

数字信号处理

实

验

指

导

书

中国科学技术大学

电子工程与信息科学系

2024年9月

目录

[实验1 连续信号的离散化 1](#_Toc140754794)

[1.1 实验目的 1](#_Toc140754795)

[1.2 实验原理 1](#_Toc140754796)

[1.3 实验内容 1](#_Toc140754797)

[1.4 实验报告要求 2](#_Toc140754798)

[实验2 栅栏效应 3](#_Toc140754799)

[2.1 实验目的 3](#_Toc140754800)

[2.2 实验原理 3](#_Toc140754801)

[2.3 实验内容 3](#_Toc140754802)

[2.4 实验报告要求 3](#_Toc140754803)

[实验3 频谱泄漏 4](#_Toc140754804)

[3.1 实验目的 4](#_Toc140754805)

[3.2 实验原理 4](#_Toc140754806)

[3.3 实验内容 4](#_Toc140754807)

[3.4 实验报告要求 5](#_Toc140754808)

[实验4 窗函数 6](#_Toc140754809)

[4.1 实验目的 6](#_Toc140754810)

[4.2 实验原理 6](#_Toc140754811)

[4.3 实验内容 6](#_Toc140754812)

[4.4 实验报告要求 6](#_Toc140754813)

[实验5 FFT算法 7](#_Toc140754814)

[5.1 实验目的 7](#_Toc140754815)

[5.2 实验原理 7](#_Toc140754816)

[5.3 实验内容 7](#_Toc140754817)

[5.4 实验报告要求 7](#_Toc140754818)

[实验6 信号通过滤波器 8](#_Toc140754819)

[6.1 实验目的 8](#_Toc140754820)

[6.2 实验原理 8](#_Toc140754821)

[6.3 实验内容 8](#_Toc140754822)

[6.4 实验报告要求 8](#_Toc140754823)

[实验7 FIR滤波器的窗函数设计方法 9](#_Toc140754824)

[7.1 实验目的 9](#_Toc140754825)

[7.2 实验原理 9](#_Toc140754826)

[7.3 实验内容 9](#_Toc140754827)

[7.4 实验报告要求 9](#_Toc140754828)

[实验8 线性相位系统 10](#_Toc140754829)

[8.1 实验目的 10](#_Toc140754830)

[8.2 实验原理 10](#_Toc140754831)

[8.3 实验内容 10](#_Toc140754832)

[8.4 实验报告要求 10](#_Toc140754833)

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*)+*j*sin(*x*)的幅度谱；“syms x; fplot(phase(exp(j\*x)),[-pi,pi])”可绘制*f*(*x*)=cos(*x*)+*j*sin(*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0～120*Hz*，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0～400*Hz*，幅度谱的频率范围为0～。

