

## 实验二 信号的采样与重建

### 一、实验目的

(1) 在学习本章内容的基础上,通过实验加强有关信号采样与重建的基本概念,熟悉相关的 MATLAB 函数。

(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。

### 二、实验内容

认真阅读相关 MATLAB 函数的“帮助”文件。在熟悉 MATLAB 的相关函数的基础上,完成以下实验。

上机实验内容:

(1) 一信号是三个正弦信号的和,正弦信号的频率为 50 Hz、500 Hz、1 000 Hz,该信号以 8 kHz 采样。用适当数量的样本画出该信号。

(2) 一信号是三个正弦信号的和,正弦信号的频率为 50 Hz、500 Hz、1 000 Hz,该信号以 800 Hz 采样。用适当数量的样本画出该信号,并讨论信号的混叠状况。

(3) 令  $x(n) = \cos(2\pi fn/f_s)$ , 其中  $f/f_s = 1/16$ , 即每个周期内有 16 个点。试利用 MATLAB 编程实现:

① 作  $M=4$  倍的抽取,使每个周期变成 4 点。

② 作  $L=3$  倍的插值,使每个周期变成 48 点。

(4) 输入信号  $x(n)$  为归一化频率分别是  $f_1=0.04, f_2=0.3$  的正弦信号相加而成,  $N=50$ , 内插因子为 5, 抽取因子为 3, 给出按有理因子  $5/3$  作采样率转换的输入输出波形。

(5) 常见的音频文件采样率为 44.1 kHz。请找一个 wav 格式、采样率为 44.1 kHz 的音频文件, 用 MATLAB 编写程序, 把它转换成采样率为 48 kHz、32 kHz、22.05 kHz、16 kHz 和 8 kHz 的音频文件, 用播放器分别进行播放, 比较音质的变化, 并解释原因。

(6) 请找一个 wav 格式、采样率为 11.025 kHz 的音频文件, 用 MATLAB 编写程序, 把它转换成采样率为 44.1kHz 的音频文件, 采用两种方法: ① 直接插零; ② 插零后滤波(可直接利用 MATLAB 相关函数), 利用播放器分别进行播放, 比较音质的变化, 并解释原因。

### 三、思考题

(1) 试说明对于周期性信号, 应当如何采样, 才能保证周期扩展后与原信号保持一致。

(2) 模拟抗混叠滤波器的指标是如何确定的, 欠采样的情况下是否需要模拟抗混叠滤波器?

(3) 抽取是否会造成信号频谱成分的丢失? 为什么还要这么做?

### 四、实验报告要求

(1) 简述实验目的及原理。

(2) 按实验步骤附上实验程序。

(3) 按实验内容附上有关离散信号的波形或关键样本, 对音频信号给出测听的结果。

(4) 简要回答思考题。

### 五、与本实验相关的 MATLAB 函数

$y = \text{decimate}(x, M)$ ; 对信号  $x$  按整数  $M$  作抽取, 抽取前先作抗混叠低通滤波, 结果放在  $y$  中。

$y = \text{interp}(x, L)$ ; 对信号  $x$  按整数因子  $L$  插零, 然后作抗镜像低通滤波, 结果放在  $y$  中。

$y = \text{resample}(x, L, M)$ ; 对信号  $x$  按有理因子  $L/M$  作采样率转换, 结果放在  $y$  中。

$[y, fs, bits] = \text{wavread}('filename.wav')$ ; 读取音频波形文件, 这里  $y$  是声音的数组,  $fs$  是声音的采样频率,  $bits$  是采样样本的二进制位数。

$\text{wavwrite}(y, fs, bits, 'filename.wav')$ ; 将声音的数组  $y$  写入音频波形文件,  $fs$  是声音的采样频率,  $bits$  是采样样本的二进制位数。

## 实验三 快速傅里叶变换及其应用

### 一、实验目的

(1) 在理论学习的基础上,通过本实验,加深对 FFT 的理解,熟悉 MATLAB 中的有关函数。

(2) 应用 FFT 对典型信号进行频谱分析。

(3) 了解应用 FFT 进行信号频谱分析过程中可能出现的问题,以便在实际中正确应用 FFT。

(4) 应用 FFT 实现序列的线性卷积和相关。

### 二、实验内容

实验中用到的信号序列:

