

学生学号	0122120450310	实验课 成绩	
------	---------------	-----------	--

# 武汉理工大学

## 学生实验报告书

实验课程名称	DSP 原理及应用 C
开 课 学 院	信息工程学院
指导教师姓名	张琪
学 生 姓 名	胡肖安
学生专业班级	电信 2101

2023    --    2024    学 年    第   二   学 期

## 实验教学管理基本规范

实验是培养学生动手能力、分析解决问题能力的重要环节；实验报告是反映实验教学水平与质量的重要依据。为加强实验过程管理，改革实验成绩考核方法，改善实验教学效果，提高学生质量，特制定实验教学管理基本规范。

- 1、本规范适用于理工科类专业实验课程，文、经、管、计算机类实验课程可根据具体情况参照执行或暂不执行。
- 2、每门实验课程一般会包括许多实验项目，除非常简单的验证演示性实验项目可以不写实验报告外，其他实验项目均应按本格式完成实验报告。
- 3、实验报告应由实验预习、实验过程、结果分析三大部分组成。每部分均在实验成绩中占一定比例。各部分成绩的观测点、考核目标、所占比例可参考附表执行。各专业也可以根据具体情况，调整考核内容和评分标准。
- 4、学生必须在完成实验预习内容的前提下进行实验。教师要在实验过程中抽查学生预习情况，在学生离开实验室前，检查学生实验操作和记录情况，并在实验报告第二部分教师签字栏签名，以确保实验记录的真实性。
- 5、教师应及时评阅学生的实验报告并给出各实验项目成绩，完整保存实验报告。在完成所有实验项目后，教师应按学生姓名将批改好的各实验项目实验报告装订成册，构成该实验课程总报告，按班级交课程承担单位（实验中心或实验室）保管存档。
- 6、实验课程成绩按其类型采取百分制或优、良、中、及格和不及格五级评定。

**附表：实验考核参考内容及标准**

	观测点	考核目标	成绩组成
实验预习	1. 预习报告 2. 提问 3. 对于设计型实验，着重考查设计方案的科学性、可行性和创新性	对实验目的和基本原理的认识程度，对实验方案的设计能力	20%
实验过程	1. 是否按时参加实验 2. 对实验过程的熟悉程度 3. 对基本操作的规范程度 4. 对突发事件的应急处理能力 5. 实验原始记录的完整程度 6. 同学之间的团结协作精神	着重考查学生的实验态度、基本操作技能；严谨的治学态度、团结协作精神	30%
结果分析	1. 所分析结果是否用原始记录数据 2. 计算结果是否正确 3. 实验结果分析是否合理 4. 对于综合实验，各项内容之间是否有分析、比较与判断等	考查学生对实验数据处理和现象分析的能力；对专业知识的综合应用能力；事实求实的精神	50%

实验课程名称： DSP 原理及应用 C

实验项目名称	FIR 数字滤波器实验			实验成绩	
实 验 者	胡肖安	专业班级	电信 2101	组 别	
同 组 者	无			实验日期	2024 年 4 月 13 日

第一部分：实验预习报告（包括实验目的、意义，实验基本原理与方法，主要仪器设备及耗材，实验方案与技术路线等）

一、实验目的

- 1. 掌握 FIR 滤波器的原理与设计方法
- 2. 学习使用 CCS 的图形工具
- 3. 学习在 DSP 上用 C 语言实现 FIR 的方法

二、实验内容：

- 1. 利用 C 语言和汇编语言技术，使用 CCS Simulator 方式开发应用程序；
- 2. 新建 DSP 工程，开发 FIR 应用程序；
- 3. 利用调试工具运行代码，学习使用 CCS 跟踪程序运行状态

三、实验原理

一个线性移不变系统的输出序列  $y(n)$  和输入序列  $x[n]$  之间的关系，应满足常系数线性差分方程：

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k x(n-k) + \sum_{k=0}^{N-1} b_k y(n-k)$$

