

# MEMS加速度传感器的引信数据采集系统设计

刘晓明, 王录涛

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】**论述了侵彻引信系统的数据采集系统设计与实现。该系统采用MEMS阵列式加速度传感器获取冲击过程中的加速度值,将可测量加速度范围提高 $10^5g$ 以上。利用FPGA芯片实现八路并行数据采集,通过对输入数据的有效选择和64阶数字FIR滤波处理,实现了高速冲击加速度的高精度测量;同时减小了引信数据采集系统的体积,提高了系统的可靠性,便于维护与升级。

**关键词** 数据采集; 可编程逻辑阵列; 微机电系统; 侵彻  
**中图分类号** TP23 **文献标识码** A

## Design of Fuse Data Acquisition System Based on MEMS Array Acceleration Sensor

LIU Xiao-ming and WANG Lu-tao

(School of Mechatronics Electronics Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** A high precision data acquisition system for penetrating fuse system is presented in this paper. This system is based on a MEMS array accelerator, which extends the measurable acceleration range to  $10^5g$ . In order to meet the demand of high precision measurement, real-time response, and small volume, a 8 channels parallel data acquisition circuit and a 64 order digital FIR circuit are designed on a FPGA chip. This data acquisition system is also very convenient for maintenance and upgrade.

**Key words** data acquisition; field programmable gate array; micro electro-mechanical system; penetration

智能侵彻引信系统是一种多学科融合、技术复杂、要求精密的综合信息控制系统。目前国内外的智能侵彻引信系统多采用加速度传感器与微处理器相结合的方法,利用传感器获取侵彻过程中的目标信息,微处理器则负责从传感器获取的目标信息中提取有用信息,实时完成目标信息分析与介质特性识别,选择最佳时机触发引信系统的点火电路<sup>[1-3]</sup>。在智能引信系统中,引信数据采集系统负责将传感器获取的目标介质信息准确无误地传递给微处理器。因为侵彻过程持续时间短、冲击加速度可达 $10^5g$ 以上,所以引信数据采集系统必须有足够高的测量精度、采样速率和实时的信号处理能力,才能将传感器输出加速度信号从复杂的背景噪声中提取出来;同时系统体积必须足够小,以满足侵彻武器的应用需求。

### 1 MEMS阵列式加速度传感器

侵彻武器通常以每秒数百千米的速度穿入地

面、混凝土、岩石或其他的坚硬物质,侵彻平均加速度可达重力加速度的2万倍,最大加速度可达几十万倍重力加速度<sup>[4]</sup>,因此要求加速度传感器能够承受 $10^5g$ 以上的加速度的冲击。利用微机电系统(micro electro-mechanical system, MEMS)技术设计制造的微传感器不仅能满足在高速冲击下的性能要求,而且由于制造技术兼容IC制造技术,在一块硅晶片上一次可以加工多个加速度传感器,有效地提高了引信性能的一致性和可靠性,大大降低了生产成本<sup>[5]</sup>。

该系统采用压阻式MEMS阵列式加速度传感器将加速度信号转换成电压信号。该传感器利用硅表面加工与体加工技术制造,在同一个平面上按方位平均分布八个相同的传感单元,每一个传感单元上集成了一个由扩散技术制成的应变电阻组成的电桥放大电路<sup>[6]</sup>。该传感器可同时输出八路模拟加速度电压信号,供数据采集与处理系统使用。受加工工艺的影响,加速度传感器输出信号与标准传感器输

收稿日期: 2006-10-21; 修回日期: 2007-01-18

基金项目: 部级预研项目

作者简介: 刘晓明(1949-),女,教授,主要从事微机电系统设计与制造等方面的研究。

出信号相比存在一定的偏差,采用具有多个传感单元的阵列式加速度传感器,通过对八路输出信号的比较、筛选,可有效地减少因各种因素引入的测量误差,降低了传感器的标定难度。多个传感单元的存在使在高速冲击过程中,因内部引线断裂造成的传感器失效的机率降低到最低,从而增加了传感器的可靠性。由于冲击过程中产生的加速度场的分布是不均匀的<sup>[7]</sup>,多个传感单元分布在加速度场的不同位置上,可提高系统的测量精度。

## 2 数据采集系统设计

### 2.1 系统设计

为了完成MEMS阵列式加速度传感器八路模拟信号的准确采集,在系统中利用可编程逻辑设计阵列技术(FPGA)在一块FPGA芯片上设计了三个电路模块:模数转换控制模块、数据选择模块和数字滤波模块。模数转换控制模块产生模数转换控制器工作所需的时序,读取转换后的数字化的加速度值交给中值滤波模块处理;中值滤波模块判断输入数值的有效性并进行筛选,选出最理想的一路加速度值;数字滤波模块对输入信号作进一步的滤波处理,消除高频噪声信号的影响,提高系统测量精度。系统架构框图如图1所示。

