

基于 TMS320VC5509A 的声呐阵流噪声 数据采集系统

江国和^{1,2}, 符栋梁¹

(1. 江苏科技大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212003;

2. 上海海事大学 商船学院, 上海 200030)

摘要: 针对拖曳声呐阵的特点, 为了能测试到对其性能影响最大的流噪声, 采用 DSP 芯片 TMS320VC5509A 设计了一种高精度数据采集系统, 克服了因采用“主处理器 + SD 卡控制器 + USB 控制器”方式, 分别处理和传输数据造成的系统复杂、传输延时、稳定性差等缺点, 且使用了 CPLD 芯片, 解决了采集在水下声呐阵中不易控制的问题, 这样使得整个系统占用资源少, 易于日后扩展。该系统主要功能是采集由多路水听器检测到的线列阵流噪声信号, 并将其存储于 SD 卡中, 而后通过 USB 与上位机通信实现数据的离线分析。

关键词: DSP; SD 卡; USB; 声呐阵; 数据采集

中图分类号: TB565 **文献标识码:** A

文章编号: 1672 - 7649(2009)05 - 0133 - 04 **DOI:** 10. 3404/j. issn. 1672 - 7649. 2009. 05. 031

Sonar array flow noise data acquisition based on TMS320VC5509A

JIANG Guo-he^{1,2}, FU Dong-liang¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China; 2. Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 200030, China)

Abstract: According to the characteristic of the towed sonar array, this paper designs a high-precision data acquisition based on DSP chip which is TMS320VC5509A, in order to test flow noise which has a strongest influence on performance of the sonar array. This system is conciser, higher-speed and more stable than old methods, which are designed as “CPU + SD card controller + USB controller” model. Moreover, it solves problem which is data acquisition not being easy to control under water in the sonar array. Therefore, this system is conciser, expandable. The system converts sonar array flow noise signal from multi-channel sonar and save them into SD card. Then, it transmits data to PC by USB for off-line analysis.

Key words: DSP; SD card; USB; sonar array; data acquisition

0 引言

该数据采集系统主要应用于拖曳声呐阵流噪声的采集, 以便声呐研究人员能够有效降低和抑制流噪声, 从而改善其性能。声呐阵在水下应用受到各种特殊的限制, 对器件的小型化和耐压、水密问题都有独特的要求以及很难进行实时分析等问题,

已成为对线列阵声呐流噪声采集和分析的瓶颈。近年来, 随着芯片制造工艺和可编程技术的不断发展, 在数字化平台上研制小型化的拖曳声呐阵数据采集、传输电路已经成为可能。在此背景下, 本文设计了一种声呐阵数据采集系统, 对流噪声信号进行高精度采集、存储, 并通过 USB 与上位机通信实现数据的离线分析。

收稿日期: 2008 - 12 - 02; 修回日期: 2008 - 12 - 17

基金项目: 国家自然科学基金基础研究项目资助(10772072)

作者简介: 江国和(1963 -), 男, 研究员, 研究方向为振动、冲击及噪声控制。

1 数据采集系统的总体设计

系统需完成 31 路安装在声呐阵内部的声呐输出的微弱电压信号的采集并存储。由于声呐阵在水中高速拖动,对其流噪声进行实时采集实现难度较大,故系统需对流噪声进行离线采集并存储。

系统主要由系统供电电路、模拟开关芯片 ADG731、信号调理电路、ADC 芯片 AD7764 和 DSP 芯片 TMS320VC5509A 及其外围电路组成。系统原理框图如图 1 所示。

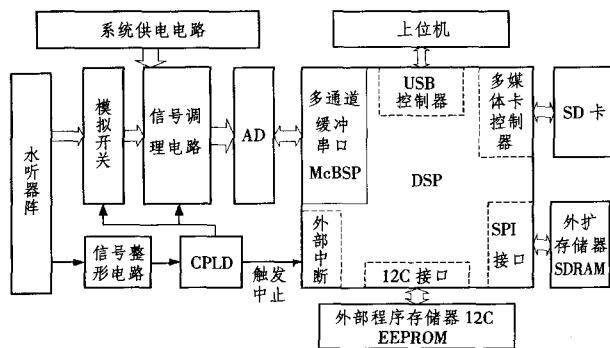


图 1 数据采集系统结构框图

Fig. 1 Whole design frame of DSP data acquisition

系统基本原理为:系统上电后,初始化系统各器件,DSP 自动执行固化在内部 ROM 中的 BOOT 程序,将外部 EEPROM 中的程序引入 DSP 内部高速 RAM 程序区中,从而执行系统程序。其中一路声呐接收到由声呐阵外水下换能器发出的一定频率的声波信号,经过信号整形电路进入 CPLD 判断是否为数据采集触发信号。若是,则启动数据采集进程,由 CPLD 控制多模拟开关和系统的程控主放大电路,此时 31 路声呐分时进入模拟开关经放大滤波后进入 AD 芯片进行 24 位精度的模数转换,经 DSP 的多通道缓冲串口 McBSP 进入 DSP 进行 u 律压缩而后存储于 SD 卡。待实验完成需离线分析所采集的数据时,DSP 将存储于 SD 卡的数据解压缩通过 USB 总线传给上位机。

