

桂林航天工业学院备课纸

第7章 有限脉冲响应数字滤波器设计 $H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)z^{-n}$

1. FIR 数字滤波器特点.

- 优点 {
- ① 系统无反馈, 是无条件稳定系统 ($H(z)$ 是 z^{-1} 的多项式, 在 $z=0$ 处有 $N-1$ 个极点)
 - ② 具有线性相位特性 $\theta(\omega) = A\omega + B$ (相位是频率的一次函数)
- 缺点 {
- 幅度特性较差, 滤波器阶次较高.

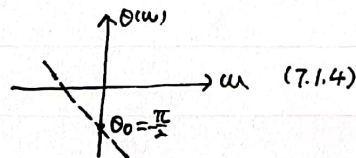
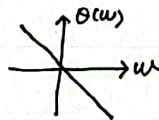
2. 线性相位 FIR 数字滤波器的类型.

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)e^{-j\omega n} = \underbrace{H_g(\omega)}_{\substack{\text{幅度特性} \\ \text{有正有负} \\ \text{不同} |H(e^{j\omega})|}} \cdot \underbrace{e^{-j\theta(\omega)}}_{\substack{\text{相位特性} \\ \text{决定输入变量的相位延迟}}}$$

$$H_g(\omega) = \pm |H(e^{j\omega})|$$

$$\theta(\omega) = \arg F$$

- ① 第一类线性 $\theta(\omega) = -\tau\omega$ τ 为常数.
- ② 第二类线性 $\theta(\omega) = \theta_0 - \tau\omega$ (θ_0 常取 $-\pi/2$)



$$\tau = \frac{N-1}{2}$$

线性相位: 群时延 $-\frac{d\theta(\omega)}{d\omega} = \tau$ 为常数 (不同输入频率信号通过滤波器都有相同的时间延迟)

3. 线性相位 FIR 的时域约束条件. (N 取奇偶数对 $H_g(\omega)$ 约束不同) P198 表 7.1.1.

(1) 第一类线性 $h(n) = h(N-1-n)$ 关于 $\frac{N-1}{2}$ 偶对称 $H_g(\omega) \rightarrow \cos \rightarrow 0, 2\pi$ 偶对称.

$\theta(\omega) = -\tau\omega$

- ★ N 为奇数 $H_g(\omega)$ 关于 $0, \pi, 2\pi$ 偶对称, 可实现各种 (低通, 高通, 带通, 带阻) 滤波器.
- ★ N 为偶数 $H_g(\omega)$ 关于 π 奇对称, 关于 $0, 2\pi$ 偶对称, 不能实现高通和带阻滤波器.

(2) 第二类线性 $h(n) = -h(N-1-n)$ 关于 $\frac{N-1}{2}$ 奇对称 $H_g(\omega) \rightarrow \sin \rightarrow 0, 2\pi$ 奇对称.

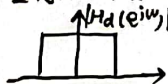
$\theta(\omega) = \theta_0 - \tau\omega$

- N 为奇数: $H_g(\omega)$ 关于 $\omega = 0, \pi, 2\pi$ 奇对称 只能实现带通滤波器.
- N 为偶数: $H_g(\omega)$ 关于 $0, 2\pi$ 奇对称, 关于 π 偶对称, 不能实现低通和带阻滤波器.

4. 窗函数设计 FIR 滤波器.

① 设计原理.

理想低通滤波器幅频特性



IDFT \rightarrow $h_d(n)$ 无限长.

加窗 (截断) \rightarrow $h(n) = h_d(n) R_N(n)$ 窗口.

P221. 图 7.2-1

★ 吉布斯效应:

引起过渡带加宽

措施 \rightarrow 加大窗函数宽度 N , 过渡带变窄

引起通带和阻带的波动

措施 \rightarrow 构造新的窗函数形状, 使谱函数主瓣包含更多能量, 使旁瓣幅值更小.

构造窗函数.

桂林航天工业学院备课纸

5. 典型窗函数

① 窗函数的几个参数

- 旁瓣峰值 a_n : 幅频函数 $|W_g(w)|$ 的最大旁瓣最大值相对主瓣最大值衰减值(dB)
- 过渡带宽度 B_g
- 阻带最小衰减 a_s

② 几种窗函数

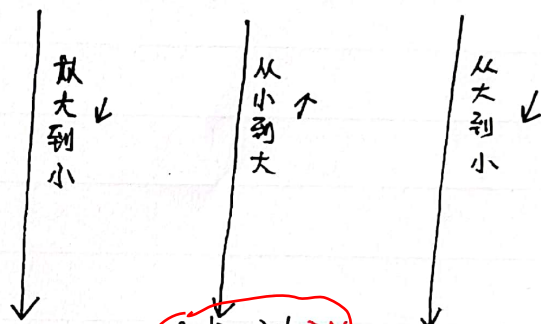
- | | | |
|-------------|---------------------------------------|----------|
| (1) 矩形窗 | $w_n = \text{boxcar}(N)$ | |
| (2) 三角窗 | $w_n = \text{bartlett}(N)$ | |
| (3) 汉宁窗 | $w_n = \text{hanning}(N)$ | % 升余弦窗 |
| (4) 哈明窗 | $w_n = \text{hamming}(N)$ | % 改进升余弦窗 |
| (5) 布莱克曼窗 | $w_n = \text{blackman}(N)$ | |
| (6) 凯塞-贝塞尔窗 | $w_n = \text{kaiser}(N, \text{beta})$ | % 参数可调 |

P230 表 7.2.2.

旁瓣

表 7.2.2 P230

旁瓣峰值 a_n 过渡带宽度 B_g 阻带最小衰减 a_s



a_n, a_s 的减小是以过渡带宽度 B_g 变宽为代价的

$$B_g = \frac{\lambda_p - \lambda_s}{N} \Rightarrow N$$