高斯序列

$$x_a(n) = \begin{cases} e^{-\frac{(n-p)^2}{q}} & 0 \leq n \leq 15 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

衰减正弦序列

$$x_b(n) = \begin{cases} e^{-an} \sin(2\pi fn) & 0 \leq n \leq 15 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

三角波序列

$$x_c(n) = \begin{cases} n & 0 \leq n \leq 3 \\ 8-n & 4 \leq n \leq 7 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

## 反三角波序列

$$x_d(n) = \begin{cases} 4-n & 0 \leq n \leq 3 \\ n-4 & 4 \leq n \leq 7 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

上机实验内容:

(1) 观察高斯序列的时域和幅频特性,固定信号  $x_s(n)$  中参数  $p=8$ ,改变  $q$  的值,使  $q$  分别等于 2、4、8,观察它们的时域和幅频特性,了解当  $q$  取不同值时,对信号序列的时域和幅频特性的影响;固定  $q=8$ ,改变  $p$ ,使  $p$  分别等于 8、13、14,观察参数  $p$  变化对信号序列的时域及幅频特性的影响,注意  $p$  等于多少时,会发生明显的泄漏现象,混叠是否也随之出现?记录实验中观察到的现象,绘出相应的时域序列和幅频特性曲线。

(2) 观察衰减正弦序列  $x_b(n)$  的时域和幅频特性,  $a=0.1$ ,  $f=0.0625$ ,检查谱峰出现位置是否正确,注意频谱的形状,绘出幅频特性曲线,改变  $f$ ,使  $f$  分别等于 0.4375 和 0.5625,观察这两种情况下,频谱的形状和谱峰出现位置,有无混叠和泄漏现象?说明产生现象的原因。

(3) 观察三角波和反三角波序列的时域和幅频特性,用  $N=8$  点 FFT 分析信号序列  $x_c(n)$  和  $x_d(n)$  的幅频特性,观察两者的序列形状和频谱曲线有什么异同?绘出两序列及其幅频特性曲线。

在  $x_c(n)$  和  $x_d(n)$  末尾补零,用  $N=32$  点 FFT 分析这两个信号的幅频特性,观察幅频特性发生了什么变化?两种情况下的 FFT 频谱还有相同之处吗?这些变化说明了什么?

(4) 一个连续信号含两个频率分量,经采样得

$$x(n) = \sin[2\pi \cdot 0.125n] + \cos[2\pi \cdot (0.125 + \Delta f)n] \quad n=0, 1, \dots, N-1$$

已知  $N=16$ ,  $\Delta f$  分别为  $1/16$  和  $1/64$ ,观察其频谱;当  $N=128$  时,  $\Delta f$  不变,其结果有何不同,为什么?

(5) 用 FFT 分别计算  $x_a(n)$  ( $p=8, q=2$ ) 和  $x_b(n)$  ( $a=0.1, f=0.0625$ ) 的 16 点循环卷积和线性卷积。

(6) 产生一 512 点的随机序列  $x_c(n)$ ,并用  $x_c(n)$  和  $x_c(n)$  作线性卷积,观察卷积前后  $x_c(n)$  频谱的变化。要求将  $x_c(n)$  分成 8 段,分别采用重叠相加法和重叠保留法。

(7) 用 FFT 分别计算  $x_a(n)$  ( $p=8, q=2$ ) 和  $x_b(n)$  ( $a=0.1, f=0.0625$ ) 的 16 点循环相关和线性相关,问一共有多少种结果,它们之间有何异同点。

(8) 用 FFT 分别计算  $x_a(n)$  ( $p=8, q=2$ ) 和  $x_b(n)$  ( $a=0.1, f=0.0625$ ) 的自相关函数。

### 三、思考题

(1) 实验中的信号序列  $x_c(n)$  和  $x_d(n)$ , 在单位圆上的  $z$  变换频谱  $|X_c(e^{j\omega})|$  和  $|X_d(e^{j\omega})|$  会相同吗? 如果不同, 说出哪一个低频分量更多一些, 为什么?

(2) 对一个有限长序列进行 DFT 等价于将该序列周期延拓后进行 DFS 展开, 因为 DFS 也只是取其中一个周期来运算, 所以 FFT 在一定条件下也可以用分析周期信号序列。如果实正弦信号  $\sin(2\pi fn)$ ,  $f=0.1$  用 16 点 FFT 来作 DFS 运算, 得到的频谱是信号本身的真实谱吗? 为什么?