2 数据采集系统主要硬件电路设计

2.1 模拟开关及信号调理电路的设计

多路模拟开关在多路被测量信号共用一路 A/D 转换器的数据采集系统中,通常用来将多路被测信号分别传送到 A/D 转换器进行转换,以便计算机能对多路被测信号进行处理。而此系统采用的是 32 通道多

路模拟开关 ADG731,并通过 CPLD 控制 31 个声呐信号的通道切换,以实现多个通道的分时采样。

在完成通道切换后,从模拟开关出来的信号仍然十分微弱,在 0 ~ 1 mV 之间,信号幅度较小,而进入 AD7764 的差分输入电压应保持在 - 3.2768 ~ + 3.2768 之间。此外,采集时背景噪声强且信号源阻抗比较大,故本系统的前置放大电路采用仪表放大器 AD620。在主放大上选用可编程放大器以实现放大倍数的可调性。由于现有的可编程放大器只能实现几个数量级的程控放大,故本系统的主放大电路采用 Maxim 公司的 12 位 D/A 转换器 MAX551 来完成对信号的放大增益在 1 ~ 4 096 倍之间可调放大。

由 D/A 芯片资料可知可编程增益放大器的闭环增益,其中 D 为可编程数字量,

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{4096}{D} \quad (1)$$

声呐阵在拖动过程中,0 ~ 100 Hz 内干扰幅度特别大,对流噪声的采集形成严重干扰,故选用双运放芯片 LTC2051 做相应带通滤波。

2.2 AD 转换电路的设计

AD 芯片采用的是 ADI 公司新推出的 24 位 $\Sigma - \Delta$ 型 ADC AD7764,最高采样速率 312 kSPS。当采样频率为 312 kHz 时,仍具有 109 dB 的高动态范围。片上自带 BUFFER、差分放大器、低通 FIR 滤波器,且具有灵活可方便用户连接的 SPI 串行接口。由于 DSP 具有多通道缓冲串口 McBSP,因此可实现与 AD7764 的串行接口的无缝连接。由于 AD7764 与 5509A 的 IO 电压不匹配,因此其间还采用 ADG3308 进行相应的电平转换。

2.3 DSP 系统电路的设计

整个系统的核心是 DSP。该系统采用的是 TI 公司的 TMS320VC5509A。其主频最高可达到 200 M, I/O 电压 3.3 V,内核电压 1.6 V。它丰富的外设资源,都比较符合系统的性能要求。特别是它的 2 个 SD/MMC 控制器接口,使得系统可直接采用大容量 SD 卡以存储大量可供离线分析的数据。此外,芯片内集成了 USB1.1 控制器,使得系统可以直接与 USB 接口相连,上传之前存储在 SD 卡上的数据。

DSP 最小系统是使 DSP 能正常工作的最基本的电路,如图 2 所示,它包括电源电路、时钟电路、复位电路和仿真接口及外扩存储器等。该系统采用较为稳定的复位芯片 ADM6711 实现整个系统的复位。由于需要用到 DSP 片上的 USB 接口,故系统采用 16 M

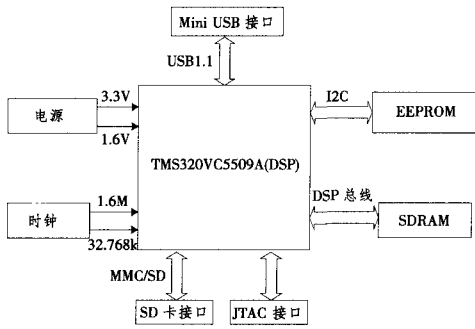


图 2 DSP 最小系统

Fig. 2 DSP minimum system

时钟输入。此外,为了上电后系统可以自行运行,系统配置一个 I2C EEPROM 作为外部程序存储器。

2.4 CPLD 逻辑控制电路的设计

系统中采用的 CPLD 是 Altera 公司的 EPM7032S 芯片。在此 CPLD 主要实现对多路模拟开关的控制,程控放大器的放大增益设定,接受来自水下换能器发出的某单频率信号通过测频并判断从而产生采样触发及终止信号给 DSP 的硬件中断 INT0、INT1 等。

