南京理工大学

NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DSP 应用技术实验报告

——实验 11

课程名称：DSP应用技术

实验名称：DSP开发基础实验

班级：9161042101

姓名：李镇洋

学号：9161010E0121

指导老师：李彧晟

2019 年 11 月 21 日

目　录

1 实验目的..... 1
1.1 实验 11：DSP 数据采集..... 1
2 实验仪器..... 1
3 实验内容..... 1
3.1 实验 11：DSP 数据采集..... 1
4 实验设计..... 1
5 实验步骤..... 6
5.1 实验 11：DSP 数据采集 6
6 实验结果..... 7
6.1 实验 11：DSP 数据采集（实验箱测试）..... 8
7 实验总结..... 12
7.1 实验思考..... 12
7.2 实验中遇到的问题与解决方案..... 15
7.3 实验总结..... 15

1 实验目的

1.1 实验 11：DSP 数据采集

（1）熟悉 DSP 的软硬件开发平台
（2）掌握 TMS320F28335 的 ePWM 中时间基准子模块和事件触发子模块的基本使用方法
（3）熟悉 TMS320F28335 的中断的设置
（4）掌握 TMS320F28335 的 ADC 模块的基本使用方法
（5）掌握代码调试的基本方法

2 实验仪器

计算机、TMS320F28335 DSP 教学实验箱、XDS510 USB 仿真器

3 实验内容

3.1 实验 11：DSP 数据采集

建立工程，编写 DSP 的主程序，对工程进行编译、链接，利用现有 DSP 平台实现数据的采集、存储以及模拟还原，并采取多种方法予以验证。

1. 独立完成项目编译、链接、调试的全过程。

2. 根据范例程序，给出 ADC 的采样频率计算公式，修改 ADC 的采样频率，并验证。

3. 指出波形数据保存的空间地址，并以图形方式显示采集的信号波形，并保存，附在实验报告中。

4. 利用上述图形，给出采样频率的验证方法，以此检验数据采集程序的正确性。

4 实验设计

（1）开发环境搭建以及程序调试

TI 的 CCS 5 集成开发环境，不仅支持汇编的编译、链接，还支持对 C/C++

汇编、编译、链接以及优化。同时强大的 IDE 开发环境也为代码的调试提供了强大的功能支持，已经成为 TI 各 DSP 系列的程序设计、制作、调试、优化的主流工具。TMS320F283x 软件开发流程如下图所示。

下面简单介绍各主要模块功能：

• C/C++ Compiler C/C++编译器

C/C++编译器把 C/C++程序 代码编译为基于 DSP 汇编指令集的汇编代码。这种转换并非一一对应，甚至会产生冗余的汇编代码，在某些场合需要使用优化器（Optimizer）来提高转换的效率，使得汇编代码长度尽可能的短小，程序所使用的资源尽可能的少。优化器是编译器的一部分。 编程效率与 编译器直接相关。

• Assembler 汇编器

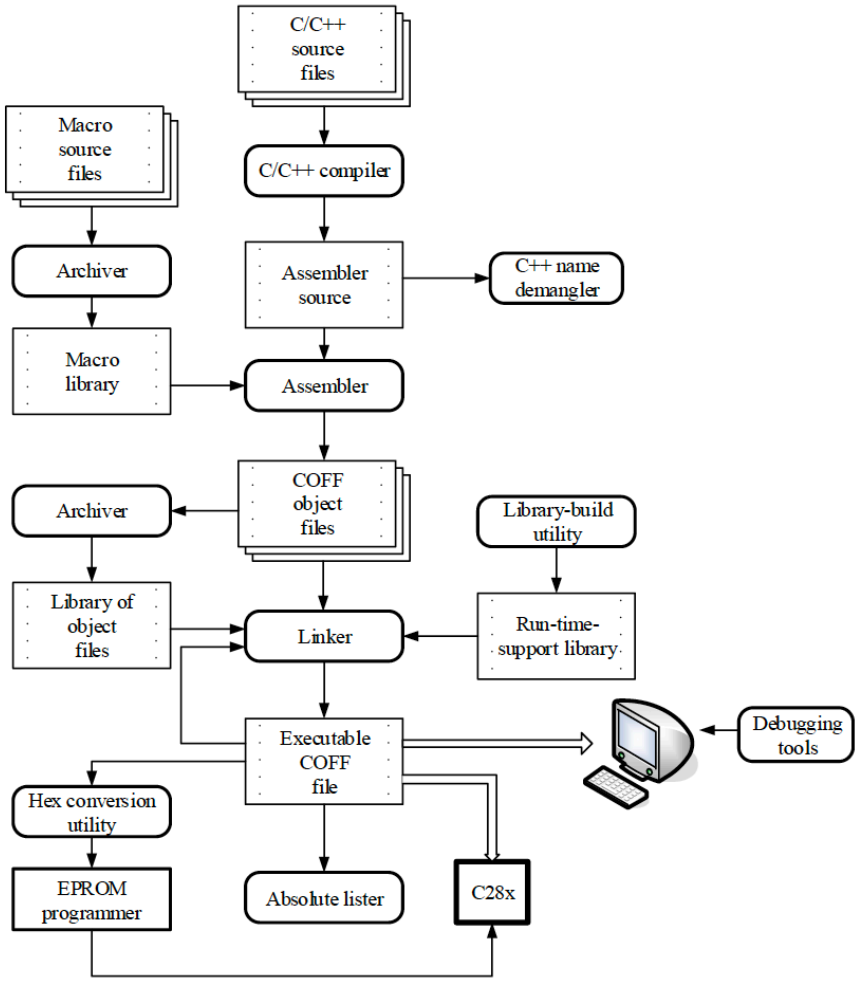
汇编器负责将汇编语言代码 转换为符合公共目标格式（COFF）的机器语言，这种转换是一一对应的，每一条汇编指令都对应了唯一的机器代码。源文件中还包括汇编指令、伪指令和宏指令。 这里的汇编代码包括了 由 C/C++编译器生 成的汇编代码和直接编写的汇编代码。

