信号与系统 Cheat Sheet

1 概念 & 时域分析

1.1 欧拉公式

$$e^{jx} = \cos x + j\sin x \implies \begin{cases} \cos x = \frac{1}{2}(e^{jx} + e^{-jx}) \\ \sin x = \frac{1}{2j}(e^{jx} - e^{-jx}) \end{cases}$$

1.2 冲激函数

加权 $f(t)\delta(t-t_0) = f(t_0)\delta(t-t_0)$

抽样 $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t-t_0)\,dt = f(t_0)$

尺度 $\delta(at) = \frac{1}{a}\delta(t)$

1.3 卷积

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)h(t-\tau)\,d\tau \quad \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f[k]h[n-k]$$

矩形波：上底 宽−窄，下底 宽+窄，高为窄门面积乘以宽门的高

$f(t)*u(t) = \int_{-\infty}^{t} f(\tau)\,dt$; $f(t)*\delta(t) = f(t)$;

$f(t)*\delta'(t) = f'(t)$

1.4 系统

因果 输出只和当前输入与之前的输入有关

稳定 有界输入产生有界输出

时不变 输入发生时移，输出发生同样时移

增量线性 零状态与输入成线性；零输入与零状态成线性。

2 CFT

$$\mathcal{F}[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t}\,dt$$

$$\mathcal{F}^{-1}[F(\omega)] = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)e^{j\omega t}\,d\omega$$

2.1 FT 常用变换对

$$\begin{aligned}
e^{\alpha t}u(t) &\longleftrightarrow \tfrac{1}{\alpha+j\omega} \\
e^{-\alpha|t|} &\longleftrightarrow \tfrac{2\alpha}{\alpha^2+\omega^2} \\
\mathrm{sgn}(t) &\longleftrightarrow \tfrac{2}{j\omega} \\
u(t) &\longleftrightarrow \pi\delta(\omega) + \tfrac{1}{j\omega} \\
\delta(t) &\longleftrightarrow 1 \\
1 &\longleftrightarrow 2\pi\delta(\omega) \\
\delta'(t) &\longleftrightarrow j\omega
\end{aligned}$$

矩形	$Eu\left(t-\frac{\tau}{2}\right) - \sim$	$\leftrightarrow$	$E\tau\,\mathrm{Sa}\,\frac{\omega\tau}{2}$
三角	$E\left(1-\frac{2\lvert t\rvert}{\tau}\right)$	$\leftrightarrow$	$\frac{E\tau}{2}\mathrm{Sa}^2\,\frac{\omega\tau}{4}$
升余弦	$\frac{E}{2}\left[1+\cos\frac{\omega t}{2}\right]$	$\leftrightarrow$	$\frac{E\tau}{2}\cdot\frac{\mathrm{Sa}\,\frac{\omega\tau}{2}}{1-\left(\frac{\omega\tau}{2\pi}\right)^2}$
高斯	$Ee^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$	$\leftrightarrow$	$\sqrt{\pi}E\tau e^{-\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)^2}$

2.2 FT 性质

线性 $\sum_{i=1}^{n} a_i f_i(t) \leftrightarrow \sum_{i=1}^{n} a_i F_i(\omega)$

奇偶虚实

比例 $f(at) \leftrightarrow \frac{1}{|a|}F\left(\frac{\omega}{a}\right)$

时移 $f(t-t_0) \leftrightarrow F(\omega)e^{-j\omega t_0}$

幅度谱不变，相位谱线性增加

频移 $f(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow F(\omega-\omega_0)$

微分 $\left(\frac{d}{dt}\right)^n f(t) \leftrightarrow (j\omega)^n F(\omega)$

$(-jt)^n f(t) \leftrightarrow \left(\frac{d}{dt}\right)^n F(\omega)$

积分 $\int_{-\infty}^{t} f(\tau)\,d\tau \leftrightarrow \frac{F(\omega)}{j\omega} + \pi F(0)\delta(\omega)$

$F(0)$ 对应直流分量

有限时宽：$\int_{-\infty}^{+\infty} f^{(n)}(t)\,dt = 0$

卷积 $f_1(t)*f_2(t) \longleftrightarrow F_1(\omega)F_2(\omega)$

$f_1(t)f_2(t) \longleftrightarrow \frac{1}{2\pi}F_1(\omega)*F_2(\omega)$

对偶 $F(t) \longleftrightarrow 2\pi f(-\omega)$

帕斯瓦尔 能量守恒，$\|X(\omega)\|^2$ 为能量密度谱

$\int_{-\infty}^{+\infty} \|x(t)\|^2\,dt = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \|X(\omega)\|^2\,d\omega$