3 数据采集系统软件设计

软件系统设计主要采用 C 语言和汇编语言对 DSP 混合编程,编程环境使用 TI 公司的集成开发软件 CCS,图 3 是系统工作在数据采集状态和离线读取数据状态的主要流程。

系统软件包括系统初始化、数据采集、SD 卡数据

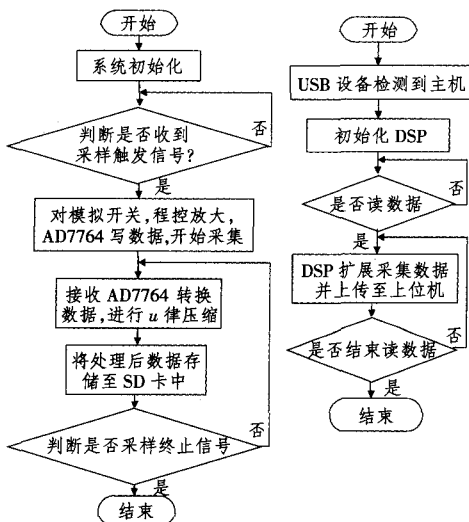


图 3 系统工作在 2 种状态时的流程图

Fig. 3 Flow of system working under two state

存储、USB 数据传输等几部分。

3.1 系统初始化部分

系统初始化是根据 DSP 芯片固有的功能和特征,进行主程序的入口设置,所有寄存器清零,程序 ROM 区和数据 RAM 区的初始化,中断矢量设置等主程序运行前的准备工作。DSP 的初始化程序对系统必须的寄存器和标志位设置初始值,如状态寄存器 ST0-ST3、时钟模式寄存器、中断标志寄存器 IFR、中断使能寄存器 IER、MMC/SD 卡控制器和 USB 控制器内部寄存器;然后系统进入数据采集或是数据离线读取状态。

3.2 数据采集部分

利用 C5x 片上支持库 CSL (Chip Support Library) 中的函数进行编程,容易实现和调试。以下是数据采集主程序部分源代码:

```
extern void VECSTART(void); //外部中断向量表
interrupt void writeIsr(void); //发送数据中断服务子程序
interrupt void readIsr(void); //接受数据服务中断子程序
interrupt void system_start_Isr(void); //硬件中断 INT0; system_start_Isr
interrupt void system_end_Isr(void); //硬件中断 INT1; system_end_Isr
void taskFxn(void); //串口采集程序
void main(void)
{
    Uint16 i;
    CSL_init(); //初始化库函数
    IRQ_setVecs((Uint32)(&VECSTART)); //设置中断向量表起始位置
    while(1) { //询问是否开始采集程序
        if(flag1) //INT0 进中断触发采集
        {
            flag = 0; //清数据采集中止标志位
            taskFxn();
        }
        else {;}
    }
}
```

3.3 SD 卡数据存储部分

5509A 对 SD 卡的读写过程包括初始化和读写。而初始化过程分为 SD 卡控制器初始化和 SD 卡的初始化过程。对 SD 卡控制器进行初始化主要是完成

各种参数的配置,包括控制器与 CPU 数据传的 DMA 方式、传输速率、读写超时设置和读写数据块长度等流程;对 SD 卡进行的初始化,主要是让 SD 卡进入静止状态并检测卡的电压状态,并向所有卡发卡识别号,从而分配相对地址。在完成 SD 卡控制器和 SD 卡的初始化之后,SD 存储卡中。

在完成 SD 卡控制器和 SD 卡的初始化之后,5509A 就可以与 SD 卡进行数据读写了。所有的 SD 卡命令长度均为 6 个字节,传输从高位开始,包含 1 个 CRC 校验字。接收到每个命令后,SD 卡都发送 1 个格式为 R1、长度为 6 个字节的应答信号。当 SD 卡控制器进行写操作时,控制器收到 SD 卡应答信号以后,发送 1 个长度为 512 字节的数据块,SD 卡返回 CRC 校验数据和 BUSY 信号直到数据写入 SD 卡中。SD 卡控制器进行读操作时,SD 卡控制器发送读命令,SD 卡返回 1 个确认响应,然后 SD 卡控制器从卡中读取数据。

