

### 1. 如果给出数字低通滤波器的技术要求，如何进行 IIR 数字滤波器的设计？（P232）

- 1.将给定的数字滤波器的性能指标，按照某一映射规则（双线性变换法，冲激响应不变法等）转换成相应的模拟滤波器性能指标；
- 2.用所得到的模拟滤波器的性能指标，利用某种模拟滤波器逼近方法，设计并实现模拟滤波器系统函数；
- 3.利用同一变换规则，将模拟低通滤波器的系统函数转换为数字滤波器的系统函数；

### 2. 有限长序列的线性卷积、周期卷积核循环卷积三者的区别是什么？

	线性卷积	周期卷积	循环/圆周卷积
作用对象	求象形系统的输出，为输入信号与系统冲击响应线性卷积	求取周期序列的 DFS 系数	求取有限长序列的 DFT 系数
序列长度要求	两序列长度可以不等	两序列都为周期为 N 的序列	两序列长度相等，不等时补 0
结果长度	等于 $N_1+N_2-1$	周期为 N 的序列	等于 N

其他关系：

- 1.周期卷积等于圆周卷积的周期延拓；圆周卷积是周期卷积的主值序列
- 2.当圆周卷积长度  $L \geq N_1+N_2-1$  时，线性卷积和圆周卷积相同

### 3. FIR 线性相位滤波器的约束条件是什么？有什么应用？

约束条件：

$h(n)=h(N-1-n), 0 \leq n \leq N-1$			
$\theta(w)=-\tau w$	h(n)关于 $n=(N-1)/2$ 偶对称	N 为奇数	幅度函数 $H(w)$ 对 $w=0, \pi, 2\pi$ 偶对称
		N 为偶数	幅度函数 $H(w)$ 对 $w=0, 2\pi$ 偶对称, 对 $w=\pi$ 奇对称
$h(n)=-h(N-1-n), 0 \leq n \leq N-1$			
$\theta(w)=\beta-\tau w$	h(n)关于 $n=(N-1)/2$ 奇对称	N 为奇数	幅度函数 $H(w)$ 对 $w=0, \pi, 2\pi$ 奇对称
		N 为偶数	幅度函数 $H(w)$ 对 $w=0, 2\pi$ 奇对称, 对 $w=\pi$ 偶对称

应用：

由于 FIR 可以设计成严格线性相位的且同时可以具有任意的幅度特性，因此在语音处理、图像处理以及数据传输这种要求严格线性相位的领域有着较好的应用

### 4. IIR 能不能具有线性相位，如果没有，如何改善？

- 不能；  
采用全通系统进行相位矫正

5. 数字信号处理中数据采集时需要考虑哪些方面？

- 防止频谱混叠：应满足奈奎斯特抽样定律  $f_s \geq 2f_h$
- 若对采样信号分辨率有要求且防止栅栏效应，应提高采样频率，增加采样点。

6. 判断一个输入输出关系的系统线性和时不变性

线性：满足叠加性

时（移）不变性：输入输出的运算关系不随时间变化

7. 加窗处理对理想矩形频率响应（理想低通）的影响有哪些？

- 使理想频率特性不连续点处边沿加宽，形成一个过渡带，过渡带的宽度等于窗的响应频率的主瓣宽度，使得截止频率增加
- 在截止频率出现  $H(w)$  最大肩峰值，尖峰的两侧形成起伏振荡（振铃效应）
- 截取长度  $N$  对理想矩形频率响应的影响：改变主瓣宽度， $w$  坐标的比例，最大肩峰值。但是不会改变最大相对肩峰值。

8. 如何采用窗函数设计 FIR 滤波器（设计步骤）？

1. 给出希望设计的滤波器的频率响应函数  $H_d(e^{jw})$ 。
2. 根据允许的过渡带宽及阻带衰减，选定窗函数和  $N$  值。
3. 计算 
$$h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_d(e^{jw}) e^{jwn} dw$$
4. 如果  $H_d(e^{jw})$  不能用简单函数表示，可以用求和代替积分

$$\tilde{h}_d(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} H_d(e^{j\frac{2\pi}{M}k}) e^{j\frac{2\pi}{M}kn}$$