• Linker 链接器

链接器负责把可重定位的多个目标文件和目标库文件转换为一个 DSP 可执行程序，其中包含程序的机器代码、数据以及其他用来链接和加载程序所需要的信息。链接器必须依赖配置命令文件（CMD）的指令，实现对目标文件中各段的定位。

• Run-time-support library 运行支持库

对于用 C/C++语言中编写 DSP 程序中的某些功能（例如存储器的寻址定位、字符串转换等）并不属于 C/C++语言所能描述对象，包含在 C/C++编译器中的运行支持库却可以很好的支持这些算法的标准 ANSI/ISO C 函数描述。函数运行支持库包含有 ANSI/ISO C 的标准运行支持库函数、编译器功能函数、浮点算术函数和系统初始化子程序（这些函数都集成在汇编源文件 rts.src 中）。当对 C/C++编写的 DSP 程序进行链接时，必须根据不同型号的 DSP 芯片添加相应的运行支持库到工程中。除此之外，在使用运行支持库中的函数时，必须在程序起始处用 include 语句包含相应的头文件（如使用数学运算 sin、cos 时，必须包含 math.h）。而采用汇编语言编写程序时，却不需要这个运行支持库。因此 C 语言编写的 DSP 程序链接后，会产生大量的“冗余”汇编程序。



由此可见，用C/C++语言来开发DSP 程序，一般在工程中必须包含以下文件：

• .c 或者.cpp：C 或C++程序，是主程序或函数，用于描述用户特定的算法功能；

• .cmd：配置命令文件，用于对编译生成的COFF 格式目标文件（.obj）定位，安排各段的物理存储空间；

• .lib：运行支持库文件，不同芯片有不同的运行支持库，必须根据具体芯片加以选择，例如TMS320F283x 的运行支持库文件命为rts2800_fpu32.lib。（后缀fpu32 含义是支持32 位浮点运算）。

至于头文件（.h），只有当使用了运行支持库中相应的函数时，才需要在C文件的主程序中用include 语句指定相应的头文件（math.h、stdlib.h、float.h 等）。具体内容参见TI 公司的TMS320C28x Optimizing C/C++ Compiler User's Guide。

其次用户自定义函数、寄存器地址、常量定义等信息也可以编制到头文件中，使用时也同样需要在C 主程序中指定。

例如本实验中，需要的文件：

• main.c：C 语言主程序。

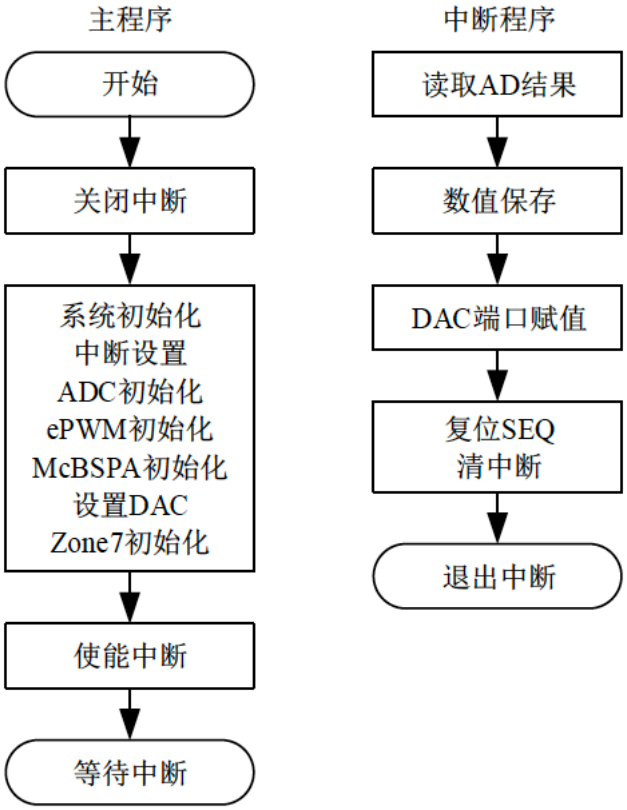
- 28335_RAM_lnk.cmd，DSP2833x_Headers_nonBIOS.cmd：配置命令文件。
- rts2800_fpu32.lib：运行支持库。
- Sine.h：常量定义头文件。
- FPU.h：浮点运算库头文件。
- sine.dat：实验中需要的数据文件。