此外,在 SD 卡存储上还需编写 SD 卡的 FAT 文件系统,以便 windows 能识别此文件系统。

3.4 USB 数据传输部分

使用 5509A DSP 芯片的 USB 接口进行数据的离线传输,DSP 系统对外部而言可以看作 1 个 USB 设备。USB 设备作为 1 个完整的硬件设备,是由硬件和固件 2 部分组成的。固件包括有关系统的配置、模块初始化以及 USB 协议栈 3 部分。其中,系统配置是在芯片上电就完成了,与具体系统实现的功能密切相关。因此对于 5509A 来说,固件设计需要实现的主要功能可分为 2 部分:

- 1) USB 设备的初始化与配置。告知主机设备的能力和特性,并为设备分配地址。
- 2) USB1.1 标准协议的应答(即实现固件协议栈),并以批量(BULK)方式通过 InEndpoint2 与 OutEndpoint2 完成 DSP 与 PC 机的数据交换。
- USB 设备固件协议栈以设备端点的使用和管理作为基础和核心,而编写 USB 中断服务程序是整个设备端固件编写的主要内容。固件协议栈主要完成以下功能:
 - 1) 设备上电复位,系统初始化,并使能中断。
 - 2) 系统等待,直到将 Setup 包接收到端点 0 缓冲区为止。
 - 3) 应答设备请求,完成设备枚举。
 - 4) 等待 USB 中断,有中断发生则进入中断服务程序,完成系统要求。

驱动器: 00L_A.txt

| 文件名 | 扩展名 | 大小 | 创建时间 | 修改时间 | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|----|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 4.0 KB | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 根目录 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Offset | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F | |
| 00773000 | 22 | 20 | 4E | 4F | 56 | 20 | 31 | 34 | 20 | 31 | 37 | 3A | 31 | 34 | 3A | 33 | |
| 00773010 | 39 | 20 | 32 | 30 | 30 | 38 | 22 | 0D | 0A | 20 | 30 | 2E | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 00773020 | 30 | 30 | 45 | 2B | 30 | 30 | 20 | 2C | 20 | 2D | 35 | 2E | 33 | 35 | 35 | 33 | |
| 00773030 | 39 | 30 | 45 | 2B | 30 | 31 | 0D | 0A | 20 | 36 | 2E | 32 | 35 | 30 | 30 | 30 | |
| 00773040 | 30 | 45 | 2B | 30 | 31 | 20 | 2C | 20 | 2D | 34 | 2E | 35 | 38 | 35 | 32 | 34 | |
| 00773050 | 31 | 45 | 2B | 30 | 31 | 0D | 0A | 20 | 31 | 2E | 32 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 00773060 | 45 | 2B | 30 | 32 | 20 | 2C | 20 | 2D | 33 | 2E | 39 | 33 | 32 | 32 | 35 | 30 | |
| 00773070 | 45 | 2B | 30 | 31 | 0D | 0A | 20 | 31 | 2E | 38 | 37 | 35 | 30 | 30 | 30 | 45 | |
| 00773080 | 2B | 30 | 32 | 20 | 2C | 20 | 2D | 33 | 2E | 37 | 32 | 36 | 30 | 31 | 39 | 45 | |
| 00773090 | 2B | 30 | 31 | 0D | 0A | 20 | 32 | 2E | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 45 | 2B | |
| 007730A0 | 30 | 32 | 20 | 2C | 20 | 2D | 33 | 2E | 36 | 33 | 39 | 31 | 39 | 39 | 45 | 2B | |
| 007730B0 | 30 | 31 | 0D | 0A | 20 | 33 | 2E | 31 | 32 | 35 | 30 | 30 | 30 | 45 | 2B | 30 | |
| 007730C0 | 32 | 20 | 2C | 20 | 2D | 33 | 2E | 35 | 39 | 31 | 31 | 37 | 34 | 45 | 2B | 30 | |
| 007730D0 | 31 | 0D | 0A | 20 | 33 | 2E | 37 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 | 45 | 2B | 30 | 32 | |

图 4 通过 USB 读 SD 卡中原始数据
Fig. 4 Read original data from SD card by USB

图 4 为上位机通过 USB 访问 SD 卡中的原始数据。

4 实 验

当直流电压输入值等于 1.024 V 和 0 V,分别抽取 1,7,13,19,25 五个通道的采样数据,如表 1 所示。

表 1 不同通道下的采样值比较

Tab. 1 Comparison of sample value under different channel

| | 通道 1 | 通道 2 | 通道 3 | 通道 4 | 通道 5 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.024 V | 83125E | 831269 | 831256 | 831271 | 831262 |
| 0 V | FFFF48 | FFFC23 | FFFF7A | FFB939 | FFFEEA |

