## 实验1 连续信号的离散化

### 1.1 实验目的

（1）探究连续时间信号与时间取样序列之间的关系，取样前后的变化。

（2）理解取样操作的本质，是希望取样序列能够承载和表达原信号的所有信息。

（3）对比原信号频谱与取样序列频谱之间的差异，判断取样序列对原信号表达的有效性。

（4）理解奈奎斯特取样准则的物理意义及初步运用，掌握如何针对实际信号选择合适的取样频率。

### 1.2 实验原理

连续时间傅里叶变换（CFT）的一般表达式为 ，

其反变换的一般表达式为 ；

离散时间傅里叶变换（DTFT）的一般表达式为 ，

其反变换的一般表达式为 。

主要内容：

1）对 做CFT，记录观察频谱的幅频特性；

2）对 做时域离散化得到 ，对 做DTFT，记录观察幅频特性；

3）在不同的取样频率下，对比分析取样前后的幅频特性变化，理解奈奎斯特取样原理。

### 1.3 实验内容

（1）设 ， 。

①依据 的CFT表达式，画出幅频特性图，观察 的幅度谱，带宽是否受限并有确定的最高频率 ，根据奈奎斯特取样准则确定合适的取样频率 。提示：MATLAB支持符号计算，配合fplot函数（R2016之前的老版本Matlab使用ezplot函数），可实现解析表达函数的绘图，例如“syms x; fplot(abs(exp(j\*x)),[-pi,pi])”可绘制f(x)=cos(x)+jsin(x)的幅度谱；“syms x; fplot(phase(exp(j\*x)),[-pi,pi])”可绘制f(x)=cos(x)+jsin(x)的相位谱。

②在以下5个取样频率 下： 、 、 、 、 ，分别对 进行时域取样，形成取样序列 ，对 进行DTFT。依据 的DTFT表达式，画出幅频特性图，观察 的幅度谱，与 的幅度谱进行对比和分析讨论。

③作图要求幅度归一化，频率单位为Hz。 幅度谱的频率范围为0～120Hz， 幅度谱的频率范围为0～ 。

（2）设 ， 。

①使用MATLAB内置的fourier函数对 进行CFT，并画出幅频特性图，观察 的幅度谱，观察 带宽是否无限、频率高端幅度是否有明显衰减，并根据频谱能量95%的近似原则确定合适的取样频率 。

②取样频率 取 、 、 、 时，分别对 进行时域取样，形成不同的取样序列 ，对 分别进行DTFT，并画出幅频特性图。随着取样频率 的增加，观察 频谱混叠现象的变化情况，并进行分析讨论。

③要求幅度归一化，频率单位为Hz。 幅度谱的频率范围为0～400Hz， 幅度谱的频率范围为0～ 。

## 实验2 栅栏效应

### 2.1 实验目的

（1）理解栅栏效应是连续频谱取样离散化之后呈现的一种视觉现象。

（2）理解在离散傅里叶变换（DFT）的定义下，栅栏效应呈现的不是误差，与频谱泄漏不同。

### 2.2 实验原理

栅栏效应，是对频域离散化现象的一个形象化描述，指DFT的频谱呈现在基频的整数倍处，只能在相应离散点处看到输出的现象。这像通过一个“栅栏”来观看图景一样，只能在离散点处看到真实图景。