对于使用CCS以工程为单位进行DSP程序的项目开发时，一般为每个工程建立一个独立的目录，将项目中所需要的文件都存放在该工程目录下，便于程序的管理。rts2800_fpu32.lib在TI的安装目录…\TI\c2000\cgtools\lib中可以找到。

（2）DSP 程序设计

为实现DSP的数据采集存储以及模拟的还原，必须依赖于ADC、DSP以及DAC三大基本部件，而TMS320F28335芯片上集成了ADC模块，因此实现该功能较为简单，数据采集的工作可以由DSP单独完成，只需要对相关外设模块进行合理配置。模拟还原由实验箱中DAC（AD9747）来完成。TMS320F28335中的ADC模块与DSP内核之间的通信可以通过查询方式或中断方式，在此，我们采用ADC的中断功能实现数据的交换。

TMS320F28335中ADC的转换频率和采样频率可以独立设置，分别位于ADC模块和ePWM的时间基准子模块中，因此要使ADC工作，必须掌握ADC模块和ePWM模块中的相关设置。程序流程图如下所示：



【DSP初始化】

一般而言，DSP 要正常工作，必须首先设置时钟，时钟确定了DSP 工作主频。TMS320F28335 中时钟设置大致分为三个主要寄存器，它们分别是锁相环控制寄存器（PLLCR）、外设时钟使能控制寄存器（PCLKCR0，PCLKCR1，PCLKCR2）和外设时钟预定标设置寄存器（HISPCP、LOSPCP）。

【配置数模转换模块ADC】

TMS320F28335 内部有一个16 通道、采样精度为12bit 的ADC 模块。这16通道可配置两个独立的8 通道模块，具有同步采样和顺序采样模式，模拟输入范围0～3V，最快转换时间为80ns，具有多个触发源用于启动AD 的转换，采用灵活的中断控制。

【配置ePWM模块】

TMS320F28335 中ePWM 模块的事件可产生ADC 转换启动脉冲信号SOC，本次实验采用时间基准子模块的产生周期事件，通过事件触发子模块的设置来产生ADC 转换启动脉冲信号SOC。

【配置TMS320F28335中断】

TMS320F283x 的外设中断扩展（PIE）单元通过少量中断输入信号的复用来扩展大量的中断源，PIE 单元支持多达96 个独立的中断，这些中断以8 个为一组进行分类，每组中的所有中断共用一个CPU 级中断（INT1～INT12）。96 个中断对应的中断向量表存储在专用RAM 区域中。PIE 向量表用来存储系统中每个中断服务程序（ISR）的入口地址。一般来说，在设备初始化时就要设置PIE 向量表，并可在程序执行期间根据需要对其进行更新。

在实验中，当我们设置VMAP＝1（ST1寄存器的bit3），ENPIE＝1（PIECTRL寄存器的bit0）后，TMS320F28335的中断向量表地址范围0x000D00～0x000DFF。例如ADC外设模块SEQ1INT中断向量地址是0x000D40，SEQ2INT中断向量地址是0x000D42，ADCINT中断向量地址为0x000D4A（ADCINT是SEQ1INT和SEQ2INT的逻辑或）。

要想正确使用中断，首先应该合理设置中断向量表，在对应地址填入中断服务子程序的入口地址。其次，必须对上述三个级别的中断作出正确的设置。比如实验中，要想实现CPU利用中断方式读取ADC的采样数据，可以使能ADC模块的中断SEQ1INT，其次使能外设使能寄存器PIEIER1.1，保证中断发生时PIEACK1.1位清零，最后使能CPU中断使能寄存器IER中的INT1，以及全局中断使能位INTM。这些工作必须在系统初始化时完成。退出中断服务程序前，清除ADCST中的INT SEQ1以及相应的PIEACKx。

5 实验步骤

5.1 实验 11：DSP 数据采集

1. 设备检查

检查仿真器、F28335 DSP 教学实验箱、计算机之间的连接是否正确，打开计算机和实验箱电源。

2. 启动集成开发环境

点击桌面 CCS 5 快捷方式，进入集成开发环境 CCS。

3. 新建工程

新建一个 DSP 工程，编辑源程序、配置命令等相关文件，并在工程中添加这些程序文件。

在源程序中，通过对中断、ADC 外设以及事件管理通用时钟的设置，利用中断方式读取 ADC 的采样结果，并用 DAC 实现模拟信号的还原。在程序中，开辟一段数据空间，用于保存 ADC 的采样结果，要求保存 1024 点数据，且该空间的数据不断刷新。