1.4 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）归纳实验中的各种现象，总结自己的结论。

实验2 栅栏效应

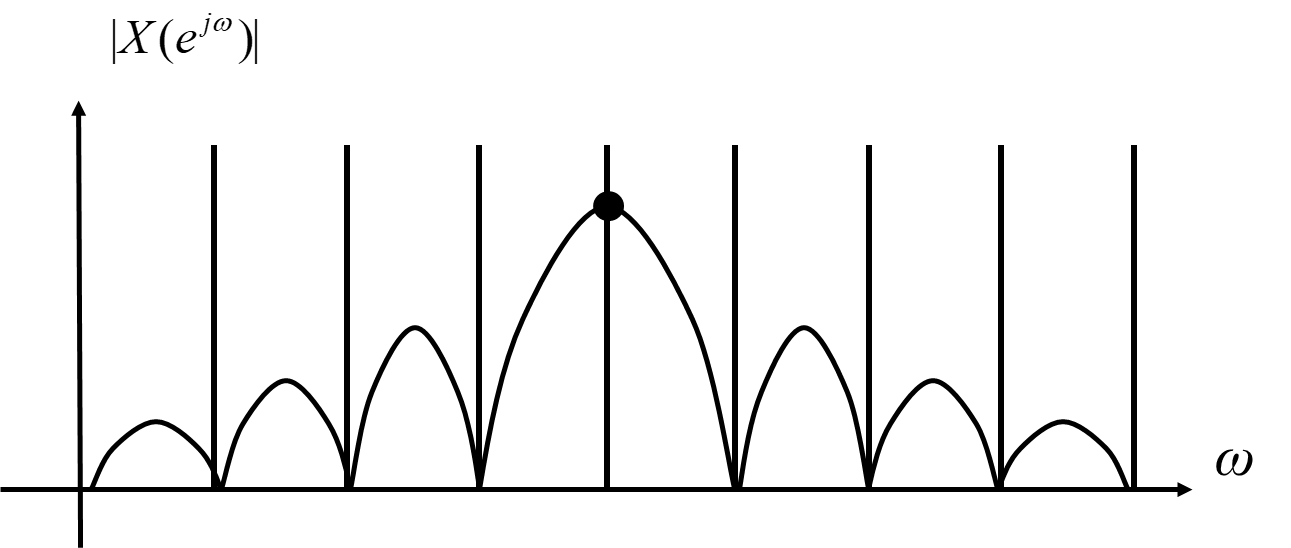
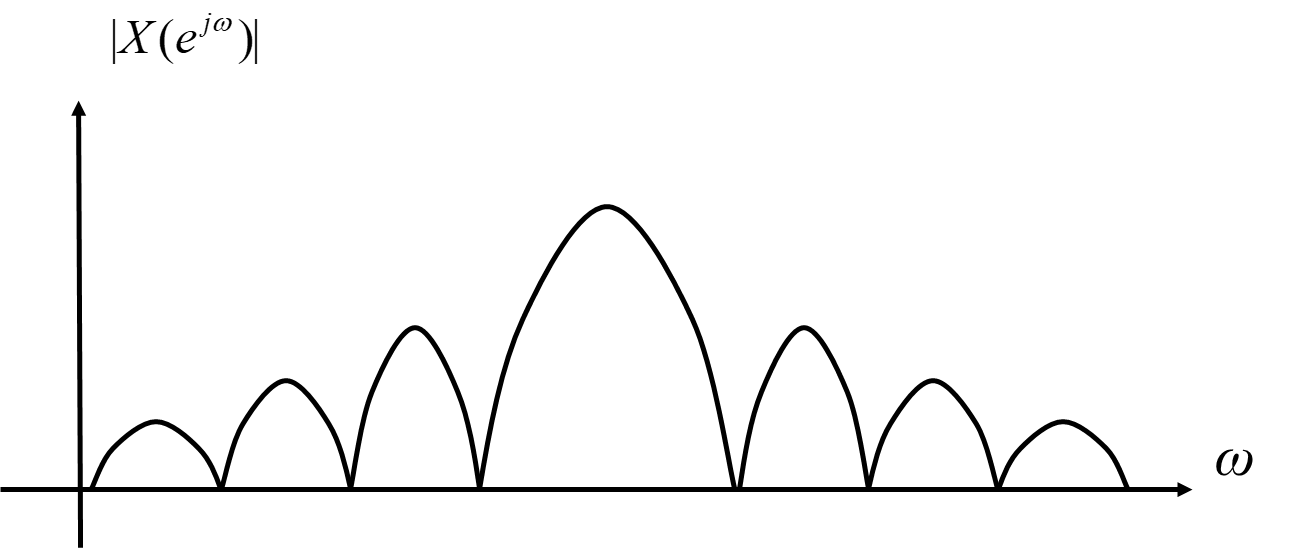
2.1 实验目的