### 2.3 实验内容

（1）设置N点离散序列 。

（2）对 分别做DTFT和DFT，画出 和 的幅频特性曲线，观察描述栅栏效应现象。

DTFT的一般表达式为： ；

DFT的一般表达式为： 。

（3）用 和内插函数重建 ， ，

画出 的幅频特性曲线，并与 的幅频特性曲线进行比较讨论。

2.4 实验报告要求

（1）记录实验内容中要求观察、分析、比较的内容，并对结果进行分析。

（2）总结实验中根据实验现象得到的其他结论。

## 实验3 频谱泄漏

### 3.1 实验目的

（1）理解这里的误差（偏差）概念，是指处理之后相对于处理之前的变化。

（2）理解如何通过DFT来反映表达的频谱情况。

（3）频谱泄漏是指离散序列 DFT相对于原信号 在频谱上多显示出的频率成分。

（4）产生频谱泄漏的根本原因，是对原信号 的截短；信号截短之后，相对于截短之前的原信号一定发生泄漏，与时域离散化无关，与DFT无关。

（6）理解DFT对频谱泄漏的呈现形态，与DTFT频谱离散化的频率取样点位置方式有关。

### 3.2 实验原理

1）对 做CFT，记录观察频谱的幅频特性；

2）对 在时域上截短，记录观察频谱的幅频特性；

3）对截短后连续信号离散化得到 ，对 做DTFT，记录观察幅频特性。

3.3 实验内容

设 ，式中 ， 。

（1）对 做CFT并进行幅度归一化，给出 表达式，说明其幅频特性。

（2）判断 是否为周期函数。如果是，则确定 的最小周期 和基频 ，对 进行FS展开，给出 表达式，说明其幅频特性，并与上述CFT的结果进行比较讨论。

（3）对 用矩形窗截短，得到 。矩形窗宽度的选择，分为两种情况：矩形窗宽度等于 最小周期 的整倍数（记为 ）；矩形窗宽度不等于 最小周期 的整倍数（记为 ）。

在 和 两种宽度下，对 分别做CFT，画出 的幅频特性曲线，并与 的幅频特性进行比较讨论。

（4）分别取 ，在 和 两种宽度下，对 进行离散化，对取样序列 做DTFT。画出 幅频特性曲线（频域表示范围取两个周期），并与 和 的幅频特性进行比较讨论。其中：

（5）在 和 两种宽度下，对 做DFT，画出 完整的幅频特性曲线（ ），并与 、 和 的幅频特性进行比较讨论。

（6）在 和 两种宽度下，对 补两倍长度于自身的零值形成延长序列 。对 做DFT，画出 完整的幅频特性曲线（ ），并与 、 、 和 的幅频特性进行比较讨论。

## 实验4 FFT算法

### 4.1 实验目的

（1）加深对快速傅里叶变换（FFT）的理解。

（2）实际编程实现 FFT 算法。

### 4.2 实验原理

编程实现一个16点DFT的基-2快速算法。

### 4.3 实验内容

设 ， 。

（1）对序列 做DFT，使用MATLAB内置的stem函数画出幅度谱。

（2）编制按时间抽取的基2FFT算法程序，要求顺序输入、反序输出，对序列 做FFT。在命令行输出反序结果的幅度值，并将输出结果从反序转换为顺序，画出幅度谱。

## 实验5 信号通过IIR滤波器

### 5.1 实验目的

（1）理解系统对信号的作用、输入信号与输出信号的关系。

（2）任何复杂信号都可以看成是不同频率的简单正弦信号叠加的结果。

### 5.2 实验原理

观察一个矩形波信号通过低通滤波器。通过设置滤波器不同的截止频率，可以看到矩形波信号时域波形的变化。随着截止频率的升高，时域波形越接近矩形。

### 5.3 实验内容

（1）设计一个IIR低通滤波器。通带起伏小于1dB，止带衰减大于40dB，过渡带宽小于 ，通带截止频率为 ，其中 分别取5，10，15，20，40， N=100。

提示：IIR滤波器的设计可以使用MALTAB内置的buttord和butter函数。

（2）生成一个周期为N=100的矩形信号序列 ，

取10个周期长度，激励（1）中设计的低通滤波器（可使用MATLAB内置的filtfilt函数模拟该过程），得到输出序列 ，并计算 和 的幅频特性。

（3）观察和比较滤波器取不同截止频率时， 、 的时域波形、幅频特性的变化，特别是方波棱角的变化（时域波形画出第2到第5个周期即可）。

（4）采用双线性变换法设计一个数字切比雪夫I型高通滤波器。当ω ≤ 0.2π内，衰减大于15dB; 当0.3π ≤ ω ≤ π时，衰减小于1dB。并观察x(n)通过该高通滤波器后输出yhp(n)的时域波形，并对比（3）中不同截止频率时输出时域波形与yhp(n)叠加后的波形（即y(n)+ yhp(n)的时域波形）。