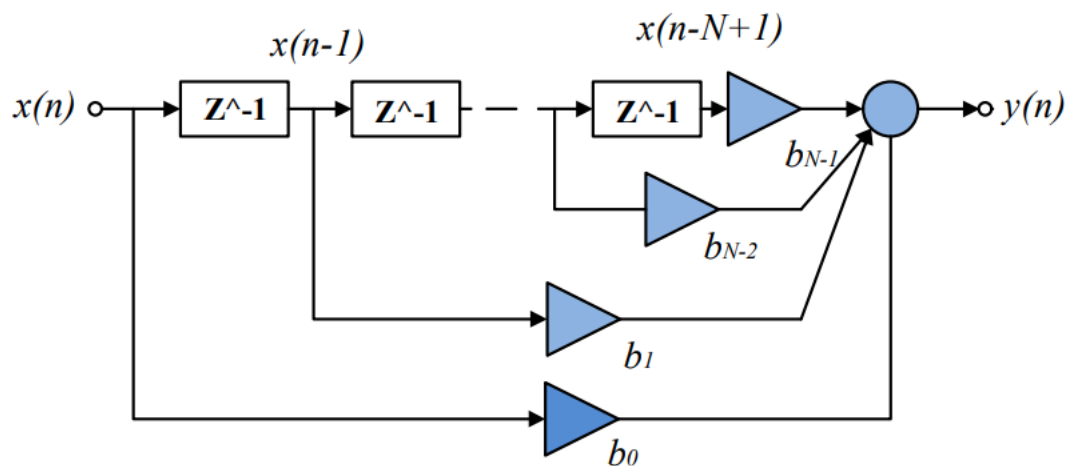
式中， $X(n)$  为输入序列， $Y(n)$  为输出序列， $A_k$  和  $B_k$  为滤波器系数， $N$  是滤波器的阶数。若式中所有的  $B_k$  均为零，且通常把系数  $A_k$  记为  $h_k$ ，则有：

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k x(n-k)$$

对上式进行  $z$  变换，可以得到 FIR 滤波器的传递函数：

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}$$

由上面的方程可见，FIR 滤波算法实际上是一种乘法累加运算，它不断地输入样本  $x(n)$ ，经延时 ( $z^{-1}$ )，做乘法累加，再输出滤波结果  $y(n)$ 。FIR 滤波器的结构如下图所示：



FIR 滤波器的单位冲激响应  $h(n)$  为有限长序列。

若  $h(n)$  为实数，且满足偶对称或奇对称的条件，则 FIR 滤波器具有线性相位特性。

偶对称： $h(n) = h(N-1-n)$

奇对称： $h(n) = -h(N-1-n)$

偶对称线性相位 FIR 滤波器的差分方程：

$$y(n) = \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} b_i [x(n-i) + x(n-N+1+i)] \quad N \text{ 为偶数}$$

在数字滤波器中，FIR 滤波器具有如下几个主要特点：

- ①FIR 滤波器无反馈回路，是一种无条件稳定系统；
- ②FIR 滤波器可以设计成具有线性相位特性

要设计一个 FIR 滤波器就是要求出它的冲击响应系数  $h(n)$ ，设计方法主要有窗函数法和频率抽样法，本实验要求掌握窗函数法，这也是最基本的方法。

理想的低通滤波器的频率响应  $H_d(w)$  是一个矩形，这意味着它在时域上是无限长的序列，这在实际上是不可能实现的。因此我们要采取某种方法截断  $H_d(n)$ ，可以用一个有限长度的窗函数序列  $w(n)$  与之相乘。这个窗函数序列的形状和长度都会对最后系统的频率响应特性产生影响，因此对窗函数的分析和选择是设计 FIR 滤波器的关键问题所在。

