

IIR 数字滤波器的设计_函数说明

实验目的

1.理解数字滤波器的基本概念，掌握模拟低通滤波器设计方法，理解 IIR 滤波器的各种类型，掌握 IIR 低通、高通、带通和带阻滤波器设计方法，掌握 IIR 滤波器性能分析方法。

2.Matlab 编程实现巴特沃斯法、切比雪夫 I、切比雪夫 II、椭圆法的数字滤波器的设计，并对通过仿真验证其滤波效果。

Matlab 信号工具箱提供了几个直接设计 IIR 数字滤波器的函数，直接调用这些函数就可以很方便地对滤波器进行设计。

设计数字滤波器的函数如下：

一、巴特沃斯 IIR 滤波器的设计

1.buttord 函数

buttord 函数可在给定滤波器性能的情况下，求出巴特沃斯滤波器的最小阶数 n ，同时给出对应的截止频率 W_n 。

buttord 函数的用法为：

$[n, W_c] = \text{buttord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$

其中 W_p 和 W_s 分别是通带和阻带的截止频率，都是归一化频率，其取值范围为 0 至 1 之间。当其值为 1 时代表采样频率的一半。当采样频率为 f 时，奈奎斯特频率为 $f/2$ ，

$$\omega_p = \frac{f_p}{f/2}, \omega_s = \frac{f_s}{f/2}$$

R_p 和 R_s 分别是通带和阻带区的波纹系数。

不同类型（高通、低通、带通和带阻）滤波器对应的 W_p 和

Ws 值遵循以下规则：

高通滤波器：Wp 和 Ws 为一元矢量且 $W_p > W_s$ ；

低通滤波器：Wp 和 Ws 为一元矢量且 $W_p < W_s$ ；

带通滤波器：Wp 和 Ws 为二元矢量，如 $W_p=[0.2,0.7], W_s=[0.1,0.8]$ ；

带阻滤波器：Wp 和 Ws 为二元矢量，如 $W_p=[0.1,0.8], W_s=[0.2,0.7]$ 。

2.butter 函数

在 MATLAB 下，设计巴特沃斯 IIR 滤波器可使用 butter 函数。Butter 函数可设计低通、高通、带通和带阻的数字和模拟 IIR 滤波器，其特性为使通带内的幅度响应最大限度地平坦，但同时损失截止频率处的下降斜度。在期望通带平滑的情况下，可使用 butter 函数。butter 函数的用法为：

[b,a]=butter(n,Wc,'ftype')

计算 N 阶巴特沃斯数字滤波器系统函数分子、分母多项式的系数向量 b、a；n 代表滤波器阶数，Wn 是 3dB 截止频率的归一化值（关于 pi 归一化），一般是调用 buttord 格式计算 n 和 wc。系数 b、a 是按照 z^{-1} 的升幂排列。

返回长度为 n+1 的滤波器系数行向量 b 和 a，

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(0) + b(1)z^{-1} + \dots + b(n)z^{-n}}{1 + a(1)z^{-1} + \dots + a(n)z^{-n}}$$

ftype=high，高通

ftype=high, 带阻

ftype 缺省时, **Wc** 只有一个值时, 默认为低通; **Wc**

(**[Wc1,Wc2]**) 为两个值, 分别为滤波器的通带 3dB 下截止频率和上截止频率, 默认为带通。注意, 所设计的带通和带阻滤波器的阶数为 $2N$, 因为带通滤波器相当于 N 阶低通滤波器与 N 阶高通滤波器级联。

'ftype' = 'high' 高通滤波器

'ftype' = 'stop' 带阻滤波器

(3) buttap (N)

[z0, p0, k0]=buttap(N)

用于计算 N 阶巴特沃斯归一化 (3dB 截止频率 $\Omega_c=1$) 模拟低通原型滤波器系统函数的零、极点和增益因子。

(4) zp2tf (z0, p0, k0)

[b, a]=zp2tf (z0, p0, k0)

从零、极点模型得到系统函数的分子、分母多项式系数向量 **b**、**a**,

二、契比雪夫型 IIR 滤波器

在期望通带下降斜率大的场合, 应使用椭圆滤波器或契比雪夫滤波器。在 MATLAB 下可使用 **cheby1** 函数设计出契比雪夫 I 型 IIR 滤波器。 **cheby1** 函数可设计低通、高通、带通和带阻契比雪夫 I 型 IIR 滤波器, 其通带内为等波纹, 阻带内为单调。契比雪夫 I 型的下降斜度比 II 型大, 但其代价是通