源程序的编写可参照工程 LAB11 中的相关内容。

4. 建立工程（Build）

建立工程（build），若出错，则根据错误提示，修改源程序文件或者配置命令文件，直至编译链接正确，生成可执行的.out 文件。

5. 连接外部电路

打开信号源，产生一个合适的频率（ADC 的采样频率必须满足奈奎斯特采样定律），信号幅度控制在 0-3V 以内，验证后将信号通过接口输入到 DSP 中。

打开示波器，将实验箱中的 SMA 接口 J5 输出到示波器上，并正确设置。

6. 调试程序

在工程中合理配置 ccxml 文件，打开实验箱电源，在主菜单下选择“Run → Debug”，若仿真器正确连接后，进入“CCS Debug”调试界面。

首先验证中断设置是否正确。可以在 ADC 中断服务程序的入口地址处添加断点，全速或者动画运行程序，检查程序计数器 PC 能否间隔性的停留在中断服务入口地址处。若能，说明中断设置基本正确。

若以上步骤正确，其次，验证数据采集的正确性。程序连续运行一段时间后，暂停程序执行，打开图形显示功能，查看存储空间中保存的时域波形，是否为信号源输出的信号波形。

若上述步骤正确，则调节示波器，观察信号波形，是否为信号源的输入波形。若是，则实验调试结束。

以上步骤如果出错，则可以利用各种调试手段，比如打开寄存器窗口、变

量窗口等辅助手段，根据数值以及实验原理，查找错误原因，重新修改程序，直至正确为止。

7. 运行程序

若第 6 步正确，可去掉断点，重新全速运行程序。

连接实验箱 SMA 输出口 J5 至示波器，调节示波器，观察信号的输出。可以实时的改变信号源的输入信号（注意信号幅度不要随意修改，超出输入范围易烧毁实验电路），示波器上显示的波形亦会随之变化。

数据直通通道就是最简单的实时信号处理电路。

6 实验结果

1.将信号源输出端接至实验箱 SMA 端口 J2，将实验箱 SMA 端口 J5 连接至示波器。

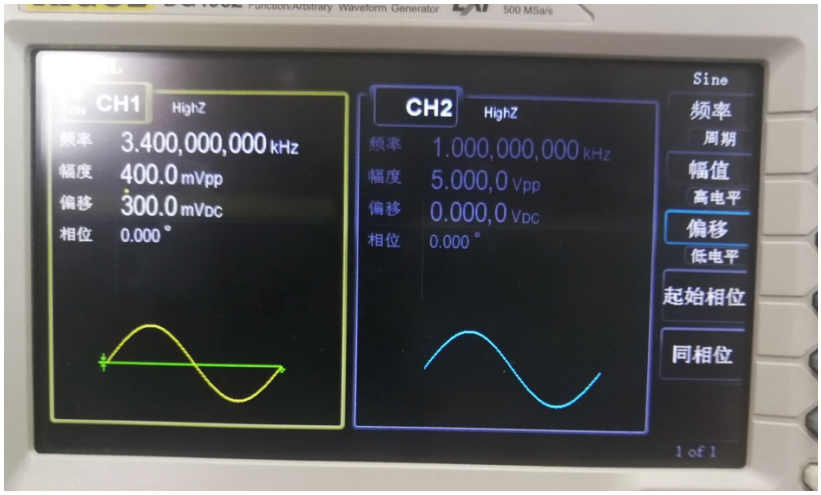
2.打开示波器和信号发生器，调节信号发生器的输出，控制幅度峰峰值在 1V 左右；

