语音信号处理基础
习题及课程实验讲解

By 郭瀚杰

2024年12月13日

书面作业

作业1

第一题：

判断下述四个系统是否是线性/时不变系统

(a) $y[n] = 4x[n] + 1$

(b) $y[n] = x[n]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n + \frac{\pi}{8}\right)$

(c) $y[n] = (x[n])^2$

(d) $y[n] = \sum_{m=n-N}^{n} x[m]$

- Linearity (superposition)

  $$\mathrm{T}\{ax_1[n] + bx_2[n]\} = a\mathrm{T}\{x_1[n]\} + b\mathrm{T}\{x_2[n]\}$$

- Time-Invariance (shift-invariance)

  $$x_1[n] = x[n - n_d] \Rightarrow y_1[n] = y[n - n_d]$$

作业1

第一题：

a） $y[n] = 4x[n] + 1$

Non-linear

$$y[n] = f(x[n]) = 4x[n] + 1,$$

常数项导致非线性

$$f(ax_1[n] + bx_2[n]) = 4ax_1[n] + 4bx_2[n] + 1 \neq f(ax_1[n]) + f(bx_2[n])$$

Shift-invariant

$$y[n] = f(x[n]) = 4x[n] + 1,$$
$$f(x[n-k]) = 4x[n-k] + 1 = y[n-k]$$

b） $y[n] = x[n]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n + \frac{\pi}{8}\right)$

Linear

$$y[n] = f(x[n]) = x[n]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n + \frac{\pi}{8}\right)$$

$$f(ax_1[n] + bx_2[n]) = ax_1[n]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n + \frac{\pi}{8}\right) + bx_2[n]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n + \frac{\pi}{8}\right)$$
$$= f(ax_1[n]) + f(bx_2[n])$$

调制项影响时不变性质

Shift-variant

$$f(x[n-k]) = x[n-k]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n + \frac{\pi}{8}\right) \neq x[n-k]\sin\left(\frac{2\pi}{5}n - \frac{2\pi}{5}k + \frac{\pi}{8}\right)$$

作业1

第一题：

c） $y[n]=(x[n])^2$ 幂次导致非线性

Non-linear
$$y[n]=f(x[n])=(x[n])^2$$
$$f(ax_1[n]+bx_2[n])=(ax_1[n]+bx_2[n])^2\neq(ax_1[n])^2+(bx_2[n])^2$$

Shift-invariant $f(x[n-k])=(x[n-k])^2=y[n-k]$

d） $y[n]=\sum_{m=n-N}^{n}x[m]$

linear
$$y[n]=f(x[n])=\sum_{m=n-N}^{n}x[m]$$
$$f(ax_1[n]+bx_2[n])=a\sum_{m=n-N}^{n}x_1[m]+b\sum_{m=n-N}^{n}x_2[m]=f(ax_1[n])+f(bx_2[n])$$

Shift-invariant $f(x[n-k])=\sum_{m=n-k-N}^{n-k}x[m]=y(n-k)$

作业1

第二题：

求下述信号序列的Z变换和DTFT，并写出DTFT存在的条件

$$x[n]=\begin{cases} a^{n} & \mathrm{n} \geq n_0 \\ 0 & \mathrm{n} < n_0 \end{cases}$$

a). $X(z)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty} a^{n}u[n-n_0]z^{-n}=\sum_{n=n_0}^{+\infty} a^{n}z^{-n}=\dfrac{a^{n_0}z^{-n_0}\left[1-\left(\dfrac{a}{z}\right)^{+\infty}\right]}{1-az^{-1}}$

$when\,|z|>|a|, X(z)=\dfrac{a^{n_0}z^{-n_0}}{1-az^{-1}}$ 写明条件

b). $when\,|a|<1, the\ ROC\ includes\ the\ unit\ circle$

$let\ z=e^{jw}, X\left(e^{jw}\right)=\dfrac{a^{n_0}e^{-jn_0w}}{1-ae^{-jw}}$

作业1

第三题：

求差分方程$y[n]=\alpha y[n-1]+x[n]$描述的系统的相关问题

a). $z-transform: Y(z)=\alpha Y(z)z^{-1}+X(z)$

$$so\ \ Y(z)=X(z)\frac{1}{1-az^{-1}}$$

$$finally,\ H(z)=Y(z)/X(z)=\frac{1}{1-az^{-1}}$$

b). $for\ H(z)=\frac{1}{1-az^{-1}}, h[n]=a^n u[n], when |\alpha|<1$

c). $To\ be\ stable, \sum|h[n]|<\infty,$

$$it\ requires \sum_{n=0}^{+\infty}|a^n|=\left|\frac{a^{\infty}}{1-a}\right|<\infty, thus\ |\alpha|<1$$

作业1

第三题：

求差分方程$y[n] = \alpha y[n-1] + x[n]$描述的系统的相关问题

d). Assume that the input is obtained by sampling with period T . Determine the value of α such that

$$h[n] < e^{-1} \quad \text{for} \quad nT < 4\,m\sec$$

i.e., find the value of α that gives a time constant of 4msec.