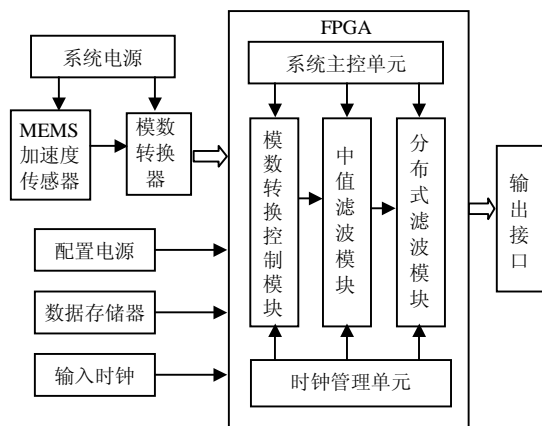


图1 数据采集系统架构框图

为了满足实时性要求,系统采用数据流处理方式处理输入加速度信号。该方式在一次模数转换结束后立刻进行加速度值的选择和滤波处理,并保证在下次模数转换结束前完成本次的数据处理,经处理后的加速度值不经存储,直接交给微处理器。由于数据流处理方式可以在一个采样周期内完成数据选择和滤波处理,因此采用数据流处理方式可以使系统延迟最小。在设计时充分利用了FPGA的并行设计技术,将算法按功能分解为相对独立的多个运

算单元,有效地降低了系统对处理器速度的要求。

### 2.2 多通道同步采样与模数转换控制模块设计

对于多通道数据采集一般采用分时采样技术与同步采样技术两种方式。分时采样技术利用一个或多个多选的模拟开关分时地对每一路信号进行转换,同一时刻仅对一路模拟输入信号进行采集;同步采样技术则在同一时刻并行地对输入模拟信号进行采样。分时采样系统中,采集到的信号不是同一时刻点的,不可避免地带来相位测量的误差,虽然可采用软件准同步采样技术,但是算法较为复杂,在实时性要求高的系统中使用有一定的难度<sup>[8-9]</sup>。在对信号相位要求非常严格的系统中,采用多通道同步采样技术,可有效地解决该问题。该系统采用MAXIM公司的模数转换芯片MAX1308、MAX1308集成了八个独立的模拟输入通道,每个通道具有一个独立的采样/保持(T/H)电路,可实现八个通道的同步采样。由于仅采用一个模数转换器,系统的体积可大大缩小,降低了硬件的设计难度,提高了系统的可靠性。MAX1308是12位的模数转换器,完成一次八个通道的模数转换仅需 $1.98\ \mu\text{s}$ <sup>[2]</sup>。由试验分析可知,侵入加速度信号一般持续时间为几毫秒到几百毫秒,因此采用MAX1308能够满足系统的实时性与测量精度要求。MAX1308内嵌的 $8\times 12$ 位SRAM方便了转换后数据的读取,简化了控制逻辑的设计。

模数采样控制模块与MAX1308协同工作,负责产生使MAX1308正常工作所需的时序和读取转换后的数据。MAX1308的12位双向并行数字I/O线即可以用来输出转换结果,也可以用来配置MAX1308的工作状态。配置寄存器中的每一位二进制数直接映射到相应通道号上,通过数据线D0~D7往配置寄存器某位写“1”就可以激活相应通道。MAX1308内嵌的 $8\times 12$ 位的SRAM可存储一次转换后的多通道数据,转换结果可以在转换过程中读取,也可以在多个通道转换结束后读取。该系统采用转换结束后读取的方式读取MAX1308的转换结果。

利用FPGA设计的模数转换控制模块与MAX1308的接口电路如图2所示。采样控制器输入时钟由模数转换控制模块产生,CONVST用于启动MAX1308数据转换,EOLC为一次八通道模数转换结束信号,该信号用于通知转换控制模块读取转换结束后的加速度值。RD与WR为MAX1308的读写控制信号,当WR有效时,模数转换控制模块的D0~D11为输出引脚,用于配置MAX1308的工作状态。RD有效时,D0~D11为输入引脚,用于读出模数转