2.3 周期信号 FT

正余弦 $\cos\omega_1 t \leftrightarrow \pi[\delta(\omega+\omega_1) + \delta(\omega-\omega_1)]$

$\sin\omega_1 t \leftrightarrow j\pi[\delta(\omega+\omega_1) - \delta(\omega-\omega_1)]$

一般 $f(t) \leftrightarrow \dfrac{2\pi}{T_1}\displaystyle\sum_{n=-\infty}^{+\infty} F_0(\omega)\delta(\omega-n\omega_1)$

2.4 讨论

光滑：$|F(\omega)|$ 与 ω^n 成反比，则 $n-1$ 阶导不连续。

矩形；三角，余弦全波整流；升余弦

频谱长度：多项式-指数-有限长，逐渐增加。

希尔伯特：相移器，虚实满足，则因果。

信号面积：$F(0)$

结构信息：相位谱

3 应用

3.1 调制

正弦 $\cos\omega_c t$，$Y(\omega) = \frac{1}{2}[F(\omega+\omega_c) + F(\omega-\omega_c)]$

判断重叠：$\omega_c > \omega_m$

复指数 $e^{j\omega_c t}$，$Y(\omega) = F(\omega-\omega_c)$

解调 再乘 $\cos\omega_c t$，低通滤波，逆变换。

$\omega_m < B < 2\omega_c - \omega_m$

3.2 采样

周期延拓。

理想 $\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty}\delta(t-nT_s)$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{2\pi}f(t)*\mathcal{F}[\delta_T(t)] = \frac{1}{T_s}\sum_{n=-\infty}^{+\infty}F(\omega-n\omega_s)$$

矩形 $P(\omega) = 2\pi\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\frac{E\tau}{T_s}\mathrm{Sa}\left(\frac{n\omega_s\tau}{2}\right)\delta(\omega-n\omega_s)$

$$F_s(\omega) = \frac{E\tau}{T_s}\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\mathrm{Sa}\left(\frac{n\omega_s\tau}{2}\right)F(\omega-n\omega_s)$$

不混叠，$f_s > 2f_m$，f_m 为奈奎斯特频率

4 LT 和 ZT

$$F(s) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-st}\,dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(s)e^{st}\,ds$$

4.1 LT 常用变换对

$$\begin{aligned}
u(t) &\longleftrightarrow \tfrac{1}{s} \\
t &\longleftrightarrow \tfrac{1}{s^2} \\
t^n &\longleftrightarrow \tfrac{n!}{s^{n+1}} \\
e^{-\alpha t} &\longleftrightarrow \tfrac{1}{s+\alpha} \\
te^{-\alpha t} &\longleftrightarrow \tfrac{1}{(s+\alpha)^2} \\
t^n e^{-\alpha t} &\longleftrightarrow \tfrac{(-1)^n n!}{(s+\alpha)^{n+1}} \\
\sin\omega t &\longleftrightarrow \tfrac{\omega}{s^2+\omega^2} \\
\cos\omega t &\longleftrightarrow \tfrac{s}{s^2+\omega^2} \\
\delta(t) &\longleftrightarrow 1 \\
\delta(t-t_0) &\longleftrightarrow e^{-st_0} \\
\delta'(t) &\longleftrightarrow s
\end{aligned}$$

$e^{-\alpha t}\sin\omega t \longleftrightarrow \frac{\omega}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$

4.2 收敛域

1. 有始有终，能量有限（单脉冲）：整个 s 平面
2. 周期/直流：$\sigma_0 = 0$，稍微衰减一下就行
3. $f(t) = t^n$：$\sigma_0 = 0$，指数增长速度
4. e^{at}：$\sigma_0 = a$
5. e^{t^2} 等：无限时间范围不存在 LT