### 四、实验报告要求

(1) 简述实验目的及原理。

(2) 按实验步骤附上实验信号序列和幅频特性曲线, 分析所得到的图形, 说明参数改变对时域和频域的影响。

(3) 总结实验中的主要结论。

(4) 简要回答思考题。

### 五、与本实验相关的 MATLAB 函数

$y = \exp(X)$ ; 对向量  $X$  的各元素作指数计算, 结果为一向量。

$\text{conj}(X)$ ; 对向量  $X$  的各元素作复共轭运算, 即将虚部改变符号。

$\text{real}(X)$ ; 对向量  $X$  的各元素取其实部。

$v = \text{randn}(\text{size}(X))$ ; 生成与  $X$  具有相同维数的正态(高斯)分布的随机矩阵, 通常用于生成高斯白噪声。

$\text{fft}(X, N)$ ; 计算  $X$  的  $N$  点 FFT, 如果  $X$  的长度小于  $N$ , 则将在  $X$  后补零。反之, 如果  $X$  的长度大于  $N$ , 则将对  $X$  进行截取。

$\text{ifft}(X)$ ; 计算  $X$  的  $N$  点 IFFT。

$\text{fftshift}(Y)$ ; 如果  $Y$  为向量, 该命令将  $Y$  分成左右两部分并交换位置。

## 实验四 IIR 数字滤波器的设计

### 一、实验目的

(1) 掌握双线性变换法及脉冲响应不变法设计 IIR 数字滤波器的具体设计方法及其原理,熟悉用双线性变换法及脉冲响应不变法设计低通、高通和带通 IIR 数字滤波器的计算机编程。

(2) 观察双线性变换及脉冲响应不变法设计的滤波器的频域特性,了解双线性变换法及脉冲响应不变法的特点。

(3) 熟悉巴特沃思滤波器、切比雪夫滤波器和椭圆滤波器的频率特性。

## 二、实验内容

实验中有关变量的定义:

|          |        |
|----------|--------|
| $f_c$    | 通带边界频率 |
| $f_r$    | 阻带边界频率 |
| $\delta$ | 通带波动   |
| $At$     | 最小阻带衰减 |
| $f_s$    | 采样频率   |
| $T$      | 采样周期   |

上机实验内容:

(1)  $f_c = 0.3$  kHz,  $\delta = 0.8$  dB,  $f_r = 0.2$  kHz,  $At = 20$  dB,  $T = 1$  ms; 设计一切比雪夫高通滤波器, 观察其通带损耗和阻带衰减是否满足要求。

(2)  $f_c = 0.2$  kHz,  $\delta = 1$  dB,  $f_r = 0.3$  kHz,  $At = 25$  dB,  $T = 1$  ms; 分别用脉冲响应不变法及双线性变换法设计一巴特沃思数字低通滤波器, 观察所设计数字滤波器的幅频特性曲线, 记录带宽和衰减量, 检查是否满足要求。比较这两种方法的优缺点。

(3) 利用双线性变换法分别设计满足下列指标的巴特沃思型、切比雪夫型和椭圆型数字低通滤波器, 并作图验证设计结果:  $f_c = 1.2$  kHz,  $\delta \leq 0.5$  dB,  $f_r = 2$  kHz,  $At \geq 40$  dB,  $f_s = 8$  kHz。比较这三种滤波器的阶数。

(4) 分别用脉冲响应不变法及双线性变换法设计一巴特沃思型数字带通滤波器, 已知  $f_s = 30$  kHz, 其等效的模拟滤波器指标为  $\delta < 3$  dB,  $2$  kHz  $< f \leq 3$  kHz;  $At \geq 5$  dB,  $f \geq 6$  kHz;  $At \geq 20$  dB,  $f \leq 1.5$  kHz。

(5) 利用双线性变换法设计满足下列指标的切比雪夫型数字带阻滤波器, 并作图验证设计结果: 当  $1$  kHz  $\leq f \leq 2$  kHz 时,  $At \geq 18$  dB; 当  $f \leq 500$  Hz 以及  $f \geq 3$  kHz 时,  $\delta \leq 3$  dB; 采样频率  $f_s = 10$  kHz。

## 三、思考题

(1) 双线性变换法中  $\Omega$  和  $\omega$  之间的关系是非线性的, 在实验中你注意到这种非线性关系了吗? 从哪几种数字滤波器的幅频特性曲线中可以观察到这种非线性关系?

