

基于 DSP 和 ARM 的自适应振动信号采集系统^①

高 潮 田博今 郭永彩 (重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室 重庆 400030)

摘 要: 本文提出并设计了一种能够实现增益自适应功能的振动信号采集系统, 该系统采用数字信号处理器 (DSP) 及嵌入式处理器 (ARM)。该系统特点是能够根据被测信号的幅值变化自动调节放大器的增益, 因而使得系统具有较广泛的适应性。同时利用 SPI 接口进行 DSP 与 ARM 之间的通信和数据传输, 实现了高动态范围振动信号的高速采集。

关键词: 振动数据采集; 增益自适应控制; TMS320VC5402; S3C2410; WinCE

Vibration Signal Acquisition System Based on DSP and ARM

GAO Chao, TIAN Bo-Jin, GUO Yong-Cai (Key Laboratory of Optoelectronic Technology and System of Education Ministry of China, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper introduces and designs a Vibration Signal Acquisition System that it is able to achieve adaptive gain control. This system uses digital signal processor (DSP) and embedded processor (ARM). The feature of this system is that it can automatically adjust the gain of amplifier, which makes the system has a wider adaptability. Besides, it uses SPI interface for communications and data transmission between the DSP and ARM, which achieves high-speed vibration data acquisition.

Keywords: vibration data acquisition; adaptive gain control; TMS320VC5402; S3C2410; WinCE

1 引言

对于振动信号的采集, 一直是数据采集系统中的一个热点问题。国内外的研发采集系统多用于大型机械设备或者结构建筑中, 对设备和建筑的振动情况进行监控, 例如汽车、建筑、桥梁、水电机组等等, 从而对它们的健康程度进行相应的评估。在各种机械结构的振动过程中, 许多较微弱的信号由于系统的分辨率限制, 细节不能得到充分的展现; 反之振幅较大的信号又可能超出了测量量程, 造成信息的丢失。对此, 本文提出了采用根据信号幅度变化自动调程控放大器的增益倍数, 并配合相关器件构成自适应增益采集电路, 使得模拟信号输入的范围总在 A/D 转换器的范围内, 实现信号的准确采集。在保证输入的情况下,

采用了 TI C5000 系列高速 DSP 作为信号采集的从机核心, 实现自适应算法, 并保证数据的高速采集^[1]。同时采用 SPI 接口将从机的数据实时传输到 S3C2410 为核心的主机中进行相应的处理和存储。这种 DSP+ARM 的方案既能保证振动数据的高速准确采集, 又能保证数据的实时存储和处理。而且该方案由于采用了主从机的结构, 可以便捷的实现对各种信号的采集、存储、处理、分析等, 具有较好的扩展性。

2 系统硬件设计

本系统主要由带有增益自适应功能的 DSP 从机采集模块和 ARM 存储处理模块以及两者之间的通信接口电路构成。系统原理框图如图 1 所示:

① 收稿时间:2010-04-12;收到修改稿时间:2010-05-06

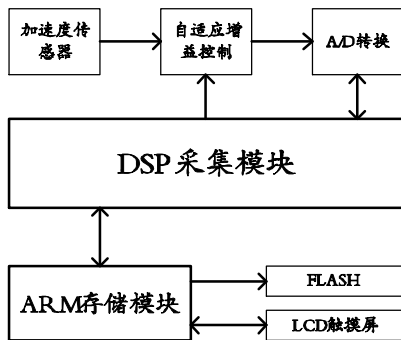


图1 系统构成框图

2.1 DSP从机模块设计

结合系统需求，选择了技术上能够满足系统采集速度和编程需求，成本又相对低廉的 DSP 芯片 TMS320VC5402 作为从机模块的核心。以 DSP 最小系统的方式，来实现对 A/D 转换芯片、AGC 模块电路以及 SPI 通信接口的控制。

TI 公司的 TMS320 系列 DSP 是一种哈佛结构的微处理器，具有专门的硬件乘法器，广泛采用流水线操作，并且提供了一些高效的指令，可以用来快速实现各种数字信号处理算法。本系统采用的 TMS320VC5402 是 TI 公司的一款优秀 16 位定点 DSP，被广泛应用于数据采集、通信和语音编解码领域。其主要功能与特点有：通过外接 10MHz 晶振，可以达到 100MIPS 的运算速度；两个多通道多缓冲串行口 (Mc BSP)，可以实现多种不同帧结构的同步串行数据接收和发送，并且支持 SPI 模式的串口工作模式；四个外部中断，能够实现快速中断返回；六通道的 DMA 控制器，与 Mc BSP 结合使用可以大大减小串口数据发送、接收对 CPU 本身造成的额外负荷，具有符合 IEEE 1149.1 标准的 JTAG 仿真接口，能方便地进行相应算法的开发与仿真等等 [2,3]。