4.3 LT 性质

该部分讨论单边 0_- 系统拉普拉斯变换

线性 $ax(t) + by(t) \leftrightarrow aX(s) + bY(s)$

比例变换 $f(at) \leftrightarrow \frac{1}{a}F\left(\frac{s}{a}\right)$

时移 $f(t-t_0)u(t-t_0) \leftrightarrow e^{-st_0}F(s)$

频移 $f(t)e^{-at} \leftrightarrow F(s+a)$

微分 $\dfrac{df(t)}{dt} \leftrightarrow sF(s) - f(0)$，$-tf(t) \leftrightarrow F'(s)$

其中 $f(0) = f(0_-)$，不连续时会出现 $\delta(t)$

$f^{(n)}(t) \leftrightarrow s^nF(s) - s^{n-1}f(0_-) - \cdots - f^{(n-1)}(0_-)$

$-tf(t) \leftrightarrow F'(s)$

积分 $\displaystyle\int_{-\infty}^{t} f(\tau)\,d\tau \leftrightarrow \frac{F(s)}{s} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s}$

$\frac{f(t)}{t} \leftrightarrow \int_s^{\infty} F(s)\,ds$

其中 $f^{(-1)}(0) = \int_{-\infty}^{0} f(\tau)\,d\tau$

卷积 $x(t)*y(t) \leftrightarrow X(s)Y(s)$ 因果信号

$x(t)y(t) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi j}[X(s)*Y(s)]$

$= \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} X(p)Y(s-p)\,dp$

4.4 周期信号 LT

$$x(t) = x_1(t)*\sum_{n=0}^{\infty}\delta(t-nT) \leftrightarrow \frac{X_1(s)}{1-e^{-sT}}$$

4.5 LT 初值终值

要求：$f(t)$ 因果信号，$t = 0$ 无跳变

初值 $\lim_{t\to 0_+} f(t) = f(0_+) = \lim_{s\to\infty} sF(s)$

要求 $F(s)$ 为真分式，含 e^{-s} 的用时移搞掉。

终值 $\lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{s\to 0} sF(s)$

要求极点全在左半平面，或仅有一阶 $p = 0$

$$X(z) = \mathcal{Z}[x[n]] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]z^{-n}$$

$$x[z] = \frac{1}{2\pi j}\oint_C X(z)z^{n-1}\,dz$$

4.6 ZT 常用变换对

$$\begin{aligned}
u[n] &\longleftrightarrow \tfrac{z}{z-1} \\
a^n &\longleftrightarrow \tfrac{z}{z-a} \\
n &\longleftrightarrow \tfrac{z}{(z-1)^2} \\
(n+1)a^n &\longleftrightarrow \tfrac{z^2}{z-a} \\
(n)a^{n-1} &\longleftrightarrow \tfrac{z}{(z-a)^2} \\
\delta[n] &\longleftrightarrow 1 \\
\cos(\omega_0 n) &\longleftrightarrow \tfrac{z\sin\omega_0}{z^2-2z\cos\omega_0+1} \\
\sin(\omega_0 n) &\longleftrightarrow \tfrac{z(z-\cos\omega_0)}{z^2-2z\cos\omega_0+1}
\end{aligned}$$

4.7 ZT 性质

线性

$$ax[n] + by[n] \leftrightarrow aX(z) + bY(z)$$

收敛域取交集；可能出现收敛边界处零点极点对消，扩大收敛域

移位

$$x[n-m] \leftrightarrow z^{-m}X(z)$$

收敛域不变。单边：$\mathcal{Z}[x[n-m]u[n]]$

$x[n-1] = z^{-1}X(z) + x[-1]$,

$x[n-2] = z^{-2}X(z) + z^{-1}x[-1] + z^{-2}x[-2]$

指数加权/z 域比例

$$a^n x[n] \leftrightarrow X\left(\frac{z}{a}\right)$$

收敛域比例扩大 $R_{x_-} < \left\|\frac{z}{a}\right\| < R_{x_+}$

$a^{-n}x[n] \leftrightarrow$, $(-1)^n x[n] \leftrightarrow X(-z)$

反褶

$$x[-n] \leftrightarrow X\left(\frac{1}{z}\right)$$

收敛域取倒数

补零扩展

$$x_{(k)}[n] \leftrightarrow X(z^k) \quad x_{(k)}[n] = \begin{cases} x[n/k], & \in \mathbb{Z} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