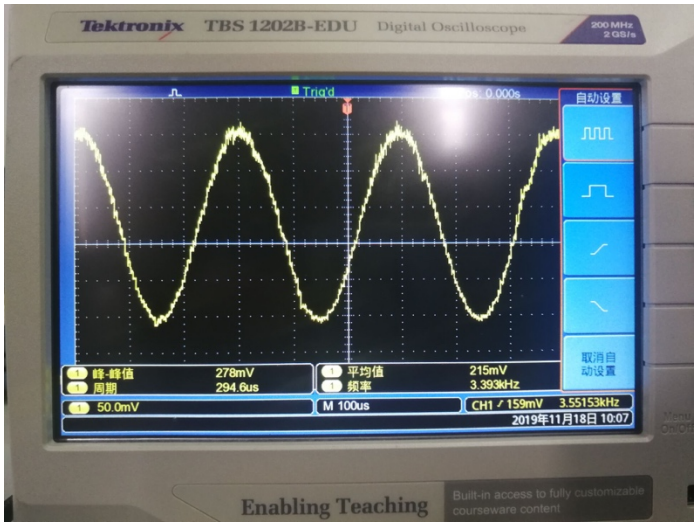
3.打开实验箱电源，检查实验箱电源指示灯是否正常指示；

4.通过仿真器将实验箱与 PC 机连在一起，点击 PC 机上的 CCS5 配置程序，配置完成后成功打开 F28335 集成开发环境；

5.创建工程，导入测试文件后重新编译生成.out 文件，加载到 DSP 中并全速运行，检查实验箱上示波器波形等；

6.最终观察到示波器上的波形和信号发生器产生的波形一致，由此判断实验箱正常工作，可以进行接下来的实验。





6.1 实验 11：DSP 数据采集（实验箱测试）

（1）根据范例程序，给出ADC的采样频率计算公式，修改ADC的采样频率，并验证

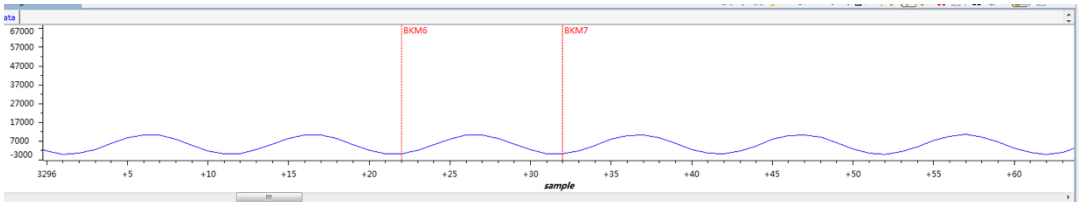
采样频率：T(PWM1)=TBCLK/(TBPRD*2*3)=25/(208*3*2)=0.02MHz=20KHz
其中，TBCLK=SYSCLKOUT/(HSPCLKDIV*CLKDIV)=150/(6*1)=25MHz。

（2）指出波形数据保存的空间地址，并显示采集的信号波形

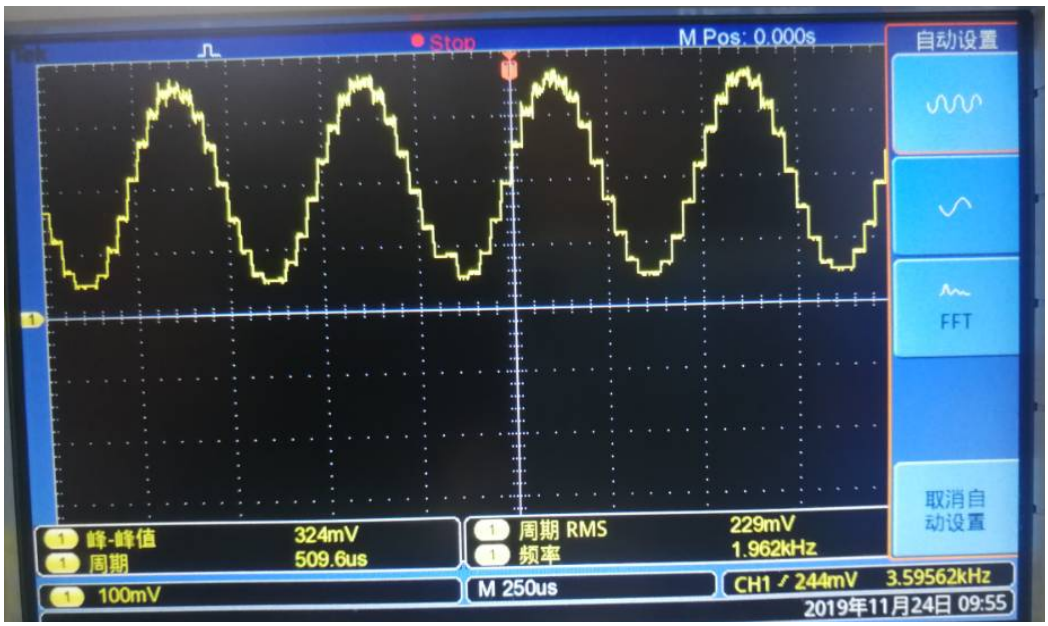
SampleTable1	unsigned int[1024]	0x0000C040@Data	0x0000C040@Data
Da_out	unsigned int *	0x00200400	0x0000C004@Data
xn	int	-29328	0x0000C003@Data