本次实验要求设计一个 FIR 低通滤波器：通带边缘 10kHz，阻带边缘频率 22kHz，阻带衰减 75dB，采样频率为 50kHz。

设计过程：

过渡带宽度=阻带边缘频率-通带边缘频率=22-10=12kHz

采样频率：  $f_1 = \text{通带边缘频率} + (\text{过渡带宽度}/2) = 10 + 12/2 = 16\text{kHz}$

$$\Omega_1 = 2\pi f_1/f_s = 0.64\pi$$

理想低通滤波器的脉冲响应：

$$h_1[n] = \sin(n\Omega_1)/n/\pi = \sin(0.64\pi)/n/\pi$$

根据要求，选择布莱克曼窗，窗函数长度为：

$$N = 5.98f_s/\text{过渡带宽度} = 5.98 \times 50/12 = 24.9$$

选择  $N=25$ ，窗函数为：

$$W[n] = 0.42 + 0.5\cos(2\pi n/24) + 0.8\cos(4\pi n/24)$$

滤波器脉冲响应为：

$$h[n] = h_1[n]w[n] \quad |n| \leq 12$$

$$h[n] = 0 \quad |n| > 12$$

根据上面计算出  $h[n]$ ，然后将脉冲响应值移位为因果序列。

完成的滤波器的差分方程为：

$$\begin{aligned} Y[n] = & -0.001x[n-2] - 0.002x[n-3] - 0.002x[n-4] + 0.01x[n-5] - 0.009x[n-6] \\ & - 0.018x[n-7] - 0.049x[n-8] - 0.02x[n-9] + 0.11x[n-10] + 0.22x[n-11] \\ & + 0.64x[n-12] + 0.28x[n-13] - 0.11x[n-14] + 0.02x[n-15] + 0.49x[n-16] \\ & - 0.018x[n-17] - 0.009x[n-18] + 0.01x[n-19] - 0.002x[n-20] - 0.002x[n-1] \end{aligned}$$

FIR 滤波器程序：

下面为一个 FIR 低通、带通、高通的通用程序。

```
HIGHPASS .set 0 ;if you want to use ,please set the value to
1
BANDPASS .set 0
LOWPASS .set 1
.global start, fir
.mregs
```

```

COFF_FIR_START: .sect "coff_fir"

    .if LOWPASS
    .include "lowpass\lowpass.inc"
    .elseif BANDPASS
    .include "bandpass\bandpass.inc"
    .else
    .include "highpass\highpass.inc"
    .endif

K_FIR_BFFR    .set    32
d_data_buffer .usect "fir_bfr",64
FIR_DP        .usect "fir_vars",0
d_filin       .usect "fir_vars",1
d_filout      .usect "fir_vars",100h

    .asg    AR4,FIR_DATA_P
    .asg    AR6,INBUF_P
    .asg    AR7,OUTBUF_P
    .sect "fir_prog"

    nop

start:

    LD      #FIR_DP, DP ;加载数据页指针
    STM     #d_data_buffer,FIR_DATA_P
    RPTZ    A,#K_FIR_BFFR-1
    STL     A,*FIR_DATA_P+;置数据缓冲区为 0
    STM     #d_filin, INBUF_P;新采样数据指针
    STM     #d_filout, OUTBUF_P;滤波输出指针
    STM     #100h, BK

fir_loop:

    NOP     ;Add Breakpoint & porbe point

    LD      *INBUF_P, A;获得输入采样数据

```

```

    CALL    fir          ;执行滤波
    STH     A,*OUTBUF_P+%
main_end:
    b       fir_loop    ;Add Breakpoint
fir:
    SSBX    SXM
    SSBX    FRCT
    STM     #d_data_buffer,FIR_DATA_P
    STL     A,*FIR_DATA_P;将采样数据放入数据缓冲 X(n)
    STM     #(d_data_buffer+K_FIR_BFFR-1),FIR_DATA_P
fir_task:
    RPTZ    A,#K_FIR_BFFR-1
    MACD    *FIR_DATA_P-,COFF_FIR_START,A
    ;乘加累加，且将数据缓冲区的数据移位。
    RET
    .end