收敛域开方，会整出 k 个极点

$\sqrt[k]{R_{x_-}} < \|z\| < \sqrt[k]{R_{x_+}}$

微分

$$nx[n] \leftrightarrow -z\frac{d}{dz}X(z)$$

收敛域不变

共轭

$$x^*[n] \leftrightarrow X^*(z^*)$$

收敛域不变

时域卷积

$$x[n*y[n]] \leftrightarrow X(z)Y(z)$$

收敛域取交集

$\max(R_{x_-}, R_{y_-}) < \|z\| < \min(R_{x_+}, R_{y_+})$

z 域卷积

$$x[n]y[n] \leftrightarrow \frac{1}{2\pi j}\oint_C X(v)Y\left(\frac{z}{v}\right)v^{-1}\,dv$$

收敛域相乘 $R_{x_-}R_{y_-} < \|z\| < R_{x_+}R_{y_+}$

差分

$$x[n] - x[n-1] \longleftrightarrow (1-z^{-1})X(z)$$

收敛域不变

累加 $\sum_{m=-\infty}^{n} x[m] \longleftrightarrow \frac{1}{1-z^{-1}}X(z)$

4.8 ZT 初值终值

$x[n]$ 因果序列

初值 $x[0] = \lim_{z\to\infty} X(z)$ 广义：$x[m] =$

终值 $\lim_{n\to\infty} x[n] = \lim_{z\to 1}[(z-1)X(z)]$

要求极点都在单位圆内（可以有 $z = 1$）

4.9 部分分式

$A_0 = X(0)$, $A_1 = \left[(z-z_m)\frac{X(z)}{z}\right]_{z=z_m}$

$B_1 = \left[(z-z_m)^3\frac{X(z)}{z}\right]_{z=z_m}$: $\frac{B_1}{(z-z_m)^3}$

$B_2 = \left\{\frac{d}{dz}\left[(z-z_m)^3\frac{X(z)}{z}\right]\right\}_{z=z_m}$

$B_3 = \frac{1}{2!}\left\{\frac{d^2}{dz^2}\left[(z-z_m)^3\frac{X(z)}{z}\right]\right\}_{z=z_m}$ $X(s)$ 不用除 z

4.9.1 留数

$x[n] = X(z)z^{n-1}$ 在围线 C 内所有极点的留数和

$\mathrm{Res}[X(z)z^{n-1}]_{z=z_m} = [(z-z_m)X(z)z^{n-1}]_{z=z_m}$

s 阶 $= \frac{1}{(s-1)!}\left\{\frac{d^{s-1}}{dz^{s-1}}[(z-z_m)^s X(z)z^{n-1}]\right\}_{z=z_m}$

$X(s)$ 围线是 $\sigma \pm j\infty$ 及左边无限大圆弧

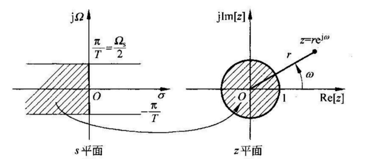
4.9.2 长除法

右边序列 - z 降幂

5 系统变换域分析

5.1 三大变换关系

z-s 映射 $z = e^{st} \implies \begin{matrix} r = e^{\sigma T} \\ \omega = \Omega T \end{matrix}$，T 为采样周期

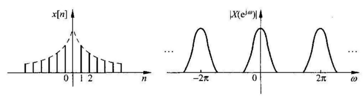


DTFT 单位圆上的 Z 变换

$\mathcal{F}[x[n]] = X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n]e^{-jn\omega}$

$x[n] = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega})e^{jn\omega}\,d\omega$

{1,2,3,4,5,6,7},N=5,{7,9,3,4,5}



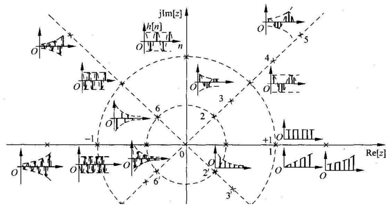
5.2 系统函数

$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad h[n] \leftrightarrow H(z)$

$h(t)\vert h[n]$	$H(s)$ 极点	$H(z)$ 极点
衰减	左半平面	单位圆内
阶跃	原点	单位圆实轴交点
等幅震荡	虚轴，共轭	单位圆上，共轭
增长	右半平面	单位圆外
直流	实轴	正实轴

稳定系统：收敛域包含单位圆/虚轴
离散因果：$z = \infty$ 收敛（分子阶 $\le$ 分母阶）
连续因果：$-\infty$ 收敛，因果因果稳定：极点全在单位圆内/左半平面