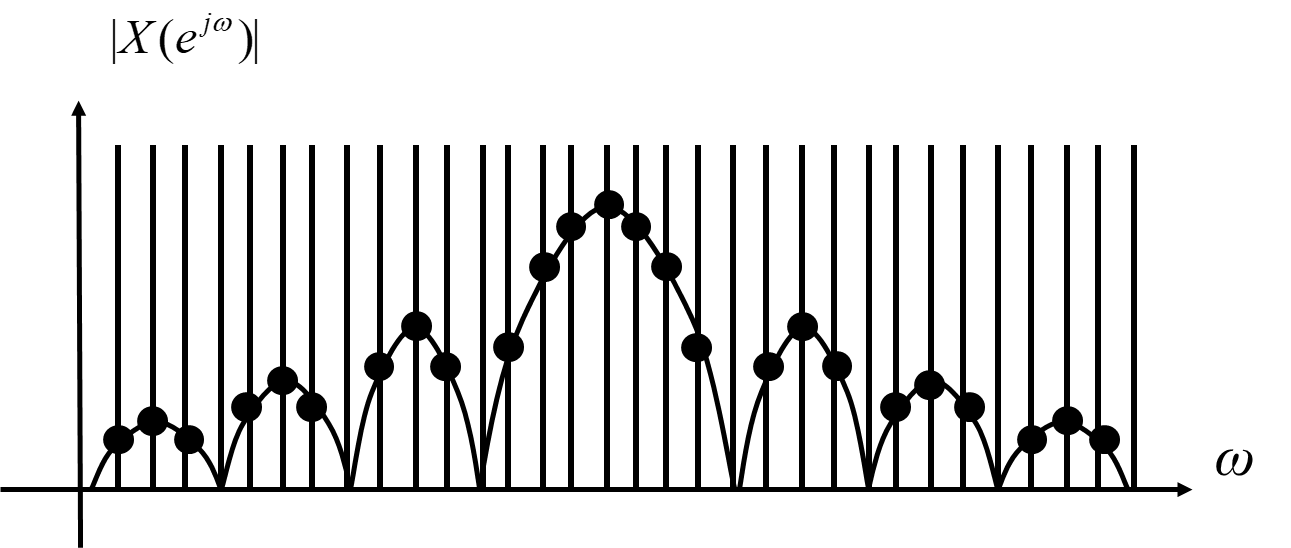
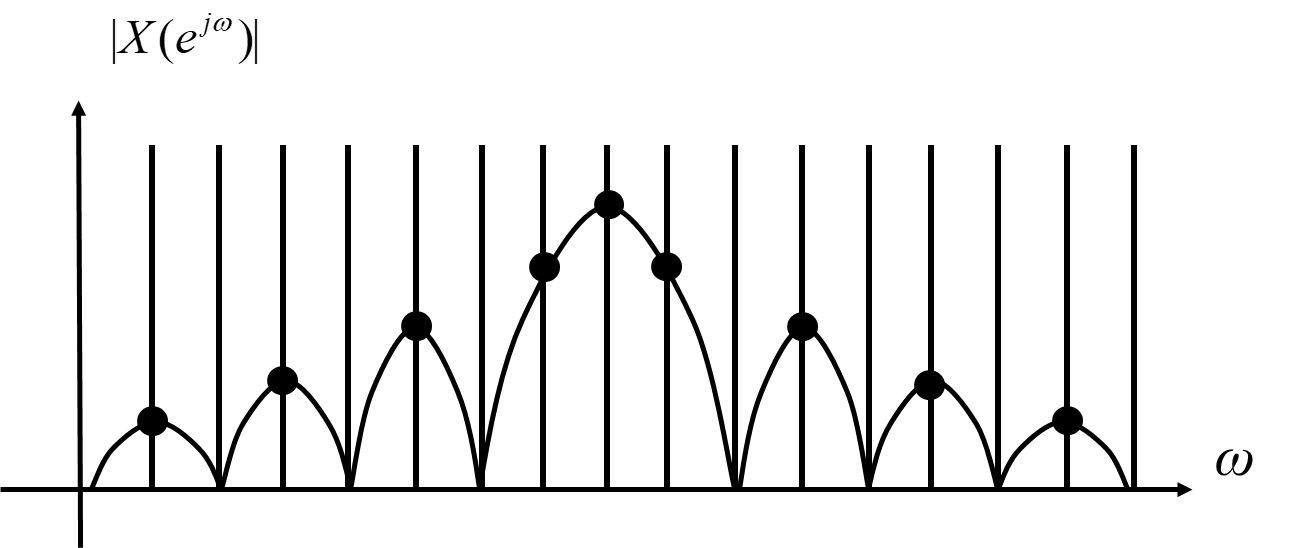
（1）理解栅栏效应是连续频谱取样离散化之后呈现的一种视觉现象。

（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。

3.4 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。

4.4 实验报告要求

（1）总结编写程序实现FFT算法的思路。

（2）记录实验中要求观察、分析、比较的内容，并对结果进行分析。

（3）总结实验中根据实验现象得到的其它结论。

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1*dB*，止带衰减大于40*dB*，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* ≤ 0.2*π*内，衰减大于15dB; 当0.3*π* ≤ *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）。

6.4 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2*N*，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。

6.4 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30*dB*，上下过渡带宽小于10*MHz*，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。

7.4 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0.8*π*，通带起伏小于1*dB*，过渡带宽小于0.1*π*，止带衰减大于40*dB*，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0.8*π*，过渡带宽小于0.1*π*，止带衰减大于40*dB*。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）*x*1(*n*)=sin(*ω*1*n*)，*x*2(*n*)=sin(*ω*2*n*)，，，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。

8.4 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。