As h[n] is Decreasing sequence, so $\begin{Bmatrix} h[n] = \alpha^n = e^{-1} \\ nT = 4ms \end{Bmatrix}$

$$a = \begin{Bmatrix} e^{-T/4}, if\ \ the\ \ T\ \ is\ \ measured\ \ on\ \ msecond \\ e^{-T/0.004} = e^{-250T}, if\ \ the\ \ T\ \ is\ \ measured\ \ on\ \ second \end{Bmatrix}$$

作业1

第四题：

关于10kHz采样频率的语音信号的1024点DFT。

- 关于频率分辨率F的计算
  - $T_p = \mathrm{NT}$ 为截断时间长度（T是采样周期，N是采样点数）
  - $F = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{\mathrm{NT}} = \frac{F_s}{N}$

a）. Duration = 1024/10000 = 102.4 ms

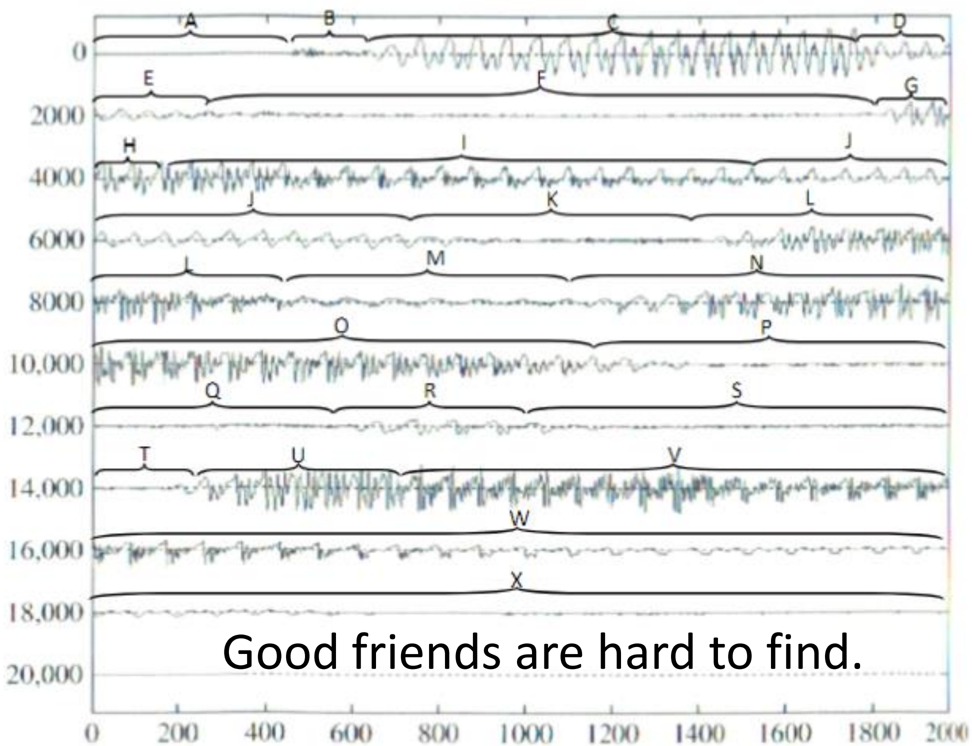
b）. Frequency Resolution = 10kHz / 1024 = 9.766 Hz

c）. 由上述公式可知频率分辨率本质上只和T_p有关。此时有效数据长度为512
补零只是增加谱线数，并没有增加有效数据的长度，亦不改变频率分辨率。
Duration = 512/10000 = 51.2 ms
Frequency Resolution = 10kHz / 512 = 19.531 Hz