$h(t)$	$H(s)$ 极点	$H(z)$ 极点	稳定性
衰减	左半平面	单位圆内	稳定
增长	右半平面	单位圆外	不稳定
增长	虚轴上多重极点	单位圆上多重	不稳定
等幅震荡	虚轴，共轭	单位圆上共轭	临界
阶跃	零点	单位圆实轴交点	临界



靠近原点振幅下降；向 π 运动频率上升。

5.3 频率响应

$x[n] = e^{j\omega_0 n}$，$y[n] = x[n]H(e^{j\omega_0})$，$H$ 的 DTFT
$H(e^{j\omega_0}) = \|H(e^{j\omega_0})\| e^{j\varphi(\omega_0)}$，增益 + 相移

几何确定 $\left|\frac{H(e^{j\omega})}{K}\right| = \frac{\prod |Z_j|}{\prod |P_i|} = \frac{\text{零矢量模乘积}}{\text{极矢量模乘积}}$

$\varphi(\omega) = \sum \alpha_{z_j} - \sum \beta_{p_i} =$ 零矢幅角和 − 极矢幅角和

离散 矢量终点 A：$e^{j\omega}$，因此绕单位圆一周即可给出频响。（周期函数，$T = 2\pi$）

连续 $H(j\Omega)$，矢量终点 A 从零点开始沿虚轴运动。$0 \le \Omega < \infty$

5.4 相频特性

单位圆内的零点，每转一圈，$\Delta\varphi(\omega) = 2\pi$
单位圆外的零点，每转一圈，$\Delta\varphi(\omega) = 0$
最小相位：唯一。M 零点，2^M 个同幅频特性。

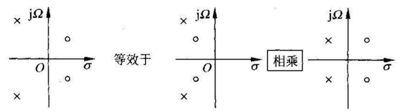
全通 $H_{ap}(z) = \frac{z^{-1} - z_0^*}{1 - z_0 z^{-1}}$

连续：零极点分别位于虚轴左右，关于虚轴对称

最小相位 单位圆外/右半平面无零点

每个周期内相频特性变化为零；可以和全通系统级联表示非最小相位系统；可逆；无负调现象。

因果最小相位 加上极点全在单位圆/左半平面



6 FFT

6.1 DFT

$\mathrm{DFS}[\tilde{x}[n]] = \widetilde{X}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{x}[n] W^{nk}$
$\mathrm{IDFS}[\widetilde{X}[k]] = \tilde{x}[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \widetilde{X}[k] W^{-nk}$

$$\mathrm{DFT}[x[n]] = X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W^{nk}, 0 \le k \le N-1$$

$$\mathrm{IDFT}[X[k]] = x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] W^{-nk}$$

$W_N = W = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$

矩阵序列：$R_N[n] = 1, n \in [0, N-1]$

数据采样参数

采样时间间隔：$T_s = \frac{1}{f_s} < \frac{1}{2 f_{\max}}$
采样总时间：频率分辨率 f_1，$T_1 \ge \frac{1}{f_1}$
采样数据点：$N = \frac{T_1}{T_s}$，向上取到 2^n

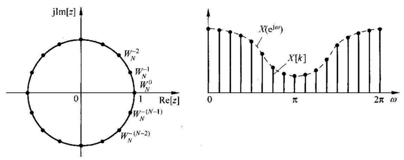


图 7.13 离散傅里叶变换与 Z 变换

6.2 圆卷积

$x[n](N)y[n] = \sum_{m=0}^{N-1} x[m] y((n-m))_N R_N[n]$
取反，取主值，相乘，叠加。
需要序列长度相等，补零。

