**数**

**字**

**信**

**号**

**处**

**理**

**实**

**验**

**报**

**告**

实验二 信号的采样与重建

实验三 快速傅里叶变换及其应用

实验四 IIR数字滤波器的设计

实验五 FIR数字滤波器的设计

姓名：赵拯基

学号：06017419

日期：2020/6/10

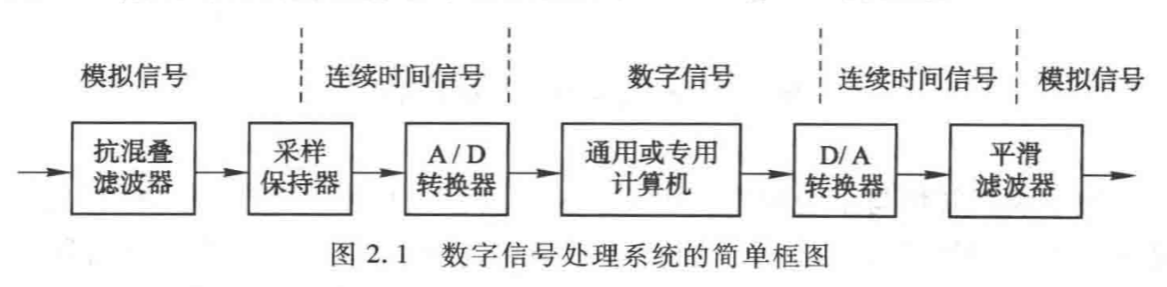
**实验二 信号的采样与重建**

# 实验目的

1. 通过实验加强有关信号采样与重建的基本概念。
2. 通过观察采样信号的混叠现象，进一步理解奈奎斯特采样频率的意义。
3. 通过实验，了解数字信号采样率转换过程中的频谱特征。
4. 对实际的音频文件作内插和抽取操作，体会低通滤波器在内插和抽取中的作用

# 实验原理

数字信号处理是用数字序列表示信号，再通过数字计算机处理这些序列。一个简单数字信号处理系统的框图如下所示。



整个系统可以大致划分为以下几个部分：**模拟信号的采样和保持**、**模拟数字转换与量化（数字化）**、**信号处理**、**数字模拟转换与平滑滤波。**

信号采样与重建：

对于等间隔采样，采样周期是常数，采样频率记为，对应角频率为f。

理想化的采样函数即为：

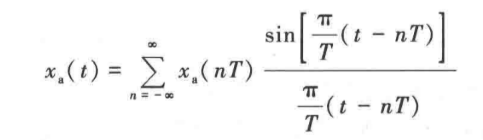
是周期信号，可以用傅里叶级数展开：

任意信号经过调制（采样）后为。得到采样信号的频谱（是的傅里叶变换）。是一个以为周期的连续函数，是对的周期延拓，并除以T。

通过一个带宽为/2的理想低通滤波器，就可以将提取出来。如果的最高频率超过/2，则会出现频谱的混叠，无法恢复。能够恢复出原始信号的最低采样频率称为**奈奎斯特**采样频率。

在满足奈奎斯特采样频率的条件下，通过一个理想低通滤波器：

得到输出。**时域卷积等于频域相乘，**得到。函数是函数的逆傅里叶变换。因此也可以表示为如下所示：



它表明时间函数由它的采样值加权表达。

更多关于插值和抽取的内容请参考书本。

# 实验步骤和实验程序

实验题目一相关代码：

x = 0:0.00000001:0.03;

y = sin(50 \* 2 \* pi \* x) +  sin(500 \* 2 \* pi \* x) + sin(1000 \* 2 \* pi \* x);

subplot(2,1,1);

plot(x,y);

axis([0 0.03 -3.5 3.5]);

title('original');

Ts = 1/8000;

n = 0:0.03 / Ts;

y = sin(50 \* 2 \* pi \* Ts \* n) +  sin(500 \* 2 \* pi \* Ts \* n) + sin(1000 \* 2 \* pi \* Ts \* n);