由于具有以上特点，使得它在信号采集的算法设计，信号传输接口方面都有一定的优势，并且能保证数据的传输速度，非常适合作为本系统的采集芯片。

本系统的自适应增益电路模块采用了程控增益的方式，前端自适应模块由多路开关 CD4053、可变增益放大器 AD603 和可编程数字电位器 CAT5113 及相关模拟电路器件构成。使得 DSP 中的程序可根据输

入数据的变化情况调节 CAT5113 的分压大小，改变 AD603 的增益 [4]，从而实现对较大变化信号的自适应采集，具体 AGC 电路如图 2 所示。

同时，根据设计需求选用了 TI 公司的单片 4 通道 12bit A/D 转换器 TLV2544 来实现对信号的采集。该芯片属于典型的采样保持 A/D 转换器，最高传输速率可以达到 20MHz；它可以工作于 2.7VDC 至 5.5VDC 范围的电源电压下，功耗极低。而且由于与核心 DSP 出自一家生产商，所以它能够与 TMS320VC5402 有良好的兼容性，实现无缝连接，只要将该 DSP 的 McBSP0 串口连接到 TLV2544 的输出口，再结合 DMA 的传输控制，就可以方便地实现数据采集。由于该 DSP 具有 16K 的在片 RAM。

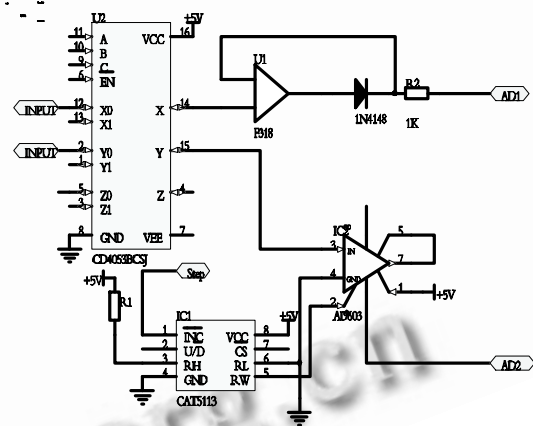


图2 自适应模块电路图

因此系统无需附加外扩存储器。即由单片的 DSP 就构成了需要的系统核心，实现最小 DSP 系统。

2.2 ARM 主机模块设计

作为系统主机，除了同从机通信之外，还要提供给使用者友好的操作界面，运行相关的应用程序，并且能较方便的对程序进行功能扩展与升级。因此，本系统选用了主流的 ARM 核心嵌入式系统，并运行嵌入式实时操作系统。ARM 芯片获得了许多实时操作系统的支持，如 Win CE、VxWorks、Linux 等，其主要特点是：小体积、低功耗、低成本而高性能；16\32 位双指令集；具有良好的兼容性 [5]。

本系统选用了可接液晶触摸显示屏的 ARM 核心

电路板。它由 S3C2410 处理器, 64MB 的 SDRAM, 32MB 的 NANDFLASH 组成, 并外接了 NEC5 英寸 TFT 液晶显示屏。

2.3 主从机通信接口设计

从系统设计的实际出发, 结合系统对传输速度和资源占用的要求, 采用了传输速度适中, 占用资源较少的串行外围 SPI(Serial Peripheral Interface)接口^[6]。它是一种同步串行外设接口, 它可以使处理器与各种外围设备以串行方式进行了通信以交换信息。

SPI 接口一般使用四条线: 串行时钟线(SPI_CLOCK); 主机输入/从机输出数据线(MISO); 主机输出/从机输入数据线(MOSI)和低电平有效的从机选择线(SPI_EN)。分别占用主从机的四个 GPIO 接口。SPI 的传输速率最高可以达到处理器频率的一半, 其接口电路如下图所示:

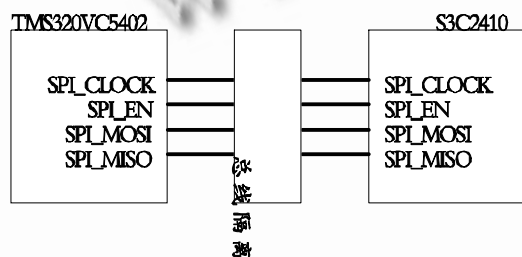


图3 ARM与DSP的SPI通信接口

3 系统软件设计

软件的设计是系统设计的重要部分, 其中包括从机软件和主机软件两部分的设计。从机软件实现功能可以分为以下几个部分: AGC 控制、ADC 转换、SPI 通信等; 主机软件则是建立在 Win CE 嵌入式实时操作系统上进行 SPI 流接口的编写, 并将采集到的数据以 EXCEL 文件格式存储到 USB 接口的存储器中。