换结束后的加速度值。

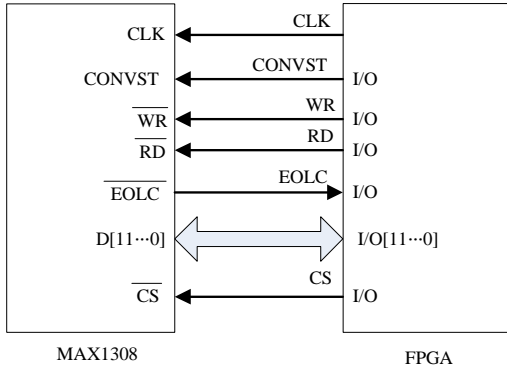


图2 MAX1308采样控制模块图

MAX1308模数转换控制器的状态转移图如图3所示。状态 $S_0$ 为初始态,在状态 $S_1$ 、 $S_2$ 和 $S_3$ 完成模数转换控制模块的初始化工作,即完成MAX1308的输入通道设置。当模数转换启动后,该控制器状态由 $S_3$ 进入 $S_4$ , $S_4$ 表示该控制器等待模数转换的结束,在 $S_5$ 、 $S_6$ 和 $S_7$ 状态下,控制器完成转换后数字信号的读

取工作,并输出转换结束信号,同时回到 $S_4$ 等待下一次模数转换的结束。

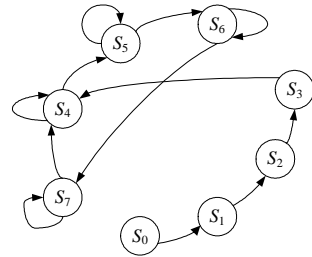


图3 模数转换控制模块的状态转移图

MAX1308的转换控制器功能仿真波形图如图4所示。当write与cs同时为低电平时,向配置寄存器写入“FF”,使能八个输入通道,conv\_st为低电平时启动模数转换,eolc由高变为低表明八通道数据全部转换完毕,此时cs为零。在八个连续read读脉冲的作用下,将转换结果通过din[11..0]读入模数转换控制模块中,并通过dout[11..0]输出。

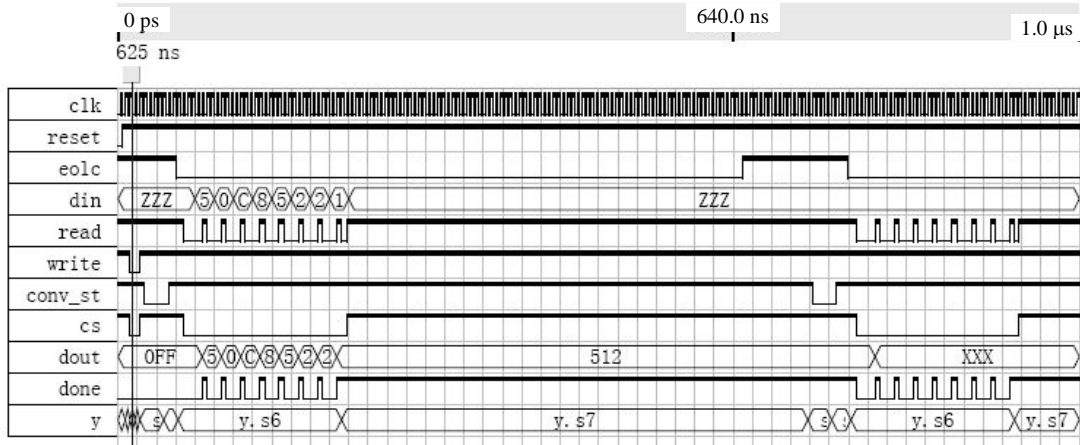


图4 模数转换控制模块功能仿真波形图

### 2.3 数据选择模块设计

数据选择模块负责从每次模数转换后的八个冲击加速度值中选择一个最接近理想状况的冲击加速度值。中值算法是一种简单有效并且易于实现的数据选择的办法,该算法首先将冲击加速度值进行排序,然后判断是否有零值(零值说明某个传感单元失效),排除零值后剩余数值中的中间值即为理想的冲击加速度值。利用VHDL描述的数据选择模块电路的主要部分如下:

```

if Count = 8 then
  if flag = '1' then
    done <= '0'; Count <= (others='0');
  elsif  $C_i < 7$  then
     $t_1 := d(C_i)$ ;

```

```

if  $C_j < 8$  then
   $t_2 := d(C_j)$ ;
  if  $t_1 > t_2$  then --比较取出较小值
     $d(C_i) <= t_2; d(C_j) <= t_1$ ;
  else
     $d(C_i) <= t_1; d(C_j) <= t_2$ ;
  end if;
   $C_j := C_j + 1$ ;
else
   $C_i := C_i + 1; C_j := C_i + 1$ ;
end if;
else
done <= '1'; --比较结束信号
flag := '1'; --比较结束标志