作业2

第一题：

根据波形图判断清音段、浊音段、静音段。



S: A,X

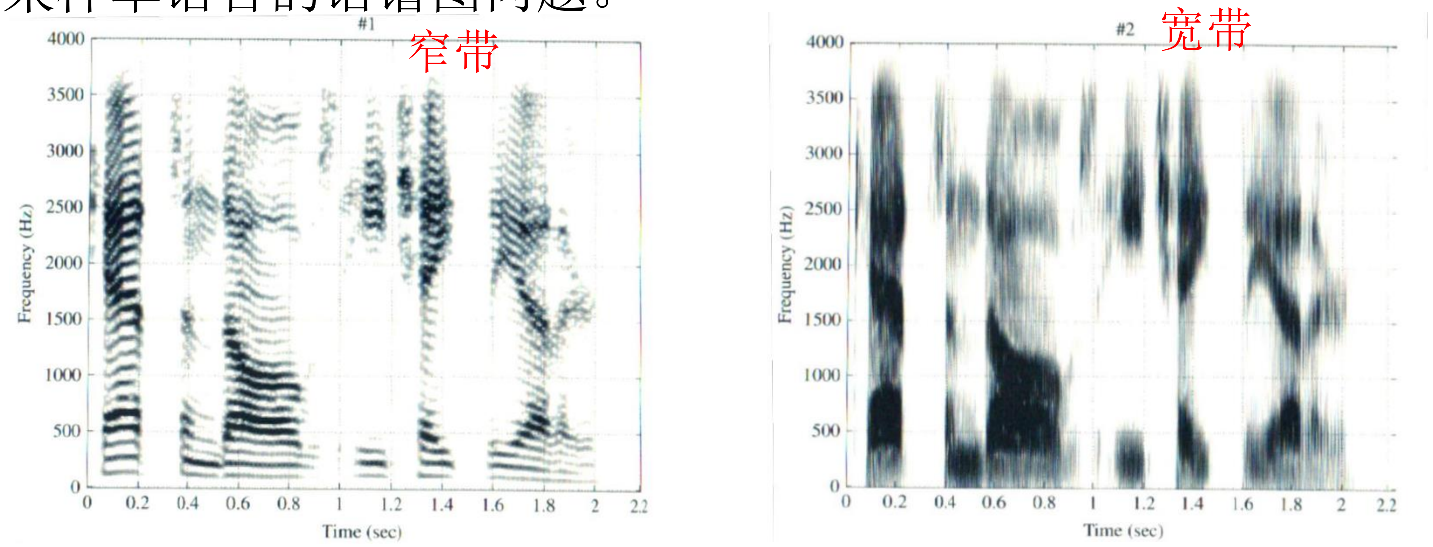
U: B,F,K,M,P,Q,S,T

V: C,D,E,G,H,I,J,L,N,O,R,U,V,W

作业2

第二题：

关于8kHz采样率语音的语谱图问题。



a)． #2

窄带语谱图(长窗)：清晰的显示谐波结构，反映基频的时变过程 ；

宽带语谱图(短窗)：清晰的显示共振峰结构和语谱图包络，能反映频谱的快速时变过程。

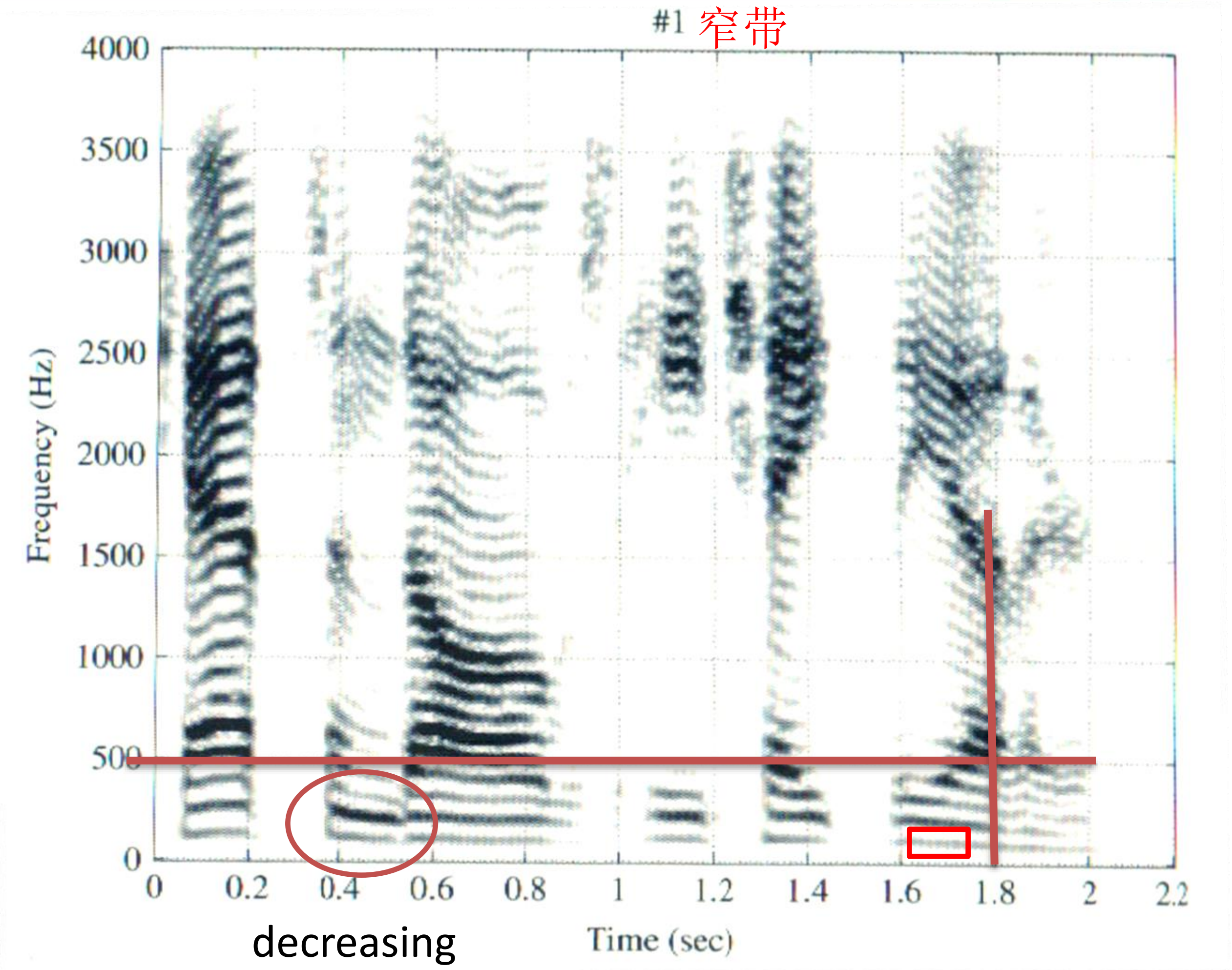
作业2

第二题：

关于8kHz采样率语音的语谱图问题。

b). 500/6=83.3Hz

c). Decreasing/Fairly constant



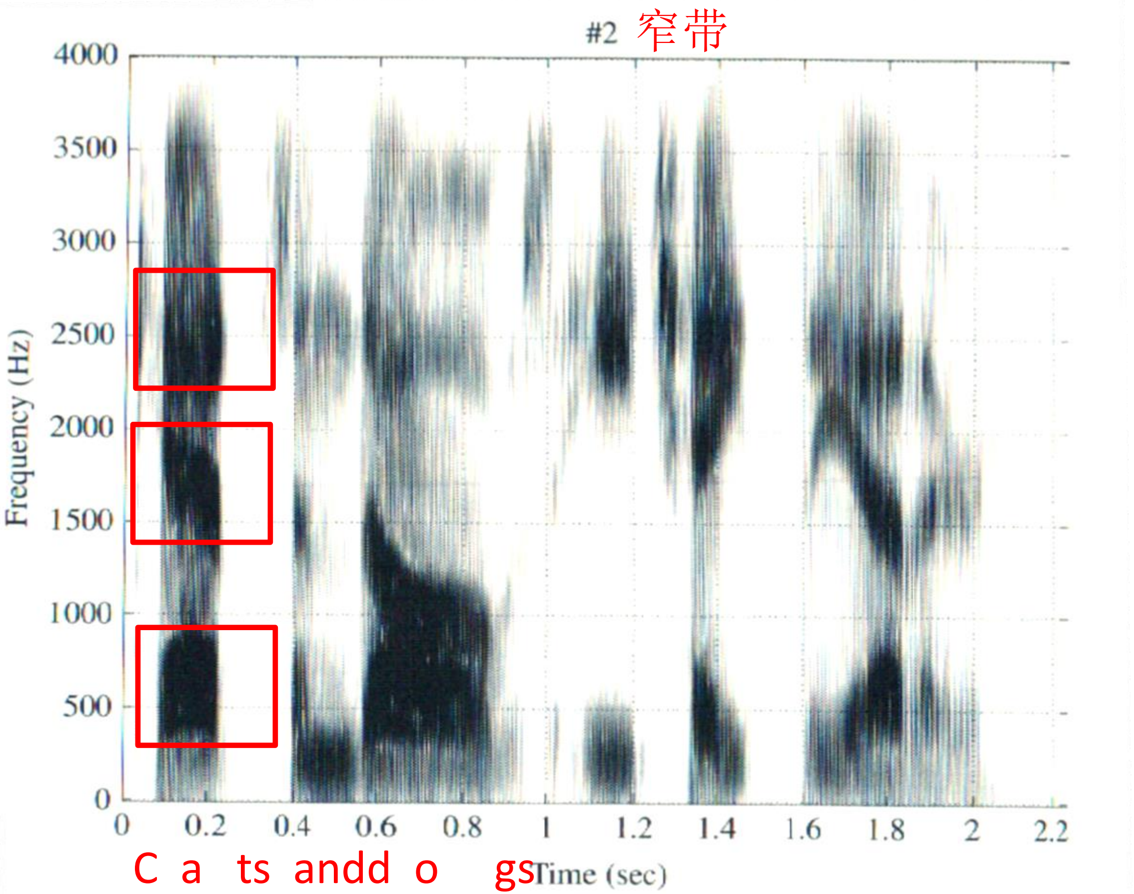
作业2

第二题：

关于8kHz采样率语音的语谱图问题。

d). 600Hz， 1700Hz，
2500Hz

e). /d/ is pronounced with temporary close of the vocal tract; thus the initial state /d/ contains a short silent segment, which should be around 0.55s