3.1 从机软件设计

数字信号处理器(DSP)通过执行算法控制程控放大器 AD603 来实现自动增益控制(AGC)^[7], 一般采用的方法是: 先确定一个时间周期中的最大样值为输入信号电平, 执行算术倒数运算; 然后将在这一个时间周期中的所有后来输入的各样值乘以这个倒数值。但是, 现有的大部分数字信号处理器进行除法运算的效

率相当低, 如采用这种方法, 会造成数字信号处理器的处理能力被大量占用, 而留给其他的重要任务的处理能力就减小了。

基于上述原因, 本系统采用了改进的自动增益控制算法^[8,9], 使其更加适合数字信号处理器。具体方法是先建立一个预定的门限值, 并存贮在与信号处理器相联的数据存储器中的一个存贮单元里。同时还建立一个初始的 AGC 值和一个预定的差值门限, 并且也存入该数据存储器。所收到的每个输入信号的样值均乘以 AGC 值, 同时将该乘积的绝对值与预定的门限值相减。如果这一运算的结果的绝对值超过了差值门限值, 则可能导致信号处理器的溢出。这时应改变 AGC 值。如果差值运算结果为正, 则增大 AGC 值, 如果差值运算结果为负, 则减小 AGC 值, 并存回到曾存贮过预定 AGC 值的那个存贮单元。具体的初始值则需要通过对信号的实际变化范围来确定, 本系统在实验中所确定的 AGC 初始值为 1, 衰减和增益系数分别为 0.8 和 1.25。即在数据溢出时门限值则按此系数对程控增益放大器进行反馈控制。

从机程序监控流程如图 4 所示:

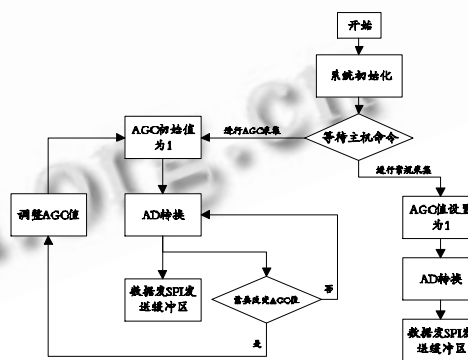


图4 从机监控流程图

3.2 主机软件设计

主机软件设计内容主要包括 SPI 的流接口驱动程序编写, 嵌入式实时操作系统定制, 和应用程序的开发等。主机选用了目前广泛使用的 Windows CE 嵌入式操作系统, 主要实现了驱动主机的各种模块, 为用户提供友好的操作界面和功能升级空间。操作系统的定制是在 Platform Builder 下进行的, 应用程序开发是在 Embedded Visual C++ 环境下

进行的^[10]。

3.2.1 SPI 流接口驱动编写

为了实现基于 S3C2410 和嵌入式实时操作系统 WinCE 下的数据采集功能,设计编写了两者之间的 SPI 流接口驱动程序。流接口驱动程序是一般类型的设备驱动程序,它为应用程序提供了文件系统 API,使应用程序可以通过调用 Create file、Read field、Writer File 等 API 函数像操作文件一来实现对硬件的操作。

流接口设计实现步骤如下:

1. 选择一个设备文件名前缀。本设计中设备文件命名为 SPI。

2. 实现必要的流接口函数。

本系统 SPI 流接口驱动的设计实现所必需的流接口函数如下:

XXX_Init: 驱动程序加载函数;

XXX_Deinit: 驱动程序卸载函数;

XXX_Open: 驱动程序打开函数;

XXX_Close: 驱动程序关闭函数;

XXX_Write: 写函数;

XXX_Read: 读函数。

3. 创建 DEF 文件,DEF 文件被用于导出一个 DLL 的函数:

LIBRARY SPIDRIVER

EXPORTS

SPI_Init

SPI_Close

SPI_Deinit

SPI_Open

SPI_IOControl

SPI_Read

SPI_Write

SPI_Seek

SPI_Powerup

SPI_Powerdown

4. 创建驱动程序加载所必要的注册表值:

[HKEY_LOCAL_MACHINE\Drivers\builtIn\SPI]

"Dll" = "SPIDRIVER.dll"