```

end if;

end if。

## 2.4 数字滤波模块设计

分布式技术是一项重要的FPGA设计技术,利用FPGA内丰富的RAM资源和寄存器资源,可以方便地构建高阶的数字FIR滤波器<sup>[10]</sup>。基于分布式算法的FIR数字滤波器在结构上是基于查找表来实现的,当查找表结构较大时采用FPGA内部RAM作为查找表的物理载体。由于RAM的访问时间是一定的,滤波器的响应时间仅取决于输入信号的位数,因此采用分布式算法可以显著地降低滤波器的复杂度与响应速度。本文设计的数字滤波器为64阶对称系数FIR滤波器。由于滤波器系数对称,64阶滤波器仅需32个系数,在上述结构中采用FPGA中的四个嵌入式逻辑块(EAB)构成查找表,将查找表的规模从 $32 \times 2^{12}$ 降低到四个 $8 \times 2^{12}$ ,降低了对有限芯片资源的需求。FIR滤波器的结构如图5所示。图中, $X_i[j]$ 表示第j个数据的第i位, $i$ 的取值范围为0~11。

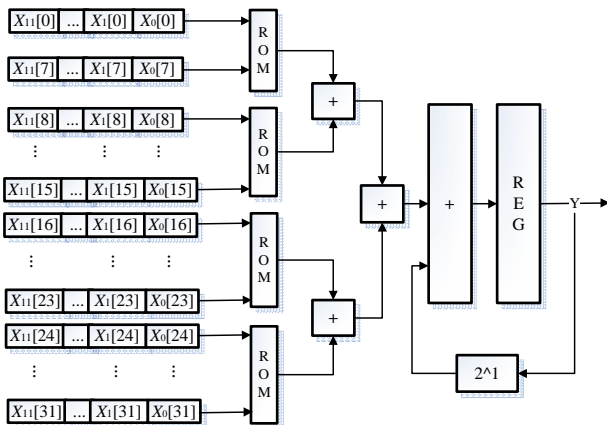


图5 DA滤波器结构图

## 3 结论

本文对基于MEMS加速度传感器的侵彻引信数

据采集系统的实现进行了论述。该数据采集系统充分利用压阻式MEMS阵列式加速度传感器抗冲击性能好、体积小的优点,将可测量加速度范围扩展到 $10^5g$ 以上,在数据采集电路设计上综合运用多通道同步采样技术和可编程逻辑设计技术,实现了高速冲击加速度的高精度实时采集。该系统可显著降低引信系统的体积,在侵彻武器体积不变的情况下,提高杀伤力,可用于高速冲击加速度记录仪等设备上。

## 参 考 文 献

- [1] FRANCE R J, PLATZBECKER M R. Miniature penetra-tor (NINPEN) acceleration recorder development and test[Z]. Telemetry Technology Development Department. 2664 Sandia National Laboratories Albuquerque, NM, 1998.
- [2] MAXIM. 8-/4-/2-Channel, 12-Bit, Simultaneous-Sampling ADCs with  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ , and 0 to  $+5V$  Analog Input Ranges[Z]. 2004 Maxim Integrated Products. 2004, 19-3052; Rev 3.
- [3] 陈荷娟, 黄学功, 赖百坛. 智能化引信[J]. 现代军事, 2005, 8: 49-52.
- [4] 洪元军. 外军侵彻弹药及引信技术的最新进展[J]. 探测与控制学报, 2000, (22): 8-13.
- [5] 蔡希林, 曲非非. SOC片上系统、MEMS微机电系统和 Smart Dust智能微尘[J]. 微计算机信息, 2003, 19(6): 1-3.
- [6] 刘晓明. 测试 $10^5g$ 微阵列式加速度传感器[J]. 中国机械工程, 2003, 14(5): 371-374.
- [7] 谭先吉, 刘晓明. 高g阵列式加速度传感器加速度场的研究[J]. 中国测试技术, 2004, 1: 29-30.
- [8] 胡晓菁, 李朋, 郭佳佳, 等. 基于FPGA的多路交流信号同步采集系统的实现[J]. 继电器, 2006, 2: 71-75.
- [9] 郑朝晖, 张玉钧, 刘文清, 等. 一种单片机控制的光谱数据采集系统[J]. 单片机与嵌入式应用, 2001, (1): 61-65.
- [10] UWEMEYER B, 刘凌, 胡永生. 数字信号处理的FPGA实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

编辑 税红