SampleTable1为储存采样样本点得储存空间
Da_out是输出至示波器得临时储存空间
xn为接收样本点数据得临时储存空间

在CCS5中显示的波形为：



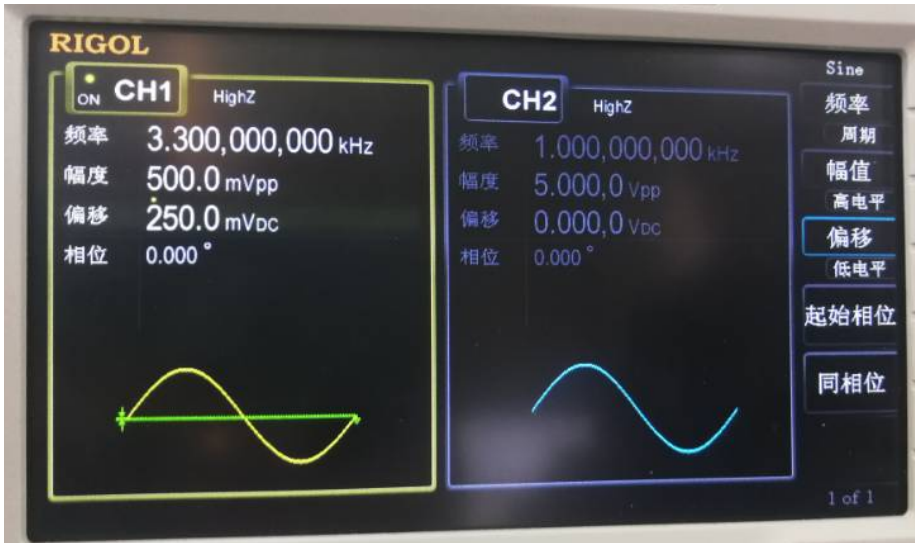
采样结果为：



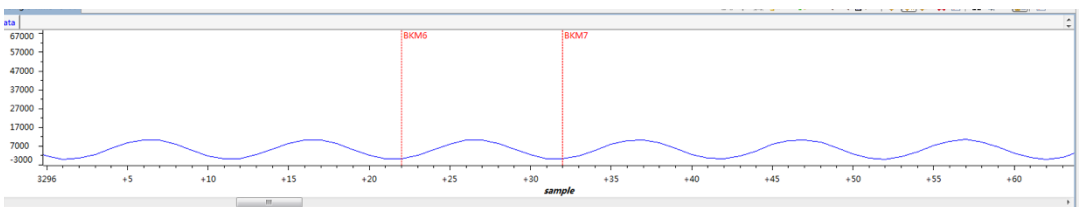
（3）利用上述图形，给出采样频率的验证方法，以此检验数据采集程序的正确性。

修改 TBPRD 为 125，则修改后采样频率为 33.33kHz，信号发生器设置输出 3.3kHz 正弦信号。

信号发生器：



在程序中采样得到的波形：



在一个周期内，采样得到了10个采样点，验证了采样频率的正确性。

（4）硬件验证ADC的采样频率。

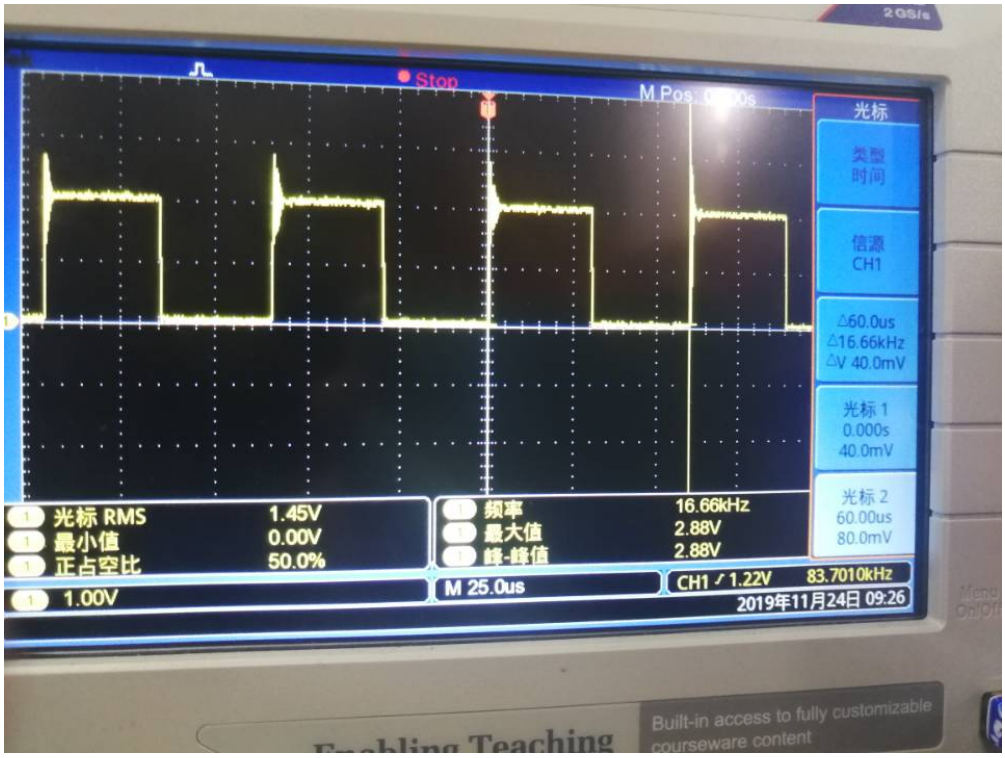
主要思想是在利用中断频率与采样频率相等的条件，分别在中断的入口和出口分别设置高电平和低电平，从而产生脉冲信号来观察采样频率。