5. 将  $\tilde{h}_d(n)$  与窗函数相乘得 FIR 数字滤波器的冲激响应  $h(n)$
6. 计算 FIR 数字滤波器的频率响应，并验证是否达到所要求指标

9. 已知  $x_1(n) = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}$ ， $x_2(n) = \{a_4, a_5, a_6, a_7, a_0, a_1, a_2, a_3\}$ ，他们的 DFT 为  $X_1(k)$ ， $X_2(k)$ 。试求两者之间的关系。

略

$$X_2(k) = W_2^{-k} X_1(k)$$

10. 序列  $x_1(n) = 0, n \geq 20$ ， $x_2(n) = 0, n \geq 30$ ，各作其 30 点 DFT，然后相乘，再求逆 DFT，试问其中哪些点与线性卷积中的点相等。

略  $19 \leq n \leq 29$

思路： $x_1$  和  $x_2$  的 30 点 DFT 卷积。在  $x_2$  进行线性卷积时，在位移至  $x_1$  最大处时，开

始出现相等序列。注意  $n$  的取值范围 ( $0 \sim L-1$ )

**11. 用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器的优点是什么？是否都要进行“预畸”校正？**

不再是多值映射，而是单值变换，避免了频率响应的混叠现象。

对于分段常数的滤波器，在双线性变换后临界点发生畸变时才需要用到预畸校正。

**12. 用频率抽样设计发设计 FIR 数字滤波器，能否靠增大  $N$  来改善滤波器的特性？增大  $N$ ，滤波器的特性如何发生改变？有什么解决这一问题的方法？**

当然可以

增大  $N$  可以减小过渡带宽，增大阻带衰减（更加接近理想滤波器）但是阶次提高了，运算量增加。

可以通过在通带和阻带交界处插入一个或几个不等于 0 和 1 的抽样值，可以增大阻带衰减，但是会增加过渡带宽

**13. 什么是频谱中的频谱泄露？是给出减少频谱泄露的措施。**

信号为无限长序列，运算需要截取其中一部分（截断），于是需要加窗函数，加了窗函数相当于时域相乘，于是相当于频域卷积，于是频谱中除了本来该有的主瓣之外，还会出现本不该有的旁瓣，这就是频谱泄露

**措施：**

- 选取更长的数据（窗宽加长）
- 不要突然截断，加各种缓变的窗

**14. 什么是 DFT 中栅栏效应现象？解和所学内容，是给出减少栅栏效应的策略。**

因为 DFT 计算频谱只限制在离散点上的频谱，也就是只限制为基频  $F_0$  的整数倍处的谱，而不是连续频率函数，这就像通过“栅栏”观看景象一样，只能在离散点的地方看到真实景象，把这种现象称为“栅栏效应”。

**策略：**

- 在时域末尾补零，可以增加频域抽样点数  $N$ ，可以在不改变是与数据的情况下，使频域谱线更密。
- 提高基频  $F_0$

**15. 用模拟滤波器设计 IIR 数字滤波器的原理是什么？冲击响应不变法有什么优缺点？**

**原理：**使数字滤波器的单位冲激响应序列  $h(n)$  模仿模拟滤波器的单位冲激响应  $h_a(n)$

**优点：**

- 时域逼近良好
- 模拟频率和数字频率之间呈线性关系，线性相位模拟滤波器映射为线性相位数字滤波器

**缺点：**

产生频率响应混叠效应，只适用于有限带宽模拟滤波器。

16. 全通系统虽不改变频率响应的幅度但很重要，试阐述其在数字滤波器中的应用。

- 任何一个因果稳定（非最小相位延时）系统  $H(z)$  都可表示成全通系统  $H_{ap}(z)$  和最小相位延时系统  $H_{min}(z)$  的级联；
- 如果设计出来的滤波器是非因果的，可以用级联全通函数的方法将其变成一个因果滤波器
- 可以作为相位均衡器（群延时均衡器）用，例如校正 IIR 滤波器的非线性相位

17. 描述 IIR 和 FIR 的各自特点和应用。

**IIR 特点：**

- 系统函数可以写成封闭函数的形式
- IIR 数字滤波器采用递归型结构
- 在设计上可以借助成熟的模拟滤波器的成果，计算工作量较小
- 相位特性不好控制，对相位要求较高时需要加相位校准网络