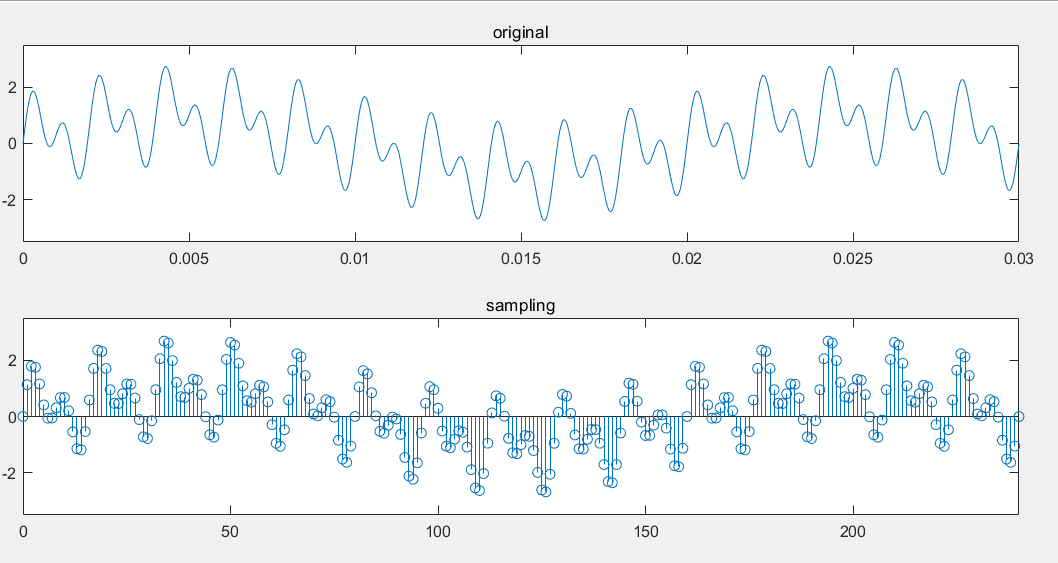
subplot(2,1,2);

stem(n,y);

axis([0 0.03 / Ts -3.5 3.5]);

title('sampling');

实验题目一结果：



实验题目三相关代码：

f = 1;fs = 16;N = 32;M = 2;L = 3;

n = 0:1:N-1;

x = cos(2 \* pi \* f / fs \* n);

y1 = x(1:M:N);            % 直接抽取序列

y2 = decimate(x,M);       % 采样率降低

subplot(3,2,1);

stem(n,x(1:N));

axis([0 N-1 -1 1]);

title('原始输入序列');

xlabel('n');ylabel('幅度');

% 抽取不经过滤波

subplot(3,2,3);

n = 0:N/M -1;

stem(n,y1);

title('抽取不经过滤波的输出');

xlabel('n');ylabel('幅度');

% 抽取经过滤波

subplot(3,2,5);

m = 0:N/M -1;

stem(m,y2);

title('抽取经过滤波的输出');

xlabel('n');ylabel('幅度');

n = 0:1:N-1;

subplot(3,2,2);

stem(n,x(1:N));

axis([0 N-1 -1 1]);

title('原始输入序列');

xlabel('n');ylabel('幅度');

% 不经抗镜像低通滤波

y1 = zeros(1,N\*L);

y1(1:L:N\*L) = x;

m = 0:N\*L-1;

subplot(3,2,4);

stem(m,y1(1:N\*L));

axis([0 N\*L-1 -1 1]);

title('内插不经抗镜像低通滤波的输出序列');

xlabel('n');ylabel('幅度');

% 经过抗镜像滤波

y2 = interp(x,L);

subplot(3,2,6);

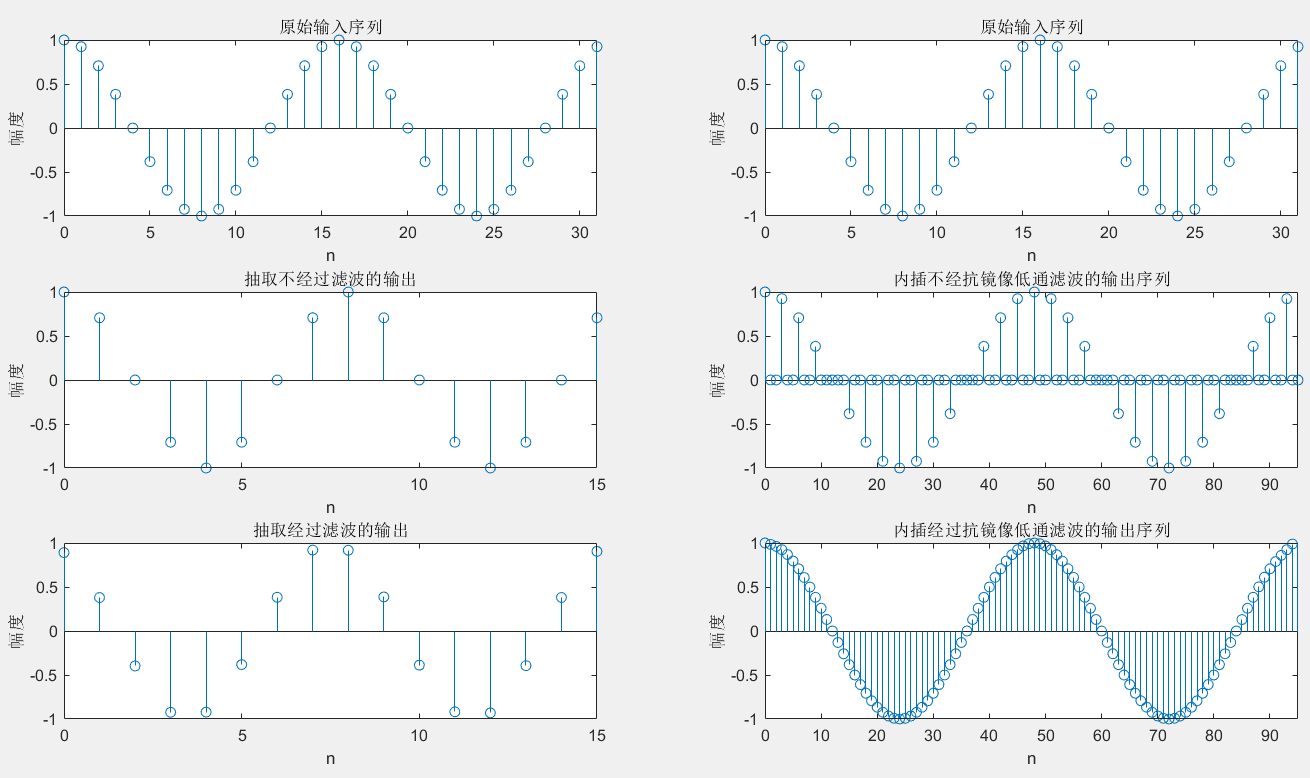
stem(m,y2(1:N\*L));