作业3

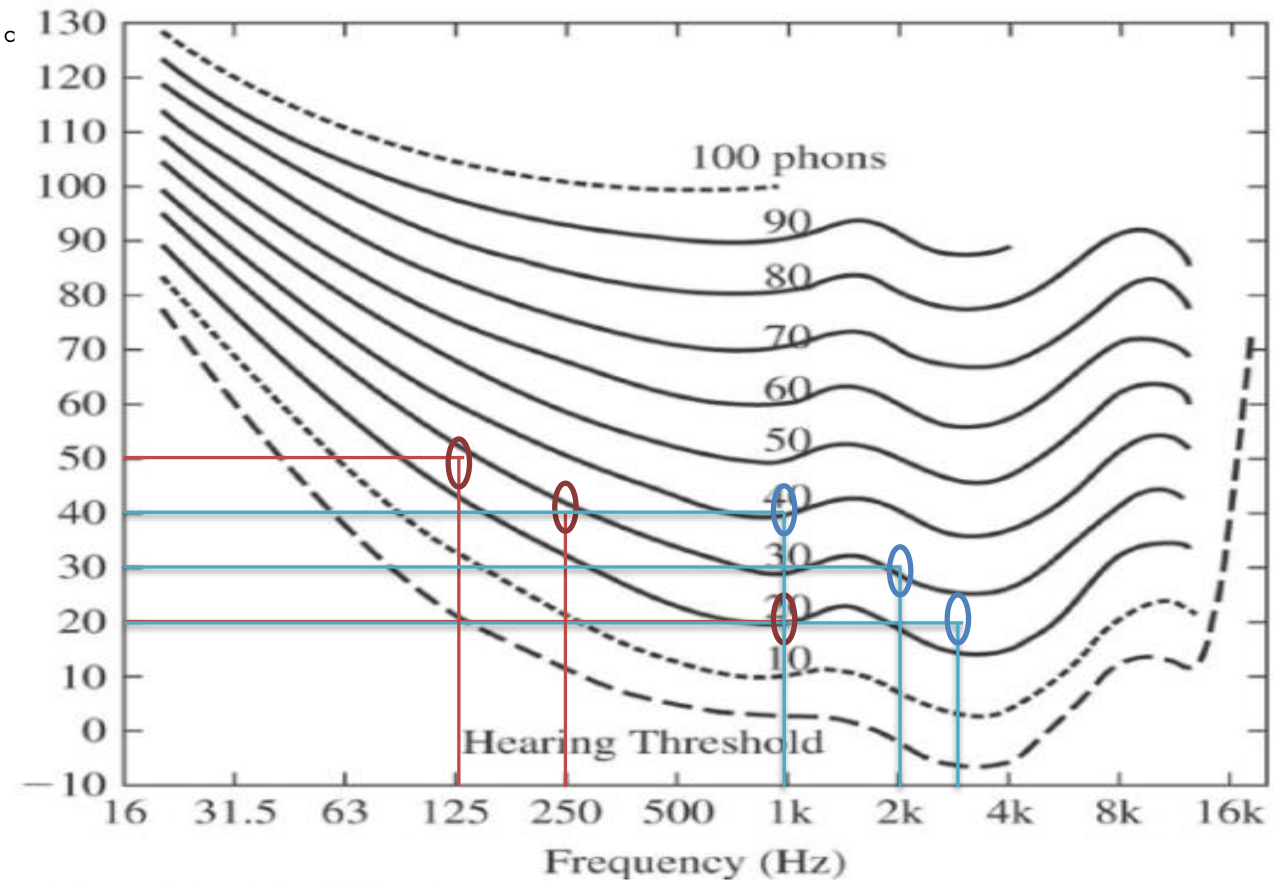
第一题：

根据等响度图判断哪一音调更响。

a)20 v.s. 25 phons

b)28 v.s. 40 phons

c) 28 v.s. 30 phons



作业3

第二题：

证明波动方程的解。

$$u(x,t)=\left[u^{+}(t-x/c)-u^{-}(t+x/c)\right]$$

$$p(x,t)=\frac{\rho c}{A}\left[u^{+}(t-x/c)+u^{-}(t+x/c)\right]$$

题目打错了
左侧应该是p而
不是ρ

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\rho}{A}\frac{\partial u}{\partial t}$$

$$-\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{A}{\rho c^{2}}\frac{\partial p}{\partial t}$$

