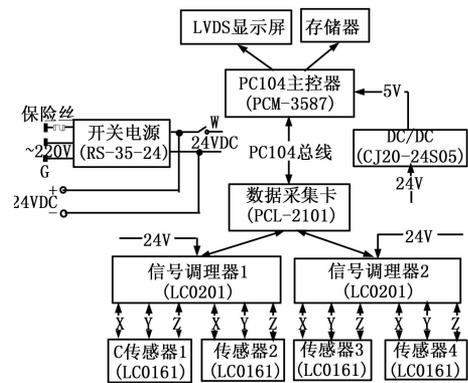


图 2 硬件系统结构框图

(1) PC104 主控器。处于对功耗和可靠性的要求，采用深圳深蓝宇的 PCM-3587。它是一款低能耗的 x86 嵌入式主板，实现了几乎所有的工业计算机所需要功能。

(2) 数据采集卡。由于本系统有 12 路量程范围为 -5 ~ +5V 的双极性信号输入，采样频率 1 000 Hz，选用深圳深蓝宇的 PCL-2101。该模块具有 16 路单端/8 路差分输入，12 位的分辨率，最大 AD 采样率为 251 kHz。支持量程为 0 ~ +10 V，±5 V，±10 V 的双极性或单极性输入。完全满足系统数据采集的要求。

(3) 传感器和信号调理器。依据数据采集需求，并考虑舰艇环境特点，选用朗斯测试技术有限公司的内装 IC 压电加速度传感器 LC0161。其激励电压为 18~30 VDC，偏置电压为 8~12 VDC；量程为 5 g，分辨率为 0.000 02 g；抗冲击为 300 g，温度适应范围为 -30~+80 ℃。由于 LC0161 需要 24 VDC、4 mA 的恒流源供电，其输出信号是由与振动加速度成正比的交流信号和输出偏压叠加而成。因此，采用专为 LC0161 而设计的信号调理器 LC0201。它具有 8 个通道，工作温度为 -10~+40 ℃。

(4) 电源。由于系统采用两种供电方式：交流 220 VAC 和直流 24 VDC，另外信号调理器需用 24 VDC，PCM-3587 板卡所需电压为 5 VDC。所以选用 MEAN WELL 的 RS-35-24 来完成 220 VAC 到 24 VDC 的转换；选用北京承力的 CJ20-24S05 完成 24 VDC 到 5 VDC 的转换。

(5) 显示屏。选用上海尹莱仕光电科技有限公司生产的 7 寸 LED 数字液晶 LVDS 模组。它集成 LVDS 驱动板模块、USB 触摸控制模块、7 寸 LED 数字工控屏和 4 线电阻触摸屏。工作环境温度范围宽，超薄，连接 ARM 系统和嵌入式工控主板非常简便。

2.2 硬件系统实现

振动监测系统以 PC104 嵌入式控制模块为核心，由加速度传感器、信号调理器、数据采集卡^[5]、LVDS 显示屏、电源模块和大容量存储器模块组成，采用 220 V 交流和 24 V 蓄电池两种供电方式。其硬件结构框图如图 2 所示。

3 系统软件设计

3.1 软件功能分析与设计

结合硬件系统，考虑监测系统所要实现的功能，软件部分需要完成的任务有：

- (1) 初始化，包括数据采集卡和主板的初始化。
- (2) 读取 FIFO 数据缓存中数据。
- (3) 采集数据向有意义值的转换及存储。
- (4) 3 个方向加速度信号可切换动态显示及报警。

通过综合分析考虑，将以上 4 个任务由主线程和一个中断服务子程序来完成。其中中断服务子程序用来完成任务 (1)，保证数据采集的实时性和完整性；主线程用来完成任务 (1)、(3) 和 (4)。

目前在自动测试领域应用的软件，绝大部分是 Windows 作为软件开发环境。因此，在本系统中，选用 Windows XP 为监测系统的操作系统，LabWindows/CVI^[6] 为应用软件的开发工具。其系统软件总体设计实现框图如图 3 所示。

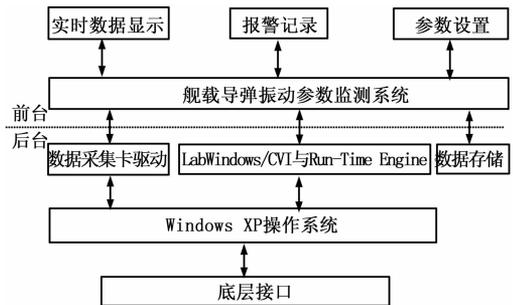


图 3 软件总体设计实现框图

3.2 软件实现

通过对数据采集卡的配置，数据缓存 FIFO 半满时，即数据达到 512 字节，将触发半满中断，执行中断服务程序，其流程如图 4 所示。

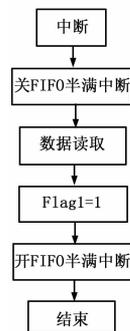


图 4 FIFO 数据缓存半满中断程序流程图

这 512 字节数据中每两字节构成一次 AD 转换数据，其格式如图 5 所示。

其中 ADC0~ADC11 是 12 位 ADC 数据，CH0~CH3 是 4 位 2 进制数，表示当前转换的通道号。所以按下面公式得到 AD 值 AD_Value 和通道号 $Channel_Value$ 。