带内波纹较大。

cheby1函数的用法为：

[n,Wc]=cheblord(Wp,Ws,Rp,Rs)

[b,a]=cheby1(n,Rp,Wc,/ftype/)

Cheby2函数的用法为：

[n,Wc]=cheb2ord(Wp,Ws,Rp,Rs)

[b,a]=cheby2(n,Rp,Wc,/ftype/)

三、椭圆滤波器的设计

调用格式：**[n,Wc] = ellipord(Wp,Ws,Rp,Rs)**

[b,a] = ellip(n,Rp,Rs,Wc)

[b,a] = ellip(n,Rp,Rs,Wc,'ftype')

四、freqz 函数

(1) **[h, w] = freqz(b, a, n, fs)**

输入：

传递函数写成关于 e^{jw} 的有理分式形式

b: 分子多项式

a: 分母多项式

n: 频域响应函数在0到 π 以内的均匀采样数，缺省值为512

输出：

h: 频率响应向量，长度为 n。

w: 为对应的角频率向量($0 \leq w < \pi$), (n 点, 且单位为弧度),

两者长度均为 n。

(2) $[h, w] = \text{freqz}(\text{num}, \text{den}, n, 'whole')$

角频率向量变为 $(0 \leq w < 2\pi)$ 。返回量 h 则包含了离散系统频响在 $0 \sim 2\pi$ 范围内 n 个频率等分点的值

(3) $[h, w] = \text{freqz}(\text{num}, \text{den}, n, fs)$

w 变为归一化频率所对应的模拟频率, fs 为采样频率大小,

$(0 \leq w < fs/2)$