"Prefix" = "SPI"

"Index" = dword: 1

"Order" = dword: 0

"FriendlyName" = "SPIDeviceDriver"

"Ioctl" = dword: 0

完成了以上步骤之后,还需要确保操作系统内核能调用它,这就要创建一个 CEC 文件,将编写的程序加载到 Win CE 的特性目录中,在操作系统定制时可以方便的选取所需功能。

3.2.2 操作系统定制

主机选用了目前广泛使用的 Win CE 嵌入式操作系统,完成了操作系统的定制。定制操作系统主要是完成驱动程序的选择,从而使操作系统具有相应的功能。根据本系统需求,主要添加了 Samsung 公司提供的键盘、显示、USB 驱动和自行开发的 SPI 驱动程序。定制完成之后生成一个 SDK(软件开发支持包),用于应用程序的开发。

3.2.3 应用程序设计

系统应用程序设计主要包括 SPI 通信模块、数据存储模块的设计。通过该程序,使得主从机之间可以进行通信,并将从机采集到的数据传入主机并以 excel 格式存进 USB 硬盘。

完成程序功能及界面设计之后,应用程序界面如图 5 所示。应用程序提供初始化、主从机通信测试、使用 AGC 算法和不使用 AGC 算法两种不同采集方式获取数据等功能。

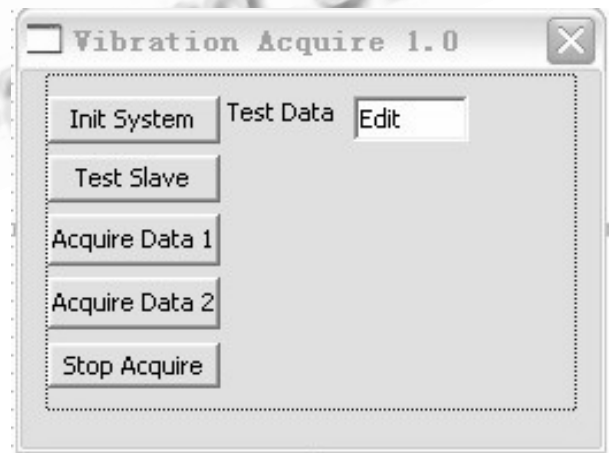


图 5 主机应用程序界面

4 结论

经过系统调试与运行,本系统在采用 AGC 算法时的振动信号采集频率达到 3kHz,不采用 AGC 算法时

的振动信号采集频率达到 10kHz,信号还原良好,达到了设计要求。ARM 和 DSP 核心作为主从机的自适应振动信号采集方案,在确保采集速度的情况下,对振动信号进行自适应处理后再进行采集,有效的提高了测量的精确度。在这个系统的基础上,如果加入更合理的自适应算法,还可以进一步提高系统的采集准确性。此外,可以利用主机的空闲资源进行系统功能扩展,对采集到的振动数据在主机上进行进一步的分析和处理;也可以充分利用嵌入式系统的有线、无线传输功能进行数据的即时共享,形成一个完整的高速实时采集、分析、处理的系统。此系统在对各种高动态范围的振动信号的采集场合中有着重要的实际价值。

参考文献

- 1 Nagata Y, Fujioka T, Abe M. Speech enhancement based on auto gain control. *Audio, Speech, and Language Processing*, IEEE Transactions, 2006(1):177 - 190.
- 2 Texas Instruments Incorporation. TMS320VC5402 Fixed -Point Digital Signal Processor datasheet. Texas Instruments, 2001:10 - 13.
- 3 郑红,王鹏. DSP 应用系统设计与实践.北京:北京航空航天大学出版社, 2006.
- 4 张汉奇,黄战华,蔡敬忠. 高性能自动增益控制(AGC)电路的设计与实现. *电测与仪表*, 1998,(7):25 - 26.
- 5 崔更中,孙安青. ARM 嵌入式系统开发与实践.北京:中国电力出版社, 2008.
- 6 左东广,魏瑞轩. SPI 接口技术与应用. *工业控制计算机*, 2001(3):45 - 47.
- 7 何乐生,王顺. AD603 在振动信号采集系统中的应用. *电子产品世界*, 2002(5):26 - 28.
- 8 吴学忠,肖定邦,李圣怡. 自动增益控制在振动式微陀螺驱动中的应用. *传感技术学报*, 2006,19(3):790 - 793.
- 9 佩青. 数字信号处理教程.北京:清华大学出版社, 2000.
- 10 张冬泉,谭南林. Windows CE 开发实例精粹.北京:电子工业出版社, 2008.