**FIR 特点：**

- FIR 单位响应是有限的
- FIR 滤波器主要采用非递归结构，不存在稳定性问题，运算误差也较小
- 没有现成的设计公式，计算工作量较大
- FIR 是线性相位，不同频率分量的信号经过 FIR 后时间差不变

**应用：**

IIR：设计规格化的、频率特性为分段常数的标准低通、高通、带通、带阻和全通滤波器；

FIR：设计出理想正交变换器、理想微分器、线性调频器等各种网络，适应性较广

18. 最小相位延时系统具有什么特点，有什么应用？

**特点：**

1. 在幅度相应相同的系统中，最小相位延时系统有最小的相位滞后
2. 最小相位延时系统的能量集中在  $n=0$  附近
3. 最小相位延时系统的最小相位序列  $h_{min}(0)$  最大
4. 在幅度响应相同的系统中，最小相位延时系统具有最小的群延时
5. 在幅度响应相同的系统中，只有唯一的最小相位延时系统
6. 利用级联全通函数的方法，可以将最小相位延时系统的零点反射到单位圆外

**应用：**

由于最小相位系统的响应速度较快，因此在制导，报警系统中有所应用

19. 给出两种提高（频域）分辨率的解决方案或算法，并加以阐述。

- 增加抽样点数以减少谱线的间隔，提高矩形窗的长度或者采用合适的窗函数，使频谱的主瓣变窄，进而提高分辨率；
- ZoomFFT 算法：通过降低采样频率（前提是不混叠），采样点数不变，来提高所关心频段的频率分辨率，主要步骤有：
  - 移频：将频率原点由 0 移动到需要细化的频率  $f$ ；
  - 抗混叠滤波：用低通滤波器对移频后的数据进行滤波；
  - 对滤波后数据重采样；

- 对数据进行复 FFT 处理;
- 频率调整

20. 阐述如何得到一个信号的 DTFT, 以及其与 FT、ZT、DFS、DFT 几种变换之间的关系。

如何得到信号的 DTFT:

1. 定义式  $X_{2\pi}(w) = \sum_{-\infty}^{\infty} x[n]e^{-jwn}$
2. 通过 Z 变换, 令  $Z=e^{-jw}$
3. 利用 DFT 逼近 DTFT

关系:

- FT: DTFT 是 FT 的离散形式, 对应离散信号的傅里叶变换
- ZT: DTFT 是抽样序列在单位圆上的 ZT
- DFS: DFS 是周期序列一个周期的 DTFT 等间隔的抽样值, 相当于单位元上 ZT 的等间隔抽样
- DFT: 在 DFS 的基础上 (等间隔采样) 后的变换

21. 语音信号处理时通常先进行分帧和加窗, 这是为什么?

- 分帧: 语音信号是时变的, 是一个非平稳的过程, 无法用处理平稳信号的数字信号处理技术对其进行分析处理。但其在微观上是平稳的, 具有短时平稳性, 将语音信号分为一些短段来处理, 即可用 DSP 技术进行分析。
- 加窗: 将长时间的语音信号序列截断, 分帧每一帧的起始段和末尾端会出现不连续的地方, 所以分帧越多与原始信号的误差也就越大。加窗使分帧后的信号连续, 降低误差。

22. FIR 滤波器频率抽样设计有什么特点, 有什么改善措施?

特点:

优点:

可以在频域直接涉及。

缺点:

- 抽样频率由于要满足第一第二中抽样频率, 因此不能确保截止频率的自由取值
- 采用频率抽样法设计的 FIR 数字滤波器在阻带内的衰减很小, 在实际应用中往往达不到要求。产生这种现象的原因是由于在通带边缘采样点的陡然变化而引起的起伏振荡。

改善措施:

- 在通带和阻带的边界处增加一些过渡的采样点, 从而减小频带边缘的突变, 也就减小了起伏 振荡, 增大了阻带最小衰减
- 增大采样点的个数 N

### 23. 数字滤波器的技术要求有哪些？

- 特征频率：通带截止频率、阻带截止频率等
- 增益与衰耗
- 阻尼系数与品质因数
- 灵敏度
- 群延时函数