(2) 能否利用公式  $H(z) = H(s) \Big|_{s=\frac{1}{T}\ln z}$  完成脉冲响应不变法的数字滤波器设计? 为什么?

## 四、实验报告要求

(1) 简述实验目的及原理。

(2) 按实验步骤附上所设计滤波器系统函数  $H(z)$  及相应的幅频特性曲线,

定性分析它们的性能,判断设计是否满足要求。

(3) 谈谈双线性变换法的特点,简述用双线性变换法设计滤波器的全过程。

(4) 简要回答思考题。



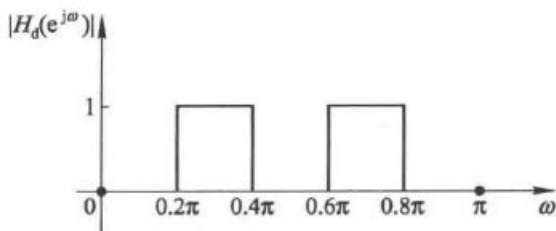
# 实验五 FIR 数字滤波器的设计

## 一、实验目的

- (1) 掌握用窗函数法、频率采样法及优化设计法设计 FIR 滤波器的原理及方法,熟悉相应的 MATLAB 编程。
- (2) 熟悉线性相位 FIR 滤波器的幅频特性和相频特性。
- (3) 了解各种不同窗函数对滤波器性能的影响。

## 二、实验内容

- (1)  $N=45$ , 计算并画出矩形窗、汉明窗、布莱克曼窗的归一化的幅度谱, 并比较各自的主要特点。
- (2)  $N=15$ , 带通滤波器的两个通带边界分别是  $\omega_1 = 0.3\pi$ ,  $\omega_2 = 0.5\pi$ 。用汉宁窗设计此线性相位带通滤波器, 观察它的实际 3 dB 和 20 dB 带宽。 $N=45$ , 重复这一设计, 观察幅频和相位特性的变化, 注意长度  $N$  变化的影响。
- (3) 分别改用矩形窗和布莱克曼窗, 设计(2)中的带通滤波器, 观察并记录窗函数对滤波器幅频特性的影响, 比较三种窗的特点。
- (4) 用凯塞窗设计一专用线性相位滤波器,  $N=40$ ,  $|H_d(e^{j\omega})|$  如实验五图所示, 当  $\beta=4, 6, 10$  时, 分别设计、比较它们的幅频和相频特性, 注意  $\beta$  取不同值时的影响。



实验五图

(5) 用频率采样法设计(4)中的滤波器,过渡带分别设一个过渡点,令  $H(k) = 0.5$ 。比较两种不同方法的结果。

(6) 用雷米兹交替算法设计(4)中的滤波器,并比较(4)、(5)、(6)三种不同方法的结果。

(7) 利用雷米兹交替算法,设计一个线性相位高通 FIR 数字滤波器,其指标为:通带边界频率  $f_c = 800$  Hz,阻带边界  $f_r = 500$  Hz,通带波动  $\delta = 1$  dB 阻带最小衰减  $At = 40$  dB,采样频率  $f_s = 5000$  Hz。

### 三、思考题

(1) 定性地说明用本实验程序设计的 FIR 滤波器的 3 dB 截止频率在什么位置? 它等于理想频率响应  $H_d(e^{j\omega})$  的截止频率吗?

(2) 如果没有给定  $h(n)$  的长度  $N$ ,而是给出了通带边缘截止频率  $\omega_c$  和阻带临界频率  $\omega_p$ ,以及相应的衰减,能根据这些条件用窗函数法设计线性相位 FIR 低通滤波器吗?

### 四、实验报告要求

(1) 简述实验目的及理论。

(2) 按实验步骤附上所设计滤波器的  $h(n)$  及相应幅频和相频特性曲线,比较它们的性能,说明不同设计方法对滤波器性能的影响。

(3) 总结三种不同设计方法的特点,归纳设计中的主要公式。

(4) 简要回答思考题。