```

#### 四、主要仪器设备及耗材

PC 机一台，CCS 集成开发环境。

## 第二部分：实验过程记录（可加页）（包括实验原始数据记录，实验现象记录，实验过程发现的问题等）

### 一、搭建实验环境

在进行本实验前，先要连接好计算机、仿真器和实验箱

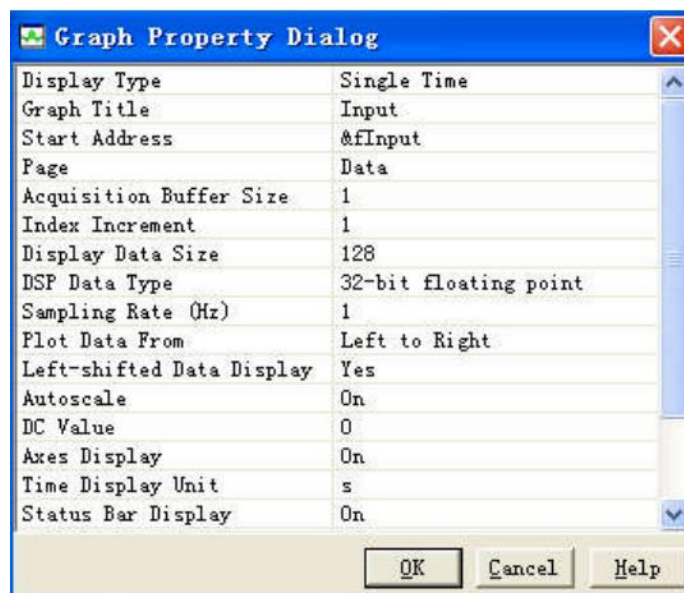
### 二、上电复位

在确认实验设备和数据线正确连接后，打开实验箱电源，此时实验箱电源处（实验箱左中位置）于上电保护状态，现象为电源指示和故障指示均点亮。按一下复位按钮，故障灯熄灭，实验箱正常上电。此时，仿真器上的红色指示灯和绿色指示灯都会被点亮，否则说明仿真器 USB 接口或者 JTAG 接口连接存在问题。

### 三、运行 CCS 程序

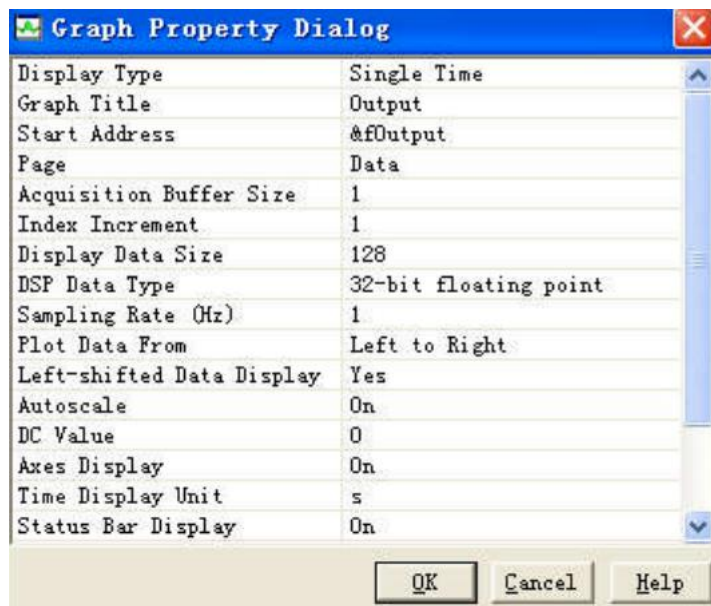
1. 运行 Setup CCS 2（' C5000）将开发环境设置为 Emulator 方式。
2. 打开 CCS 2（' C5000），使用 Project open 打开 fir 工程，点击“Rebuild All”重新编译工程，然后装载程序 fir.out，“file/Load Program/fir.out”。
3. 打开观察窗口：