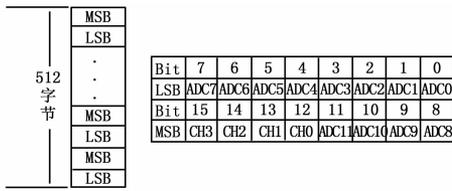


图 5 FIFO 数据格式

$$AD_Value = (MSB \& 0xf) \ll 8 + LSB$$

$$Channel_Value = (MSB \& 0xf0) \gg 4$$

得到了 A/D 变换值后, 要将其转换成为有意义的值。第一步就是将其转换成为实际测量的电压值。然后将这个电压值转换成有实际意义的物理量^[7]。所以转换的具体操作步骤如下:

(1) 利用公式

$$Voltage_Value = \left(\frac{AD_Value}{2048} \right) \cdot VFS - VFS$$

得到输入电压值。其中 VFS 为输入电压全量程, 该系统的 VFS 为 5。

(2) 利用公式

$$Acceleration_Value = \frac{Voltage_Value}{Sen_Value}$$

得到振动环境的振动参数加速度, 其中 Sen_Value 是传感器 3 个方向的灵敏度。

由于定时器 1 ms 同时触发 12 个通道一次 AD 转换, 所以产生一次 FIFO 半满中断大概要 21 ms。为了保证数据转换的准确性和存储的完整性, 在进行数据的转换和存储期间禁止中断, 在这段时间内, 主线程完成 512 字节数据的转换和存储是足够的, 不会出现不能及时响应中断请求的现象。主线程的程序流程图如图 6 所示。