## 实验6 窗函数

### 6.1 实验目的

（1）理解窗函数的基本性能，掌握主瓣宽度与旁辦电平的控制原则。

（2）探究两类相位特性对信号处理的影响。

### 6.2 实验原理

1）用窗函数截取序列做DFT分析，频谱泄露体现在宽阔的主瓣和旁瓣上；

2）控制窗函数的主瓣宽度和旁瓣电平，可以控制改善泄露对信号频谱识别的影响；

3）当幅度相差较大的两个信号同时存在时，需要仔细设计窗函数的主瓣宽度和旁瓣电平，以免弱信号淹没在强信号的旁瓣或主瓣中。

### 6.3 实验内容

（1）设 ， 。

分别使用矩形窗、Hamming窗对 做DFT得到 ，画出幅度谱，用分贝（dB）表示，并比较分析。

矩形窗的低频旁瓣幅度应超过高频分量，Hamming窗的低频旁瓣幅度应低于高频分量。

提示：

① 窗函数的产生可以利用MATLAB中的window（r2021之前版本为dsp.Window），或者可以直接调用MATLAB内置的boxcar、hanning、hamming和blackman函数，具体使用方法请查阅MATLAB文档；DFT计算可以调用MATLAB内置的fft函数，fft点数取2N，fft函数的具体使用方法可查阅MATLAB文档。

②幅度谱的分贝公式： 。

（2）设 ， 。

使用Blackman窗，分别在 和 两种情况下，对 做DFT得到 ，画出幅度谱，并比较分析。

时，高频分量淹没在低频分量的主瓣中； 时，低频分量的主瓣变窄，高频分量显现。

## 实验7 FIR滤波器的窗函数设计方法

### 7.1 实验目的

（1）探究窗函数主瓣宽度和旁辦电平对滤波器性能的影响。

（2）观察理解Gibbs效应。

### 7.2 实验原理

用窗函数法设计FIR滤波器，观察不同阶数下的通带起伏和过渡带宽度的变化。

### 7.3 实验内容

（1）采用矩形窗函数设计带通滤波器，中心频率为 ，通带宽度为 ，上下阻带最小衰减大于30dB，上下过渡带宽小于10MHz，采样频率为 ，要求具有线性相位特性。

①使用MATLAB内置的fir1函数设计出符合指标要求的滤波器（其中矩形窗函数使用boxcar函数），利用MATLAB内置的freqz函数画出幅频特性曲线。

②改变系统阶数N（增加和减少），画出不同N下的幅频特性曲线（此处建议对幅度谱取绝对值画图，不建议画出功率谱图），并分析讨论。要求幅度归一化，频率单位为Hz。滤波器幅度谱的频率范围为0～ 。

（2）采用三角形窗、汉宁窗、汉明窗布莱克曼窗重复上述过程。

## 实验8 线性相位系统

### 8.1 实验目的

（1）观察理解IIR滤波器的非线性相位特性与FIR滤波器的线性相位特性。

（2）探究两类相位特性对信号处理的影响。

### 8.2 实验原理

设计频带指标相同的IIR滤波器与FIR滤波器，观察两类滤波器对信号波形的影响。观察非线性相位的IIR滤波器发生的色散现象。

### 8.3 实验内容

（1）设计IIR低通滤波器。通带截止频率0.8π，通带起伏小于1dB，过渡带宽小于0.1π，止带衰减大于40dB，幅度模型Butterworth。

①使用MATLAB内置的buttord与butter函数设计出符合指标要求的滤波器，利用MATLAB内置的freqz函数画出幅频特性曲线和相频特性曲线，利用MATLAB内置的grdelay函数测量设计出的滤波器的群时延。

（2）设计FIR低通滤波器。通带截止频率0.8π，过渡带宽小于0.1π，止带衰减大于40dB。线性相位特性，窗函数法。

①使用MATLAB内置的fir1函数（默认为Hamming窗）设计出符合指标要求的滤波器，利用MATLAB内置的freqz函数画出幅频特性曲线和相频特性曲线，利用MATLAB内置的grdelay函数测量设计出的滤波器的群时延。

（3）x1(n)=sin(ω1n)，x2(n)=sin(ω2n)， ， ，序列长度为 ，分别输入IIR和FIR滤波器，观察群延迟（系统时延），与上述测量结果对比验证。

①使用MATLAB内置的filter函数模拟输入信号通过滤波器，并用MATLAB内置的stem函数画出通过前后的时域波形图。

（4） ，分别输入IIR和FIR滤波器，观察对比输入波形和两个输出波形。

①使用MATLAB内置的filter函数模拟输入信号通过滤波器，并用MATLAB内置的stem函数画出通过前后的时域波形图。