1	2	3	4	5	0	0	
5	0	0	4	3	2	1	=36
4	5	0	0	3	2	1	=29

圆卷积 = 线卷积：都补零到 $L = N + M - 1$

6.3 DFT 性质

线性 $ax[n] + by[n] \leftrightarrow aX[k] + bY[k]$

圆移位 $x((n-m))_N R_N[n] \longleftrightarrow W^{mk} X[k]$

$x[n] \longrightarrow x((n-m))_N R_N[n]$ 右移 m

频域圆移位 $W^{nl} x[n] \longleftrightarrow X((k+l))_N R_N[k]$

频域圆卷积 $Y[k] = \frac{1}{N} X[k](N)H[k]$

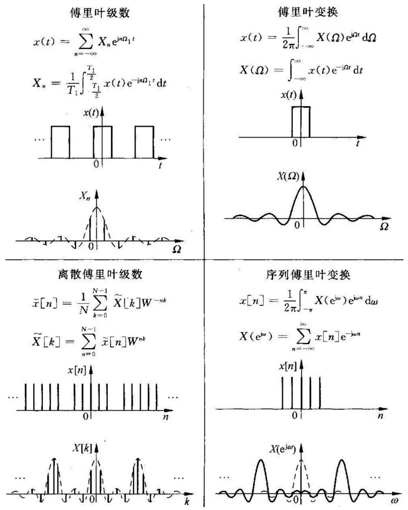
$x(n)$	$X(k)$	$x(n)$	$X(k)$
实函数	实部为偶、虚部为奇	虚函数	实部为奇、虚部为偶
实偶函数	实偶函数	虚偶函数	虚偶函数
实奇函数	虚奇函数	虚奇函数	实奇函数

6.4 FFT

DFT：每计算一个 $X[k]$，需要 N 次复数乘法和 $N-1$ 次复数加法；需要算 N 个。
FFT：复数乘法：$\frac{N}{2} \cdot \log_2 N$
复数加法：$N \cdot \log_2 N$

6.5 快速卷积

线：$M \times N$；$(M-1)(N-1)$
FFT：$L \ge M + N - 1$，取 2^n
$3 \times \frac{L}{2} \log_2 L + L$；$3 \times L \log_2 L$



7 滤波器

离散 $\|H(e^{j\omega})\|$ 偶函数 $T = 2\pi$，类型看 $[0, \pi]$
可实现性：$\int_{-\infty}^{+\infty} |H(j\Omega)|^2 < \infty$

7.1 IIR 设计

框图：$H(z)$ 上面是输入，下面是输出
脉冲响应不变：拉普拉斯反变化后采样，随后 z 变换 $H(s) \to h(t) \to h[n] \to H(z)$
适用部分分式，由于混叠，不适用高通。

$\frac{1}{s - p_k} \to \frac{1}{1 - e^{p_k T} z^{-1}}$

双线性：令 $s = \frac{2}{T} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$

7.2 FIR 设计

通带频率 ω_p，截止频率 ω_s 阻带衰减比率 AdB
归一化频率：$\Omega = \frac{2\pi\omega}{\omega_s}$，其中 ω_s 为采样频率

(1) 选择理想低通滤波器的带宽：$\Omega_1 = \frac{\Omega_s + \Omega_p}{2}$
(2) 根据衰减比率选择合适的加窗窗口；
(3) 根据过渡带 $\Omega_2 = \Omega_p - \Omega_s$ 确定滤波器的长度：$N = \frac{2\pi}{\Omega_2} \times R_w$，其中 R_w 是加窗对应的过渡带宽度系数；
(4) $h_d(n) = \frac{\sin[\Omega_1(n-a)]}{\pi(n-a)} \cdot W[n]$
其中 $a = N/2$，$W[n]$ 是窗口函数

8 总结

这一学期的课程让我收获良多。但由于参与了 2022 北京冬奥会及冬残奥会，我在 4 月 6 日才解除隔离返回学校。赛事服务期间的课程由于时间可能会产生冲突，我都是利用学堂在线的 MOOC 课程进行学习的。在学习过程中，我感觉 MOOC 的内容编排上提前介绍的内容太多，不是很“循序渐进”。比如第一章的系统分类，一下子摆出了所有的分类类型，一时间信息量有些过于庞大。我认为郑教授的书的处理方法会比较适合自学，第一章先介绍一小部分系统分类，剩下的留到第二章线性时不变系统的时候统一介绍。或许 MOOC 因为回放方便的特性，会被认为比较适合在短时间内讲述结构性强，知识密度高的内容，但我认为 MOOC 另一个重要的方面是方便同学们进行自学，也有必要考虑知识点引入的循序渐进。以上是我关于 MOOC 课程的一些小想法。

另外由于 4 月 6 日前未能参与课堂教学环节（有学校的假条），还得麻烦卓大大留意一下我的课堂参与分数。我也会在考试后单独联系您，看看怎么处理这一部分分数～

自 04 班 2020011633
chen-che20@mails.tsinghua.edu.cn

CalaW/SignalsAndSystem-CheetSheet