对于数据显示方面, 按横摇, 纵摇, 升沉将 12 个通道的加速度信号进行分类, 实现 3 个方向加速度的可切换动态显示及报警限的设置。

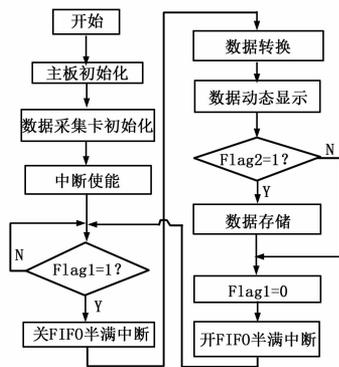


图 6 主线程流程图

4 实验

将传感器安装好, 启动系统运行程序, 设置好参数后, 依次点击界面上的“开始存储”和“横摇”按钮, 屏幕上显示的软件界面如图 7 所示。

此时, 程序在指定的磁盘空间上以时间命名新建文件, 并以二进制格式进行数据的存储, 每个文件大小为 256 M。运用

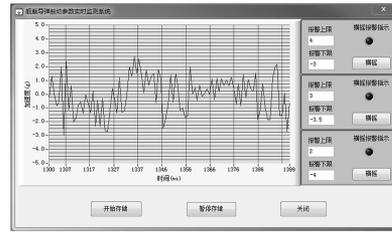


图 7 软件交互界面

Matlab 软件工具将进行横摇试验存储的一个文件进行数据呈现, 呈现结果如图 8 所示。图中表格每列代表一个数据采集通道; 行与行之间数据的采集时间间隔为 1 ms。经过分析, 实验采集的数据准确, 完整, 达到设计的要求。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.8883	-0.0179	0.0063	1.8883	-0.0179	0.0063	1.8883	-0.0179	0.0063	1.8883	-0.0179	0.0063
2	2.4348	0.0084	0.0018	2.4348	0.0084	0.0018	2.4348	0.0084	0.0018	2.4348	0.0084	0.0018
3	-2.2381	-0.0089	-0.0103	-2.2381	-0.0089	-0.0103	-2.2381	-0.0089	-0.0103	-2.2381	-0.0089	-0.0103
4	2.4803	0.0010	-0.0095	2.4803	0.0010	-0.0095	2.4803	0.0010	-0.0095	2.4803	0.0010	-0.0095
5	0.7942	-0.0054	0.0031	0.7942	-0.0054	0.0031	0.7942	-0.0054	0.0031	0.7942	-0.0054	0.0031
6	-2.4148	0.0030	0.0014	-2.4148	0.0030	0.0014	-2.4148	0.0030	0.0014	-2.4148	0.0030	0.0014
7	-1.3290	-0.0060	0.0052	-1.3290	-0.0060	0.0052	-1.3290	-0.0060	0.0052	-1.3290	-0.0060	0.0052
8	0.2813	0.0049	0.0026	0.2813	0.0049	0.0026	0.2813	0.0049	0.0026	0.2813	0.0049	0.0026
9	2.7450	0.0074	-0.0094	2.7450	0.0074	-0.0094	2.7450	0.0074	-0.0094	2.7450	0.0074	-0.0094
10	2.7893	0.0171	-0.0016	2.7893	0.0171	-0.0016	2.7893	0.0171	-0.0016	2.7893	0.0171	-0.0016
11	-2.0543	-0.0019	-0.0015	-2.0543	-0.0019	-0.0015	-2.0543	-0.0019	-0.0015	-2.0543	-0.0019	-0.0015
12	2.8236	-0.0214	-0.0053	2.8236	-0.0214	-0.0053	2.8236	-0.0214	-0.0053	2.8236	-0.0214	-0.0053
13	2.7430	-0.0084	0.0168	2.7430	-0.0084	0.0168	2.7430	-0.0084	0.0168	2.7430	-0.0084	0.0168
14	-0.0877	0.0135	-0.0088	-0.0877	0.0135	-0.0088	-0.0877	0.0135	-0.0088	-0.0877	0.0135	-0.0088
15	1.8017	-0.0107	-0.0048	1.8017	-0.0107	-0.0048	1.8017	-0.0107	-0.0048	1.8017	-0.0107	-0.0048
16	-2.1487	0.0096	-0.0071	-2.1487	0.0096	-0.0071	-2.1487	0.0096	-0.0071	-2.1487	0.0096	-0.0071
17	-0.4694	0.0012	-0.0117	-0.4694	0.0012	-0.0117	-0.4694	0.0012	-0.0117	-0.4694	0.0012	-0.0117
18	2.4944	0.0144	-0.0019	2.4944	0.0144	-0.0019	2.4944	0.0144	-0.0019	2.4944	0.0144	-0.0019
19	1.7532	-0.0196	-0.0027	1.7532	-0.0196	-0.0027	1.7532	-0.0196	-0.0027	1.7532	-0.0196	-0.0027
20	2.7570	-0.0020	0.0153	2.7570	-0.0020	0.0153	2.7570	-0.0020	0.0153	2.7570	-0.0020	0.0153
21	0.9344	-0.0121	-0.0025	0.9344	-0.0121	-0.0025	0.9344	-0.0121	-0.0025	0.9344	-0.0121	-0.0025
22	-2.7857	0.0291	-0.0106	-2.7857	0.0291	-0.0106	-2.7857	0.0291	-0.0106	-2.7857	0.0291	-0.0106
23	2.0948	0.0083	0.0160	2.0948	0.0083	0.0160	2.0948	0.0083	0.0160	2.0948	0.0083	0.0160
24	2.6040	0.0138	0.0173	2.6040	0.0138	0.0173	2.6040	0.0138	0.0173	2.6040	0.0138	0.0173

图 8 横摇试验条件下 12 个通道的采集数据

5 结论

本系统充分考虑了系统设计的可靠性、准确性、适应性。首先采用高分辨率、高速的数据采集卡, 这样既保证了采集数据的精度, 也保证了数据采集的频率。其次采用基于 PC104 总线的嵌入式板卡, 这种堆栈式结构使得系统结构紧凑, 便携。然后 3 个方向加速度信号的可切换动态显示及报警功能, 使系统具有了全面的监视功能和智能性。最后采用两种供电方式, 增强了系统适应环境的能力。通过实验验证, 系统准确可靠, 具有很强的使用价值和推广价值。

参考文献:

- [1] 高玉民. 便携式数据采集器在设备管理中的应用 [J]. 设备管理与维修, 2006, (07): 7-9.
- [2] 宋敏达, 许化龙, 李华, 等. 基于 PC104 总线的加速度计数据采集系统设计与实现 [J]. 火箭与控制学报, 2009, (05): 290-293.
- [3] 房纪涛, 杨慕升, 张宇. 基于 PC104 总线的数据采集仪及数据分析系统 [J]. 测控技术, 2006, (08): 25-27.
- [4] 张超, 许化龙. 导弹控制系统数据采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, (10).
- [5] PCL-2101 User's Manual [Z]. 深蓝宇科技有限公司. 2009: 2-5.
- [6] 王建新, 杨世凤, 隋美丽. LabWindows/CVI 测试技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006, 109-133.
- [7] 雷霖. 微机自动检测与系统设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003, 316-350.