证明： 令 $y=t-x/c \qquad z=t+x/c$

$$\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{du^{+}(y)}{dy}.\frac{dy}{dt}+\frac{du^{-}(z)}{dz}.\frac{dz}{dt}=\frac{du^{+}(y)}{dy}-\frac{du^{-}(z)}{dz}$$

作业3

第二题：

证明波动方程的解。

$$\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{du^{+}(y)}{dy}.\frac{dy}{dx}+\frac{du^{-}(z)}{dz}.\frac{dz}{dx}=-\frac{1}{c}\left[\frac{du^{+}(y)}{dy}+\frac{du^{-}(z)}{dz}\right]$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}=\frac{\rho c}{A}\left[\frac{du^{+}(y)}{dy}\frac{dy}{dt}+\frac{du^{+}(z)}{dz}\frac{dz}{dt}\right]=\frac{\rho c}{A}\left[\frac{du^{+}(y)}{dy}+\frac{du^{-}(z)}{dz}\right]$$

$$\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\rho c}{A}\left[\frac{du^{+}(y)}{dy}\frac{dy}{dx}+\frac{du^{+}(z)}{dz}\frac{dz}{dx}\right]=-\frac{\rho}{A}\left[\frac{du^{+}(y)}{dy}-\frac{du^{-}(z)}{dz}\right]$$

因此,

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\rho}{A}\frac{\partial u}{\partial t}\qquad -\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{A}{\rho c^{2}}\frac{\partial p}{\partial t}$$

作业3

第三题：

关于短时能量的相关计算。

$$E_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x^2[m]h[n-m] \qquad h[n] = [-\frac{a}{b-a}a^n + \frac{b}{b-a}b^n]u[n]$$

a）将短时能量的计算表示为差分方程的形式

$$x^2[m] <=> X(z)$$

$$h[n] <=> H(z)$$

$$E_n <=> Y(z)$$

$$H(z) = -\frac{a}{b-a}\frac{1}{1-az^{-1}} + -\frac{b}{b-a}\frac{1}{1-bz^{-1}} = \frac{1}{(1-az^{-1})(1-bz^{-1})}$$

$$Y(z) = H(z)X(z) ===>$$

$$Y(z) = \frac{1}{(1-az^{-1})(1-bz^{-1})}X(z)$$

$$Y(z) + abz^{-2}Y(z) - Y(z)(az^{-1} + bz^{-1}) = X(z)$$

$$So,\ \ y(n) + aby(n-2) - y(n-1)(a+b) = x^2(n)$$

$$Then,\ \boxed{y(n) = x^2(n) + (a+b)y(n-1) - aby(n-2)}$$

作业3

第三题：

关于短时能量的相关计算。

$$E_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x^2[m]h[n-m] \qquad h[n] = [-\frac{a}{b-a}a^n + \frac{b}{b-a}b^n]u[n]$$

b）h[n]满足何条件时，可以找到短时能量的有限阶差分方程表示？

$$H(z) = -\frac{a}{b-a}\frac{1}{1-az^{-1}} + -\frac{b}{b-a}\frac{1}{1-bz^{-1}} = \frac{1}{(1-az^{-1})(1-bz^{-1})}$$

要存在有限差分方程解，滤波器脉冲响应的 z 变换必须存在并且是 z 的有理函数。

本题中，|a|<1, |b|<1即可使h[n]满足上述条件。

作业4

第一题：

在频域和时域上对DTFT分别采样带来的问题。

$$X(e^{jw}) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]e^{-jwm}$$

(a)If periodic function $X(e^{jw})$ sampled at frequencies $w_k = 2\pi k / N, k = 0,1,\ldots,N,-1$ we obtain:

$$\tilde{X}[k] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m]e^{-j\frac{2\pi}{N}mk}$$

These samples can be thought of as the discrete Fourier transform of the sequence $\tilde{x}[n]$ given by

$$\tilde{x}[n] = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{N} \tilde{X}[k]e^{j\frac{2\pi}{N}km}$$

Show that

$$\tilde{x}[n] = \sum_{r=-\infty}^{\infty} x[n+rN]$$

作业4

a). 频域采样，时域周期重复

Given $\tilde{x}[n]=\sum_{k=0}^{N-1}\frac{1}{N}\tilde{X}[k]e^{j\frac{2\pi}{N}kn}$ and $\tilde{X}[k]=\sum_{m=-\infty}^{\infty}x[m]e^{-j\frac{2\pi}{N}mk}$

We have $\tilde{x}[n]=\sum_{k=0}^{N-1}\frac{1}{N}\sum_{m=-\infty}^{\infty}x[m]e^{-j\frac{2\pi}{N}km}e^{j\frac{2\pi}{N}kn}=\sum_{m=-\infty}^{\infty}x[m]\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}e^{-j\frac{2\pi}{N}k(n-m)}$

$$=\sum_{m=-\infty}^{\infty}x[m]\frac{1}{N}\frac{1-e^{-j2\pi(n-m)}}{1-e^{-j\frac{2\pi}{N}(n-m)}}$$

Attention!!!