axis([0 N\*L-1 -1 1]);

title('内插经过抗镜像低通滤波的输出序列');

xlabel('n');ylabel('幅度');

实验题目三结果：



实验题目五相关代码：

[channel, Fs] = audioread('D:\DSP\exp\_2\question\_5\test.wav');

channel\_1 = channel(:,1)';

channel\_2 = channel(:,2)';

%%

% 44.1khz ת 48 khz

L = 160; M = 147;

channel\_r1 = decimate(interp(channel\_1, L), M);

channel\_r2 = decimate(interp(channel\_2, L), M);

channel\_r(:,1) = channel\_r1';

channel\_r(:,2) = channel\_r2';

audiowrite('test\_48khz.wav',channel\_r,48000);

clear channel\_r channel\_r1 channel\_r2

%%

% 44.1khz ת 32 khz

L = 320; M = 441;

channel\_r1 = decimate(interp(channel\_1, L), M);

channel\_r2 = decimate(interp(channel\_2, L), M);

channel\_r(:,1) = channel\_r1';

channel\_r(:,2) = channel\_r2';

audiowrite('test\_32khz.wav',channel\_r,32000);

clear channel\_r channel\_r1 channel\_r2

%%

% 44.1khz ת 22.05 khz

L = 1;M = 2;

channel\_r1 = decimate(interp(channel\_1, L), M);

channel\_r2 = decimate(interp(channel\_2, L), M);

channel\_r(:,1) = channel\_r1';

channel\_r(:,2) = channel\_r2';

audiowrite('test\_22.05khz.wav',channel\_r,22050);

clear channel\_r channel\_r1 channel\_r2

%%

% 44.1khz ת 16 khz

L = 160; M = 441;

channel\_r1 = decimate(interp(channel\_1, L), M);

channel\_r2 = decimate(interp(channel\_2, L), M);

channel\_r(:,1) = channel\_r1';

channel\_r(:,2) = channel\_r2';

audiowrite('test\_16khz.wav',channel\_r,16000);

clear channel\_r channel\_r1 channel\_r2

%%

% 44.1khz ת 8 khz

L = 80; M = 441;

channel\_r1 = decimate(interp(channel\_1, L), M);

channel\_r2 = decimate(interp(channel\_2, L), M);

channel\_r(:,1) = channel\_r1';

channel\_r(:,2) = channel\_r2';

audiowrite('test\_8khz.wav',channel\_r,8000);

实验五的结果涉及文件输出，相关文件请参考[github](https://github.com/ZZJ34/DSP-homework)

# 思考题回答

1. 对于周期性信号，在进行采样时，其采样周期必须满足采样定理，即采样频率应该大于信号最高频率的两倍，这样才能避免迭混，以便采样后仍能准确的恢复原信号。
2. 需要考虑的指标有：通带波动、最小阻带衰减、阻带下降率、通带边界频率和阻带边界频率等。欠采样，采样频率过低，无法满足奈奎斯特采样定理，会发生信号混叠，必定需要模拟抗混叠滤波器。
3. 会造成频谱成分丢失，但是可以减少信号在数字系统中的存储空间和运算压力

**实验三 快速傅里叶变换及其应用**