中断函数程序如下所示：

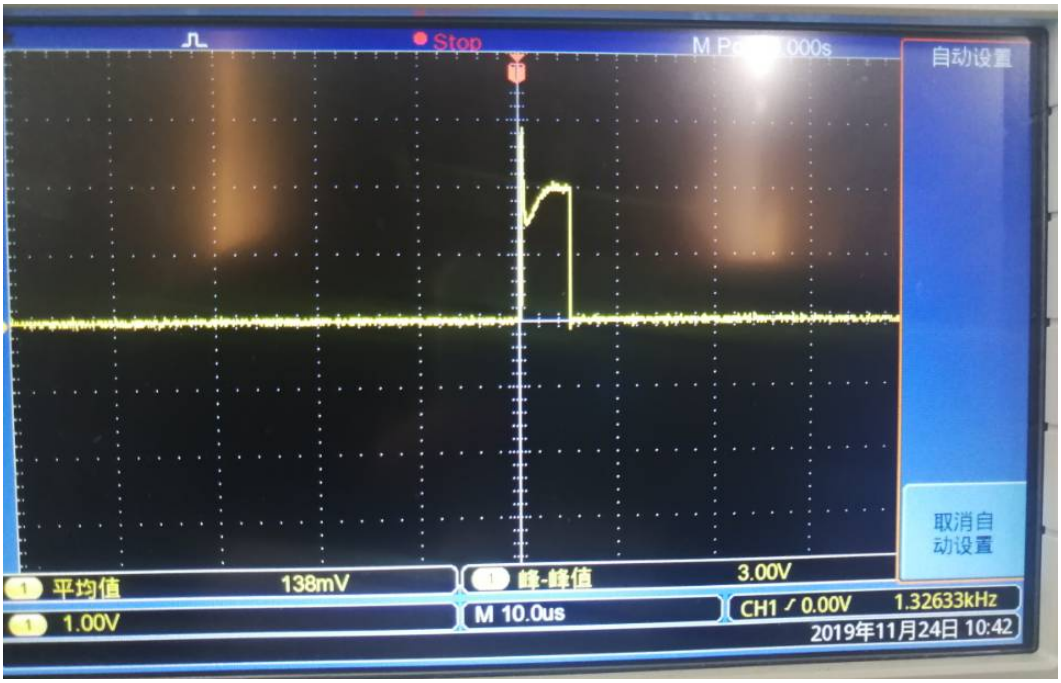
```
345 interrupt void epwm1_timer_adc_isr(void)     //中断函数
346 {
347     if(j%2==0)
348     {
349         k=0xffff;
350         *Da_out=k;
351     }
352     else
353     {
354         k=0;
355         *Da_out=k;
356     }
357     j=j+1;
358
359 //DA
360     xn= (AdcRegs.ADCRESULT1 & 0xFFF0);
```

采样频率为20kHz时示波器输出结果：

采样频率为33.3kHz时示波器输出结果：


Stop
光标
类型
时间
信源
CH1
△60.0us
△16.66kHz
△V 40.0mV
光标 1
0.000s
40.0mV
光标 2
60.00us
80.0mV
光标 RMS 1.45V
最小值 0.00V
正占空比 50.0%
频率 16.66kHz
最大值 2.88V
峰-峰值 2.88V
1.00V
M 25.0us
CH1 ∕ 1.22V
83.7010kHz
2019年11月24日 09:26
Built-in access to fully customizable courseware content

（5）验证系统的实时性。


Stop
自动设置
取消自动设置
平均值 138mV
峰-峰值 3.00V
1.00V
M 10.0us
CH1 ∕ 0.00V
1.32633kHz
2019年11月24日 10:42

7 实验总结

7.1 实验思考

1. 观察输入信号与示波器显示信号、存储器中存储波形信号幅度的差异，解释差异产生的原因。

（1）在运行程序中，当通过graph窗口观察程序时，断点会使得AD采样传送到存储空间的信号暂时不显示到模拟图形中，而此时外界输入信号依旧在变化，使得输入信号与存储器中存储波形信号产生一定的差异。
（2）*DA_out= (unsigned int)((*(RamAddr+1*x))<<4) + 0x8000该输出程序中，若是对RamAddr的算法处理不是最优化的也会使得数据有所失真。

3. 除了中断方式，DSP内核还可以采用查询方式获取ADC外设的采样数据。如果采样查询方式，则需要查询哪些标志位，给出程序流程并编程实现。

```
#include "DSP2833x_Device.h"     // DSP2833x Headerfile Include File
#include "DSP2833x_Examples.h"   // DSP2833x Examples Include File

Uint16 ConversionCount;
Uint16 Voltage1[10];
Uint16 Voltage2[10];

main()
{
    InitSysCtrl();

    DINT;
    InitPieCtrl();
    IER = 0x0000;
    IFR = 0x0000;
    InitPieVectTable();

    InitAdc();

    ConversionCount = 0;

    EALLOW;
    AdcRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;    //转换完成前一个ADC时钟周
期产生EOC
    AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT1E     = 1;    //使能ADCINT1
```

```
    AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT1CONT  = 0;     //关闭连续模式
    AdcRegs.INTSEL1N2.bit.INT1SEL   = 1;     //将ADCINT1映射到EOC1
    AdcRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL    = 0;     //将ADCINA0映射到通道0
    AdcRegs.ADCSOC1CTL.bit.CHSEL    = 1;     //将ADCINA1映射到通道1
    AdcRegs.ADCSOC0CTL.bit.TRIGSEL  = 0;     //软件触发SOC0
    AdcRegs.ADCSOC1CTL.bit.TRIGSEL  = 0;     //软件触发SOC1
    AdcRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS    = 6;     //设置窗口采样次数
    AdcRegs.ADCSOC1CTL.bit.ACQPS    = 6;     //设置窗口采样次数
    EDIS;

    AdcRegs.ADCSOCFRC1.all = 0x0003;//强制给通道0和1产生SOC信号

   for(;;)
   {
      while(AdcRegs.ADCINTFLG.bit.ADCINT1 == 0){}     //等待EOC1信号
(ADCINT1)
      AdcRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;         //清除EOC1信号
(ADCINT1)

      AdcRegs.ADCSOCFRC1.all = 0x0003;//强制给通道0和1产生SOC信号

      if(ConversionCount == 9)
      {
          ConversionCount = 0;
      }
      else ConversionCount++;

      Voltage1[ConversionCount] = AdcResult.ADCRESULT0;
      Voltage2[ConversionCount] = AdcResult.ADCRESULT1;
   }
}
```