Because $\frac{1}{N}\frac{1-e^{-j2\pi(n-m)}}{1-e^{-j\frac{2\pi}{N}(n-m)}}=\left\{\begin{matrix}1, when\ \ n-m=kN, k \text{ is intger} \\ 0, else\end{matrix}\right\}=\sum_{k}\delta(n-m-kN)$

We have $\tilde{x}[n]=\sum_{m=-\infty}^{\infty}x[m]\frac{1}{N}\frac{1-e^{-j2\pi(n-m)}}{1-e^{-j\frac{2\pi}{N}(n-m)}}=\sum_{m=-\infty}^{\infty}x[m]\sum_{k}\delta(n-m-kN)$

$$=\sum_{k}x[n-kN]$$

作业4

(b) What are the conditions on x[n] so that no aliasing distortion occurs in the time domain when is sampled?

b). $L \le N$

$$\tilde{x}[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m] \frac{1}{N} \frac{1-e^{-j2\pi(n-m)}}{1-e^{-j\frac{2\pi}{N}(n-m)}} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x[m] \sum_{k} \delta(n-m-kN)$$

$$= \sum_{k} x[n-kN]$$

If the duration of the finite duration signal satisfies the relation $N \ge L$, then only the first term in the infinite summation affects the interval $0 \le n \le L-1$ and there is no time domain aliasing, i.e.,

$$\tilde{x}[n] = x[n] \quad 0 \le n \le L-1$$

作业4

(c) Now consider sampling" the sequence x[n]; i.e., let us form the new sequence

$$y[n] = x[nM]$$

Consisting of every Mth sample of x[n]. Show that the Fourier transform of y[n] is:

$$Y(e^{jw}) = \frac{1}{M}\sum_{k=0}^{M-1} X(e^{j(w-2\pi k)/M})$$

In proving this result you may wish to begin by considering the sequence:

$$v[n] = x[n]p[n]$$

Where $p[n] = \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta[n+rM]$, Then note that $y[n] = v[nM] = x[nM]$

作业4

c).

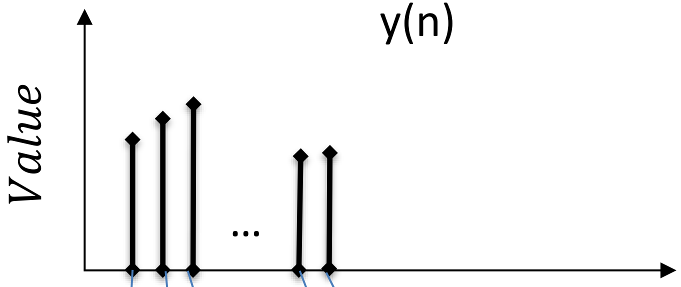
Let $p[n]=\sum_{r=-\infty}^{\infty}\delta[n+rM]$ $\quad v[n]=x[n]p[n]$

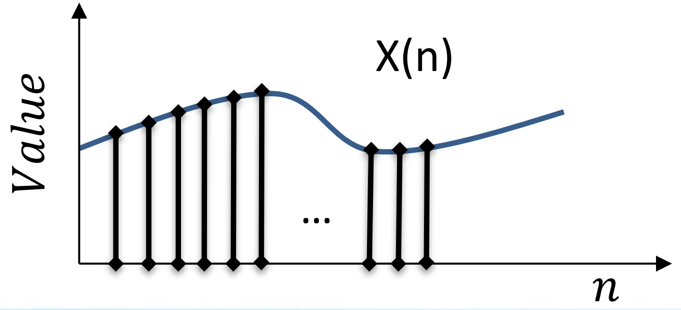
Then $V\left(e^{jw}\right)=\frac{1}{2\pi}X\left(e^{jw}\right)*P\left(e^{jw}\right)=\frac{1}{2\pi}X\left(e^{jw}\right)*\frac{2\pi}{M}\sum_{k=0}^{M-1}\delta\left(w-\frac{2\pi}{M}k\right)$

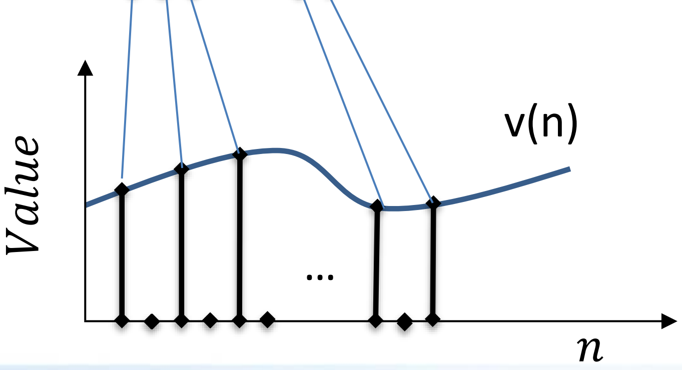
$$=\frac{1}{2\pi}\frac{2\pi}{M}\sum_{k=0}^{M-1}X\left(e^{j\left(w-\frac{2\pi}{M}k\right)}\right)$$

Let $y[n]=v[nM]=x[nM]$

Because $v[n]\begin{cases}=0,\ when\ n\neq kM\\ \neq 0,\ when\ n=kM\end{cases},k\in N$