选择菜单 View\Graph\Time/Frequency…，进行如下设置



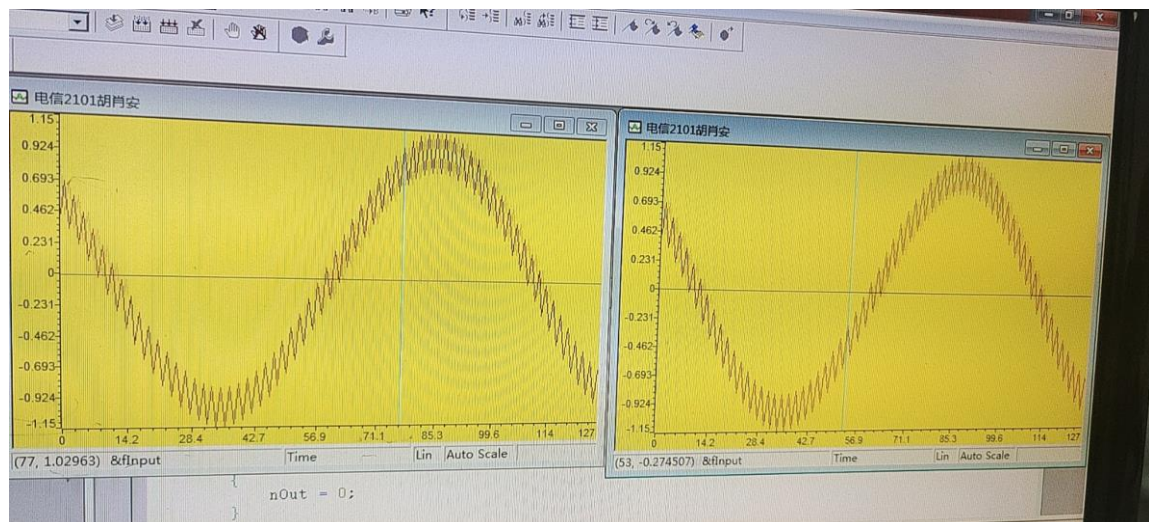
再次选择菜单 View\Graph\Time/Frequency…，进行如下设置：





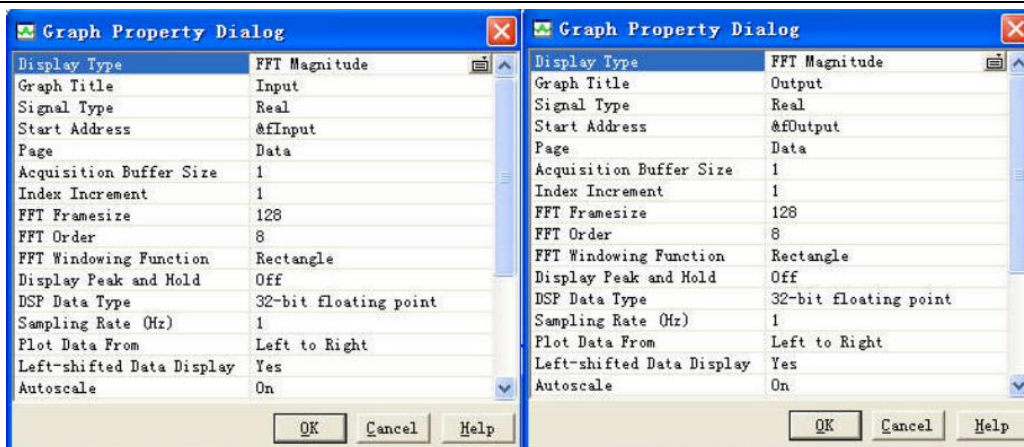
4. 设置程序断点：在程序 iir.c 中找到有注释“break point”的语句处设置断点。在语句上右键选择“Toggle breakpoint”。