经测试可知,该数据采集系统的采样精度在 17 ~ 22 位之间,达到了较高的采样精度,满足了系统的要求。

图 5 为将流噪声原始数据从 SD 卡中读出并在 0 ~ 5 kHz 范围做 FFT 后的图形。

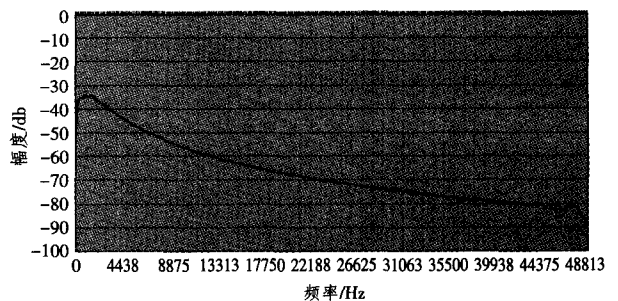


图 5 一个通道声呐流噪声 FFT 图
Fig. 5 One of sonars FFT figure

术。假设蓝方为航空兵编队(也可以为舰艇编队),可将其的 CGF 实体按照面向 Agent 方法分解为不同级别的编队指挥所、突击兵力指挥所、掩护兵力指挥所、保障兵力指挥所等。在系统中采用了以专家系统为主,融合模型库的方式来构造 Agent。模型知识作为一种过程性的知识存放在知识库中,专家系统中的推理机是系统的核心,其作用为:通过搜索加匹配对产生式知识进行推理;通过对方程的计算来实现对相应数学模型的推理;根据处理结果输出蓝方兵力相应的动作。

5 结 语

本文分析了海军航空兵作战指挥训练系统的关键技术。基于 HLA 的视景联邦设计,通过 MultiGen Creator 和 Vega 视景仿真开发软件解决多通道显示、坐标转换、视点方式选择、视景线程与仿真线程的数据同步等关键技术,设计并实现了视景仿真系统,可满足海军航空兵作战指挥训练系统的视景需求。同时分析了海军航空兵作战指挥系统自动评估成绩和蓝方兵力 CGF 的关键技术。海军航空兵作战指挥训

练系统可提高海军航空兵部队仿真训练和院校教学的质量。

参考文献:

- [1] 王海波,等. 基于 HLA 分布式作战视景仿真系统开发[J]. 计算机仿真,2005,22(9):95-97.
- [2] 吴家铸,党岗,刘华峰,等. 视景仿真技术及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [3] 唐凯,等. 视景仿真联邦成员的基础对象模型开发[J]. 系统仿真学报,2008,20(2):304-308.
- [4] 李汉深,等. 基于 HLA 炮兵作战指挥视景仿真系统的设计与实现[J]. 指挥控制与仿真,2008,31(1):73-76.
- [5] 冯善达,刘怡昕. 虚拟战场环境中典型碰撞问题研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(6):1582-1584.
- [6] 康凤举. 现代仿真技术与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [7] 陈娟,罗星. 三维视景开发中的视景数据库建模与优化[J]. 舰船电子工程,2008,28(4):135-139.
- [8] 甘斌,等. 一种可重用的视景邦员设计与实现[J]. 计算机仿真,2006,23(4):188-191.
- [9] 韩志伟,陈璐,王伟. 某坦克分队登岛作战模拟训练系统[J]. 火力与指挥控制,2008,33(3):107-114.

(上接第 136 页)

5 结 语

本文设计了基于 TMS320VC5509A 的声呐阵流噪声数据采集系统,介绍了系统的工作原理,详细描述了系统的硬件设计与软件设计。实验证明,该采集系统完全能实现先采集存储后上传离线分析的功能,相比较过去采用磁带分析仪记录,该系统具备轻便、采集精度高,保存数据不易丢失等优点;同时方便日后的扩展,也有较强的通用性能。因此还可用于其他高精度多通道便携式采集系统,有着广泛的使用价值。

参考文献:

- [1] Shashaty A J. The effective lengths for flow noise of hydrophones in a ship-towed linear array[J]. JASA,1982,71(4):886-890.
- [2] 赖武刚,郭勇,詹鹏. 基于 DSP 与 MAX147 的多路数据采集系统[J]. 微计算机信息,2007,23(23):182-183.
- [3] Texas Instruments Incorporated. TMS320VC5509A Fixed-Point Digital Signal Processor Data Manua. [M]. Texas Instruments Incorporated. Revised,2004.
- [4] 李晓艳,李兴平,刘鹏. 基于 DSP 的大容量心电监护系统[J]. 中国医疗器械信息,2006,12(10):60-62.
- [5] 武晓光,郭天文. MultiMediacard 与 DSP 接口电路的设计[J]. 中国科技信息,2006,(7):139-140.