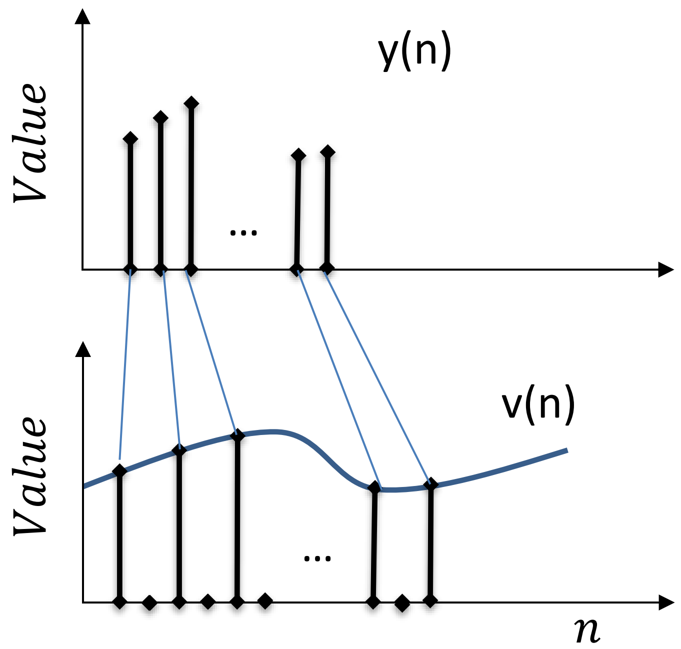






作业4

c).



如何联系$Y(e^{jw})$与$V(e^{jw})$?

$$M=2$$

$$Y\left(e^{jw}\right)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}y\left(n\right)e^{jwn}=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}v\left(2n\right)e^{jwn}$$

$$=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\left(v\left(2n\right)e^{jwn}+v\left(2n-1\right)e^{jw(n-\frac{1}{2})}\right)$$

$$V\left(e^{jw}\right)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}v\left(n\right)e^{jwn},n=2k,$$

$$=\sum_{k=-\infty}^{+\infty}\left(v\left(2k\right)e^{jw2k}+v\left(2k-1\right)e^{jw\left(2k-1\right)}\right)$$

对比$Y(e^{jw})$与$V(e^{jw})$:

$$Y\left(e^{jw}\right)=V\left(e^{jw/2}\right)=\sum_{k=-\infty}^{+\infty}\left(v\left(2k\right)e^{jwk}+v\left(2k-1\right)e^{jw\left(k-1/2\right)}\right)$$

作业4

c）. 同理

$$Y\left(e^{jw}\right)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty} y(n)e^{jwn}=\sum_{n=-\infty}^{+\infty} v(nM)e^{jwn}$$

$$=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\left(v(nM)e^{jwn}+v(nM-1)e^{jw(n-\frac{1}{M})}+v(nM-M+1)e^{jw(n-\frac{M-1}{M})}\right)$$

$$let\ k=nM, or\ n=k/M,$$

$$Y\left(e^{jw}\right)=\sum_{k=nM,n=-\infty}^{n=+\infty}\left(v(k)e^{jw\frac{k}{M}}+v(k-1)e^{jw\frac{k-1}{M}}+\ldots+v(k-M+1)e^{jw\frac{k-M+1}{M}}\right)$$

$$=\sum_{k=-\infty}^{+\infty}\left(v(k)e^{jw\frac{k}{M}}\right)=V\left(e^{jw/M}\right)=\frac{1}{M}\sum_{k=0}^{M-1}X\left(e^{j(w-2\pi k)/M}\right)$$

$$V\left(e^{jw}\right)=\frac{1}{2\pi}X\left(e^{jw}\right)*P\left(e^{jw}\right)=\frac{1}{2\pi}X\left(e^{jw}\right)*\frac{2\pi}{M}\sum_{k=0}^{M-1}\delta\left(w-\frac{2\pi}{M}k\right)$$

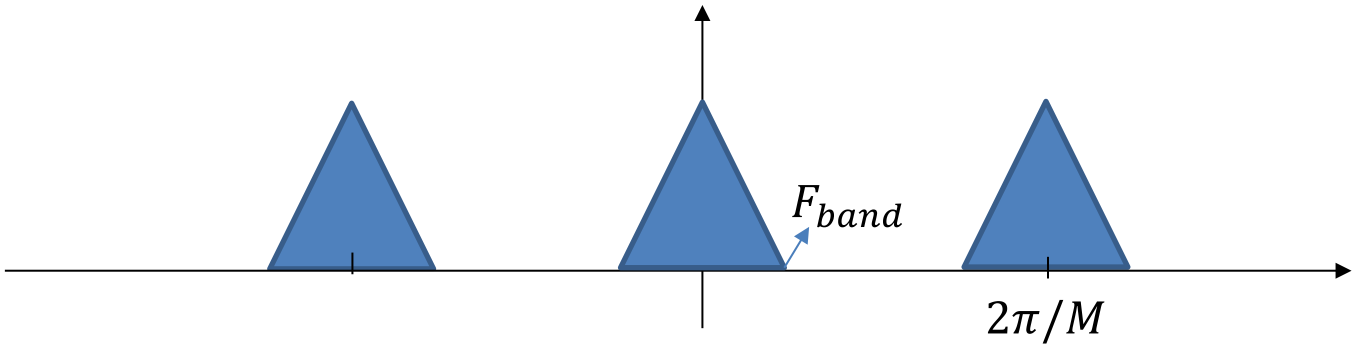
$$=\frac{1}{2\pi}\frac{2\pi}{M}\sum_{k=0}^{M-1}X\left(e^{j\left(w-\frac{2\pi}{M}k\right)}\right)$$