**** $2\pi = (2\pi/T_s) \cdot T_s = fs \cdot T_s$, $\pi = (fs/2) \cdot T_s$, 即 $\pi \leftrightarrow fs/2$**

(4) $[h, w] = \text{freqz}(\text{num}, \text{den}, n, 'whole', fs)$

改变为 $0 \leq w < fs$ 。

(5) $\text{freqz}(b, a)$

直接给出频率响应的幅度图和相位图(unwrapped), 横坐标都是归一化频率, 幅值单位 dB, 相位单位 degree。

(6) Filter

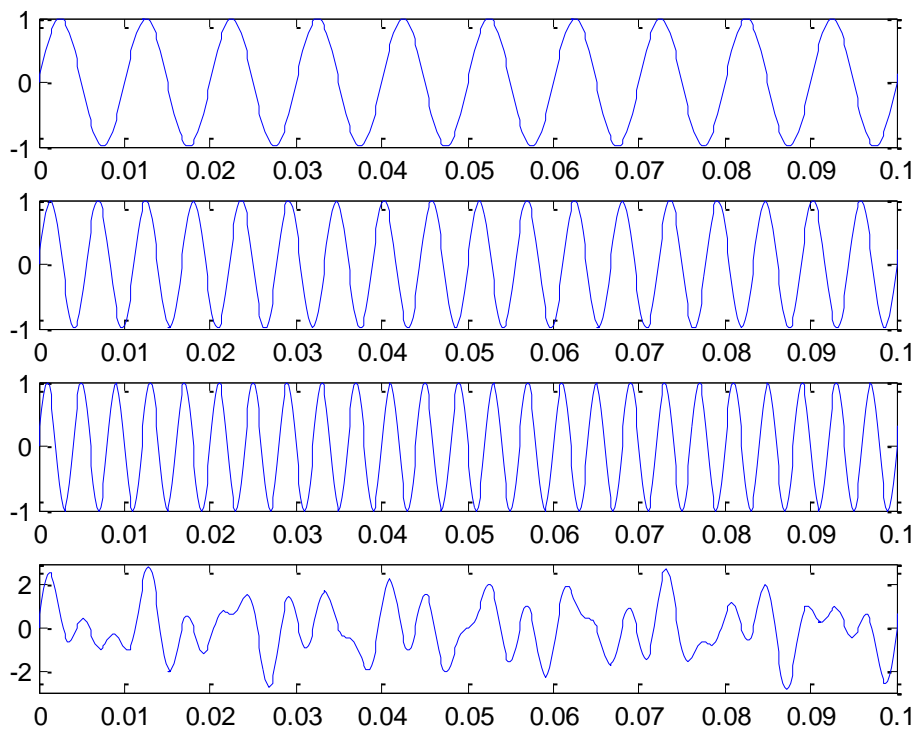
函数 filter

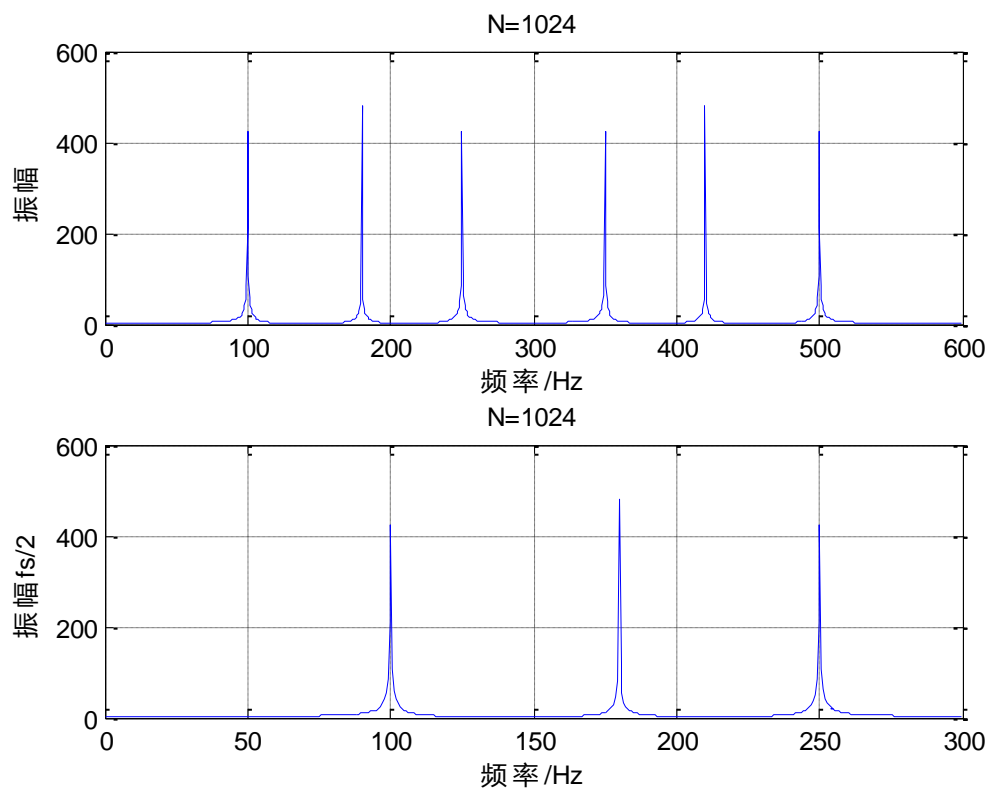
函数 filter 的调用格式为 $y = \text{filter}(b, a, x)$

该格式采用数字滤波器对数据进行滤波, 既可以用于 IIR 滤波器, 也可以用于 FIR 滤波器。其中向量 b 和 a 分别表示系统函数的分子、分母多项式的系数, 若 $a=1$, 此时表示 FIR 滤波器, 否则就是 IIR 滤波器。该函数是利用给出的向量 b 和 a , 对 x 中的数据进行滤波, 结果放入向量 y 。

实验内容

假定信号的采样频率是600 Hz(?), 输入信号的频率为100 Hz, 180 Hz 和250 Hz 的合成正弦波信号





思考题：

对巴特沃兹、切比雪夫、椭圆滤波器滤波器的滤波性能比较，说明各自的特点。

模拟频率、数字频率、模拟角频率

概念：

模拟频率 f ：每秒经历多少个周期，单位 Hz，即 $1/s$ ；

模拟角频率 Ω ：每秒经历多少弧度，单位 rad/s ；

数字频率 w ：每个采样点间隔之间的弧度，单位 rad 。

关系：

$$\Omega = 2\pi f;$$

$$w = \Omega T。$$