

实验 1 常见离散信号的 MATLAB 产生和图形显示

实验目的: 加深对常用离散信号的理解;

实验原理:

1. 单位抽样序列

$$\delta(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & n \neq 0 \end{cases}$$

在 MATLAB 中可以利用 `zeros()` 函数实现。

$$\begin{aligned} x &= \text{zeros}(1, N); \\ x(1) &= 1; \end{aligned}$$

如果 $\delta(n)$ 在时间轴上延迟了 k 个单位, 得到 $\delta(n-k)$ 即:

$$\delta(n-k) = \begin{cases} 1 & n = k \\ 0 & n \neq k \end{cases}$$

2. 单位阶跃序列

$$u(n) = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases}$$

在 MATLAB 中可以利用 `ones()` 函数实现。

$$x = \text{ones}(1, N);$$

3. 正弦序列

$$x(n) = A \sin(2\pi f n / F_s + \varphi)$$

在 MATLAB 中

$$\begin{aligned} n &= 0 : N - 1 \\ x &= A * \sin(2 * pi * f * n / F_s + fai) \end{aligned}$$

4. 复正弦序列

$$x(n) = e^{j\omega n}$$

在 MATLAB 中

$$\begin{aligned} n &= 0 : N - 1 \\ x &= \exp(j * w * n) \end{aligned}$$

5. 指数序列

$$x(n) = a^n$$

在 MATLAB 中

$$n = 0 : N - 1$$

$$x = a.^n$$

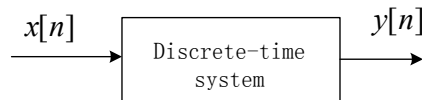
实验内容: 编制程序产生上述 5 种信号 (长度可自行输入确定), 并绘出其图形。

实验要求: 讨论复指数序列的性质。

实验 2 离散系统的差分方程、单位脉冲响应和卷积分析

实验目的: 加深对离散系统的差分方程、单位脉冲响应和卷积分析方法的理解。

实验原理: 离散系统



其输入、输出关系可用以下差分方程描述:

$$\sum_{k=0}^N d_k y[n-k] = \sum_{k=0}^M p_k x[n-k]$$

输入信号分解为单位脉冲序列, $x[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]\delta[n-m]$ 。记系统单位脉冲响应

$\delta[n] \rightarrow h[n]$, 则系统响应为如下的卷积计算式:

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]h[n-m]$$

当 $d_k = 0, k = 1, 2, \dots, N$ 时, $h[n]$ 是有限长度的 ($n: [0, M]$), 称系统为 FIR 系统; 反之, 称系统为 IIR 系统。

在 MATLAB 中, 可以用函数 $y = \text{Filter}(p,d,x)$ 求解差分方程, 也可以用函数 $y = \text{Conv}(x,h)$ 计算卷积。

实验内容: 编制程序求解下列两个系统的单位脉冲响应和阶跃响应, 并绘出其图形。

$$y[n] + 0.6y[n-1] + 0.09y[n-2] = x[n] - x[n-1]$$

$$y[n] = 0.5\{x[n-1] + x[n-2] + x[n-3] + x[n-4] + x[n-5]\}$$

实验要求: 给出理论计算结果和程序计算结果并讨论。

实验 3 离散系统的频率响应分析和零、极点分布

实验目的: 加深对离散系统的频率响应分析和零、极点分布的概念理解。

实验原理: 离散系统的时域方程为

$$\sum_{k=0}^N d_k y(n-k) = \sum_{k=0}^M p_k x(n-k)$$

其变换域分析方法如下:

频域 $y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]h[n-m] \Leftrightarrow Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega})H(e^{j\omega})$

系统的频率响应为 $H(e^{j\omega}) = \frac{p(e^{j\omega})}{D(e^{j\omega})} = \frac{p_0 + p_1 e^{-j\omega} + \dots + p_M e^{-jM\omega}}{d_0 + d_1 e^{-j\omega} + \dots + d_N e^{-jN\omega}}$

Z 域 $y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]h[n-m] \Leftrightarrow Y(z) = X(z)H(z)$

系统的转移函数为 $H(z) = \frac{p(z)}{D(z)} = \frac{p_0 + p_1 z^{-1} + \dots + p_M z^{-M}}{d_0 + d_1 z^{-1} + \dots + d_N z^{-N}}$

分解因式 $H(z) = \frac{\sum_{i=0}^M p_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^N d_i z^{-i}} = K \frac{\prod_{i=1}^M (1 - \xi_i z^{-1})}{\prod_{i=1}^N (1 - \lambda_i z^{-1})}$, 其中 ξ_i 和 λ_i 称为零、极点。

在 MATLAB 中, 可以用函数 $[z, p, K]=tf2zp(\text{num}, \text{den})$ 求得有理分式形式的系统转移函数的零、极点, 用函数 $\text{zplane}(z, p)$ 绘出零、极点分布图; 也可以用函数 $\text{zplane}(\text{num}, \text{den})$ 直接绘出有理分式形式的系统转移函数的零、极点分布图。

另外, 在 MATLAB 中, 可以用函数 $[r, p, k]=\text{residuez}(\text{num}, \text{den})$ 完成部分分式展开计算; 可以用函数 $\text{sos}=\text{zp2sos}(z, p, K)$ 完成将高阶系统分解为 2 阶系统的串联。

实验内容: 求系统

$$H(z) = \frac{0.0528 + 0.797z^{-1} + 0.1295z^{-2} + 0.1295z^{-3} + 0.797z^{-4} + 0.0528z^{-5}}{1 - 1.8007z^{-1} + 2.4947z^{-2} - 1.8821z^{-3} + 0.9537z^{-4} - 0.2336z^{-5}}$$