4. 如何将存储的采样数据保存到数据文件中，并利用动态有效位 ENOB 测试方法分析实验平台数据采集的性能。

保存数据的思路：

（1）运行软件 cybulk.exe

（2）选择 DSP 板与 PC 连接得 USB 端口

（3）DSP 发送数据、软件接收数据并转化成数据包.dat 文件

（4）编写 MATLAB 程序验证数据的正确性

附 DSP 板发送 USB 串口 main.c 程序：

```
#include "DSP2833x_Device.h"     // DSP2833x Headerfile Include File
#include "DSP2833x_Examples.h"   // DSP2833x Examples Include File
```

```
#include "leds.h"
#include "time.h"
#include "uart.h"
#include "rs485.h"
/*****************************************************************************
***********
* 函 数 名         : main
* 函数功能       : 主函数
* 输    入         : 无
* 输    出         : 无
*****************************************************************************
**********/
void main()
{
    Uint16 ReceivedChar;
    char *msg;

    InitSysCtrl();
    InitPieCtrl();
    IER = 0x0000;
    IFR = 0x0000;
    InitPieVectTable();

    LED_Init();
    TIM0_Init(150,200000);//200ms
    RS485_Init(4800);
    RS485_DIR_SETH;
    DELAY_US(5);
    msg =  "\r\n*******welcome to prechin**********\0";
    RS485_SendString(msg);

    while(1)
    {
        msg = "\r\nEnter a character: \0";
        RS485_SendString(msg);
        DELAY_US(2);
        RS485_DIR_SETL;
        ScibRegs.SCICTL1.bit.SWRESET=0;
        DELAY_US(2);
        ScibRegs.SCICTL1.bit.SWRESET=1;
        // Wait for inc character
        while(ScibRegs.SCIRXST.bit.RXRDY !=1); // wait for XRDY =1 for
empty state
        // Get character
```

```
        ReceivedChar = ScibRegs.SCIRXBUF.all;
        RS485_DIR_SETH;
        DELAY_US(5);
        // Echo character back
        msg = "you enter is:\0";
        RS485_SendString(msg);
        RS485_SendByte(ReceivedChar);
    }
}
```

$$SINAD = 10log_{10}[\frac{基频信号能量}{噪声能量}]$$

$$ENOB = \frac{SINAD - 1.76}{6.02}$$

7.2 实验中遇到的问题与解决方案

（1）图形工具画出的波形错误

使用 CCS 中的图形工具，绘制出的图像波形前没有数据，波形后有杂乱的波形，经过研究发现是在绘制图象时将 16 位的数据误认为 32 位的数据，从而导致了图像错误，最终将图像数据选择为 16 位符号数，即绘制出了正确的图像。

（2）不同版本的CCS对工程编译不兼容

编译过的低版本的CCS工程在高版本的编译器中打开会无法进行Debug，于是将Debug文件夹和.project文件删除后重新启动CCS编译器就能对工程进行编译。

（3）无法从在工程中添加文件

为了测试实验箱完整性，需要添加外部文件，但是在添加时缺提示报错，后猜测由于路径中有中文名字导致无法添加，修改了文件路径后可以加入文件。

7.3 实验总结

通过这次DSP实验我熟悉DSP的软硬件开发平台，掌握TMS320F28335的ADC外设的使用，熟悉TMS320F28335的中断的设置，掌握代码调试的基本方法。通过数码管显示实验，我学会了建立、编译程序，并生成.out文件，把程序加载到DSP芯片上。在信号采集实验中，我学会了通过调节信号源的频率，来实时观察示波器上的输出信号。

后来在软件验证ADC的过程中，是通过改变EvaRegs.T1CON.bit.TPS的值，来改变采样频率的，并且通过CCS的图形显示功能显示其中存储的波形。而后的

硬件验证ADC采样频率实验中，我们采取的方法是在中断服务程序开始时，输出高电平；在中断服务程序结束时，输出低电平，这样可以通过观察两次高电平的时间间隔，便可得到采样频率。

通过这次的DSP实验，让我对DSP开发中的软件和硬件有了大概的了解，任何事物的学习都是由浅入深，相信通过后期的学习和实验，自己在编程、程序调试和硬件测试方面的能力会进一步提升，并且能够独立地完成工程的建立、程序的建立、编译和调试。同时由于本次的实验是三人合作完成，因此通过这次实验，也加强了三人之间的默契程度和三人之间的合作能力。

这次的DSP实验我对DSP开发有了一定的认识，希望通过以后的DSP的实验，自己的能力也能够得到进一步提升，希望能在这条道路上越走越远。