5. 选择菜单 Debug\Animate，运行程序，观察 Input 窗口中输入信号的时域图形和 Output。

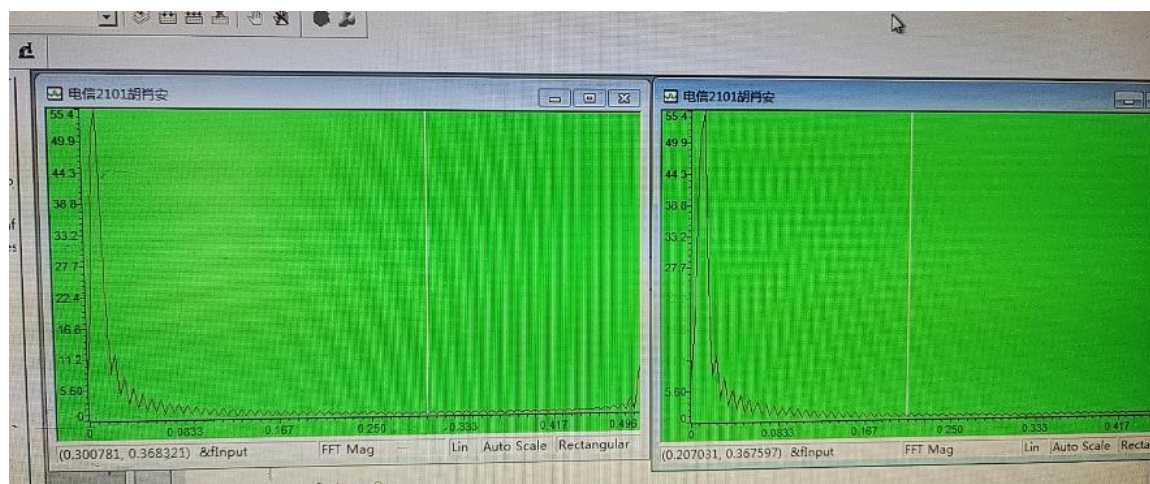


窗口经过 IIR 滤波器后输出信号的时域波形。如下图：

6. 分别在“Input”“Output”窗口右键选择“Properties”，将“DisplayType”改为“FFT Magnitude”，观察输入信号的频域图形。



## 7. 观察输入信号和输出信号的频域图



从实验结果中可以看出，输入信号由一个高频的正弦信号和一个低频的正弦信号构成，在经过低通 FIR 滤波器后，高频分量得到有效抑制。

教师签字\_\_\_\_\_

### 第三部分 结果与讨论（可加页）

#### 一、实验结果分析（包括数据处理、实验现象分析、影响因素讨论、综合分析和结论等）

##### 1. 数据处理与实验现象分析：

通过 CCS 软件进行仿真验证，我观察到输入信号经过不同类型的滤波器后的输出信号波形，包括时域和频域的变化。从时域波形和频域波形的观察中，我发现低通滤波器的输出信号中只保留了低频分量，高通滤波器的输出信号中只保留了高频分量，而带阻滤波器的输出信号在高低频分量处都出现了衰减。

##### 2. 影响因素讨论与综合分析：

首先，由理论课程学习可知：FIR 滤波器效果会受到滤波器阶数、截止频率等因素的影响。阶数越高，FIR 滤波器效果肯定是越好的，但是滤波器计算量也会增加。另外总体从本次实验来看，本次实验设计的 FIR 数字滤波器在信号处理中展现了良好的效果。参考实验图我们发现输入信号由一个高频的正弦信号和一个低频的正弦信号构成，在经过低通 FIR 滤波器后，高频分量得到有效抑制。说明低通滤波器设计的比较正确。

##### 3. 实验总结：

本次实验我成功设计了 32 阶的 FIR 数字低通、高通、带阻滤波器，并进行了 ccs 处理和分析。通过验证得到了上图的相关实验现象，通过课本上的知识了解和实验现象比对，我验证了 FIR 数字低通滤波器的相关特性。另外在实验过程中，我进行了一些自己的尝试，将阶数调到了非常高，验证了不同阶数滤波器的陡峭性的相关问题，总结就是收获比较大。

#### 二、思考题

##### 1. 总结巴特沃斯滤波器的设计方法：

- 确定滤波器类型：** 首先要确定所需的滤波器类型，如低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器或带阻滤波器，根据具体应用场景和信号处理需求来选择。
- 选择截止频率：** 确定滤波器的截止频率或截止频带，这是设计中非常关键的一步。截止频率决定了滤波器在频域上的响应特性，如低通滤波器截止频率决定了其对高频信号的抑制程度。
- 计算阶数：** 根据截止频率和设计要求，计算出滤波器的阶数。巴特沃斯滤波器的阶数通常较高，但阶数越高，滤波器在通带和阻带上的性能越好。
- 确定极点位置：** 根据计算得到的阶数和截止频率，确定滤波器的极点位置。

巴特沃斯滤波器的极点位置是根据一定的数学公式计算得到的，这些极点的位置决定了滤波器的频率响应曲线。

5. **设计滤波器：** 将确定的极点位置转化为滤波器的传递函数形式，可以使用模拟滤波器设计方法或数字滤波器设计方法来实现滤波器的设计。在数字滤波器设计中，需要进行模拟到数字的转换，通常使用脉冲响应不变法或者双线性变换法来完成。

6. **验证和调整：** 完成滤波器设计后，需要对设计的滤波器进行验证和调整。这包括对滤波器的频率响应进行仿真分析或实际测试，确保滤波器在设计要求范围内工作良好。如果需要调整，可以通过调整截止频率或阶数等参数来优化滤波器性能。