的零、极点和幅度频率响应。

实验要求: 编程实现系统参数输入, 绘出幅度频率响应曲线和零、极点分布图。

实验 4 离散信号的 DTFT 和 DFT

实验目的: 加深对离散信号的 DTFT 和 DFT 的及其相互关系的理解。

实验原理: 序列 $x[n]$ 的 DTFT 定义: $X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-jn\omega}$

N 点序列 $x[n]$ 的 DFT 定义:

$$\begin{aligned} X[k] &= X(e^{j\frac{2\pi}{N}k})R_N(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}R_N(k) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn}R_N(k) \end{aligned}$$

在 MATLAB 中, 对形式为 $X(e^{j\omega}) = \frac{p(e^{j\omega})}{D(e^{j\omega})} = \frac{p_0 + p_1e^{-j\omega} + \dots + p_Me^{-jM\omega}}{d_0 + d_1e^{-j\omega} + \dots + d_Ne^{-jN\omega}}$ 的 DTFT 可以用函数

$H = \text{freqz}(\text{num}, \text{den}, w)$ 计算; 可以用函数 $U = \text{fft}(u, N)$ 和 $u = \text{ifft}(U, N)$ 计算 N 点序列的 DFT 正、反变换。

实验内容: 分别计算 16 点序列 $x(n) = \cos\frac{5\pi}{16}n, 0 \leq n \leq 15$ 的 16 点和 32 点 DFT, 绘出幅度谱图形, 并绘出该序列的 DTFT 图形。

实验要求: 讨论 DTFT 和 DFT 之间的相互关系。说明实验产生的现象的原因。

实验 5 FFT 算法的应用

实验目的: 加深对离散信号的 DFT 的理解及其 FFT 算法的运用。

实验原理: N 点序列的 DFT 和 IDFT 变换定义式如下:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]W_N^{kn}, \quad x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k]W_N^{-kn}$$

利用旋转因子 $W_N^{kn} = e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$ 具有周期性, 可以得到快速算法 (FFT)。

在 MATLAB 中, 可以用函数 $X = \text{fft}(x, N)$ 和 $x = \text{ifft}(X, N)$ 计算 N 点序列的 DFT 正、反变换。

实验内容:

(1) 2N 点实数序列

$$x(n) = \begin{cases} \cos(\frac{2\pi}{N}7n) + \frac{1}{2}\cos(\frac{2\pi}{N}19n), n = 0, 1, 2, \dots, 2N-1 \\ 0, \text{其它}n \end{cases}$$

$N=64$ 。用一个 64 点的复数 FFT 程序, 一次算出 $X(k) = \text{DFT}[x(n)]_{2N}$, 并绘出 $|X(k)|$ 。

(2) 已知某序列 $x(n)$ 在单位圆上的 $N=64$ 等分样点的 Z 变换为 $X(z_k) = X(k) = \frac{1}{1-0.6e^{-j2\pi k/N}}$, $k=0,1,2,\dots,63$ 。用 N 点 IFFT 程序计算 $\bar{x}(n) = IDFT[X(k)]$, 绘出 $\bar{x}(n)$ 。

实验要求: 利用 MATLAB 编程完成计算, 绘出相应图形。并与理论计算相比较, 说明实验结果的原因。

实验 6 基于 MATLAB 的数字滤波器设计

实验目的: 加深对数字滤波器的常用指标和设计过程的理解。

实验原理: 低通滤波器的常用指标:

$$1 - \delta_p \leq |G(e^{j\omega})| \leq 1 + \delta_p, \text{ for } |\omega| \leq \omega_p$$

$$|G(e^{j\omega})| \leq \delta_s, \text{ for } \omega_s \leq |\omega| \leq \pi$$

通带边缘频率: ω_p , 阻带边缘频率: ω_s ,

通带起伏: δ_p , 通带峰值起伏:

$$\alpha_p = -20 \log_{10}(1 - \delta_p) [dB], \text{ 阻带起伏: } \delta_s,$$

$$\text{最小阻带衰减: } \alpha_s = -20 \log_{10}(\delta_s) [dB].$$

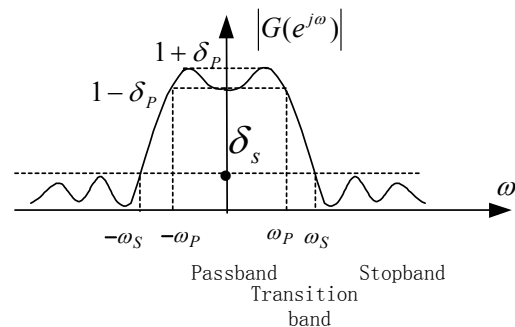


Fig 7.1 Typical magnitude specification for a digital LPF

数字滤波器有 IIR 和 FIR 两种类型, 它们的特点和设计方法不同。

在 MATLAB 中, 可以用 `[b, a]=butter(N,Wn)` 等函数辅助设计 IIR 数字滤波器, 也可以用 `b=fir1(N,Wn,'ftype')` 等函数辅助设计 FIR 数字滤波器。

实验内容: 利用 MATLAB 编程设计一个数字带通滤波器, 指标要求如下:

$$\text{通带边缘频率: } \omega_{p1} = 0.4\pi, \omega_{p2} = 0.7\pi, \text{ 通带峰值起伏: } \alpha_p \leq 1 [dB].$$

$$\text{阻带边缘频率: } \omega_{s1} = 0.3\pi, \omega_{s2} = 0.8\pi, \text{ 最小阻带衰减: } \alpha_s \geq 40 [dB].$$

分别用 IIR 和 FIR 两种数字滤波器类型进行设计。

实验要求: 给出 IIR 数字滤波器参数和 FIR 数字滤波器的冲激响应, 绘出它们的幅度和相位频响曲线, 讨论它们各自的实现形式和特点。