作业4

第一题：

d) $.X\left(e^{jw}\right)$ 满足何条件时，在时域上下采样后频域上无混叠

时域上下采样M倍，其频域以$2\pi/M$为周期延拓



满足奈奎斯特采样定理

$F_{band}<(2\pi/M)/2$

作业4

第二题：

求下述传输函数的复倒谱相关问题。 $H(z)=6\left[\dfrac{1-3z^{-1}}{1-\frac{1}{5}z^{-1}}\right]$

$$\log(1-Z)=-\sum_{n=1}^{\infty}\frac{Z^n}{n},\quad |Z|<1$$

a）求复倒谱系数

$$\hat{H}(z)=\log 6\left[\frac{1-3z^{-1}}{1-\frac{1}{5}z^{-1}}\right]=\log\left[6\frac{(1-\frac{1}{3}z)(-3)z^{-1}}{1-\frac{1}{5}z^{-1}}\right]$$

$$=\log 6+\log 3+\log(-z^{-1})+\log(1-\frac{1}{3}z)-\log(1-\frac{1}{5}z^{-1})$$

$$ignoring\quad \log z^{-1}(imaginary.part)$$

$$====>\log 18-\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(\frac{1}{3})^n}{n}z^n+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(\frac{1}{5})^n}{n}z^{-n}$$

作业4

第二题：

求下述传输函数的复倒谱相关问题。 $H(z)=6\left[\dfrac{1-3z^{-1}}{1-\frac{1}{5}z^{-1}}\right]$

a） 求复倒谱系数

$$\hat{h}(n)=\log 18\,\delta(n)+\frac{(\frac{1}{3})^{-n}}{n}u(-n-1)+\frac{(\frac{1}{5})^{n}}{n}u(n-1)$$

b） 略

c）． 求实倒谱

$$c(n)=\begin{cases}\dfrac{\hat{h}(n)+\hat{h}(-n)}{2}, & n>0\\ \log 18, & n=0\\ \dfrac{\hat{h}(n)+\hat{h}(-n)}{2}, & n<0\end{cases}=\begin{cases}\dfrac{1}{2n}\left[\dfrac{1}{5^n}-\dfrac{1}{3^n}\right], & n>0\\ \log 18, & n=0\\ \dfrac{1}{2n}[3^n-5^n], & n<0\end{cases}$$

作业4

第三题：

判断系统的稳定性。

$$H(z)=\frac{1-4z^{-1}}{1-0.25z^{-1}-0.75z^{-2}-0.875z^{-3}}$$

(a) Use the Levinson-Durbin recursion to determine whether or not the system is stable.

(b) Is the system minimum phase?

作业4

第三题：

用L-D算法判断系统的稳定性。

assume that α_j, j=1,2, ..., p are given. Then we can work backwards through the Levinson Recursion.

$$
\begin{aligned}
&\alpha_j^{(p)} = \alpha_j \quad \text{for } j = 1,2,\ldots,p \\
&k_p = \alpha_p^{(p)} \\
&\text{for } i = p, p-1, \ldots, 2 \\
&\quad \text{for } j = 1,2,\ldots,i-1 \\
&\qquad \alpha_j^{(i-1)} = \frac{\alpha_j^{(i)} + k_i \alpha_{i-j}^{(i)}}{1-k_i^2} \\
&\quad \text{end} \\
&\quad k_{i-1} = \alpha_{i-1}^{(i-1)} \\
&\text{end}
\end{aligned}
$$

a). H(z) can be divided into:

$$H_1(z) = 1-4z^{-1} and : H_2(z) = \frac{1}{1-0.25z^{-1}-0.75z^{-2}-0.875z^{-3}}$$

If $H_2(z)$ is a steady system, then $H(z)$ is steady.

$$A(z) = 1-0.25z^{-1}-0.75z^{-2}-0.875z^{-3}$$

$$a_1^3 = 0.25, a_2^3 = 0.75, a_3^3 = 0.875$$

$$a_1^2 = \frac{a_1^3 + k_3 a_2^3}{1-k_3^2} = \frac{0.25+0.875*0.75}{1-0.875^2} = 3.867$$

$$a_2^2 = \frac{a_2^3 + k_3 a_1^3}{1-k_3^2} = \frac{0.75+0.875*0.25}{1-0.875^2} = 4.133$$

$|k_2| = a_2^2 = 4.133 > 1$ $\quad H(z)$ is not a steady system.

b). Not minimum-phase, H(z) has a zero outside the unit circle

$$H_1(z) = 1-4z^{-1}$$

$|k_i|<1$ is a necessary and sufficient condition for A(z) to be a minimum phase system and 1/A(z) to be a stable system

编程作业

实验1

第一题：
以 16kHz 的采样频率读入原始音频文件（即所给文件 test_16k.wav），并对其进行滤波， 使其带宽分别达到 6kHz、4kHz、2kHz，并将滤波后的信号重新写入一个音频文件中， 听滤波后的语音，描述低通滤波对语音可懂度和语音质量的影响。

实验步骤

a) Step1 :读入音频文件
b) Step2 :对采样得到的语音信号做 FFT 计算其频谱
c) Step3:设计截止频率为 6kHz 、4kHz、2kHz 的低通滤波器
d) Step4:对原始语音信号进行 6kHz 、4kHz、2kHz低通滤波，并对滤波后的信号做 FFT 计算其频谱
e) Step5:保存低通滤波后带宽为 6kHz 、4kHz、2kHz的语音信号的音频文件

实验1

第一题

- 题意：使用滤波器滤波
- 典型不足：
    - 滤波器阶数太低
    - 输出语音的采样频率没有设置为16kHz

实验1

第二题：
编写 matlab 程序，计算一个二级声道传输模型的传输函数，并画出其对数幅度谱，标出 共振峰的所在位置。给定两级声管长度（l1(cm),l2(cm)），截面积（A1,A2），声门处反射系数rG，唇部反射系数rL

实验步骤
a) Step1 :计算声道的传输函数的对数幅度值
b) Step2 :找到传输函数的极大值(的下标)，即共振峰的位置
c) Step3:画出传输函数对应的对数幅频响应，并将共振峰的位置和值标在图上

$$r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_{k+1} + A_k}\text{; reflection coefficient}$$

$$V_a(\Omega) = \frac{U_L(\Omega)}{U_G(\Omega)}$$

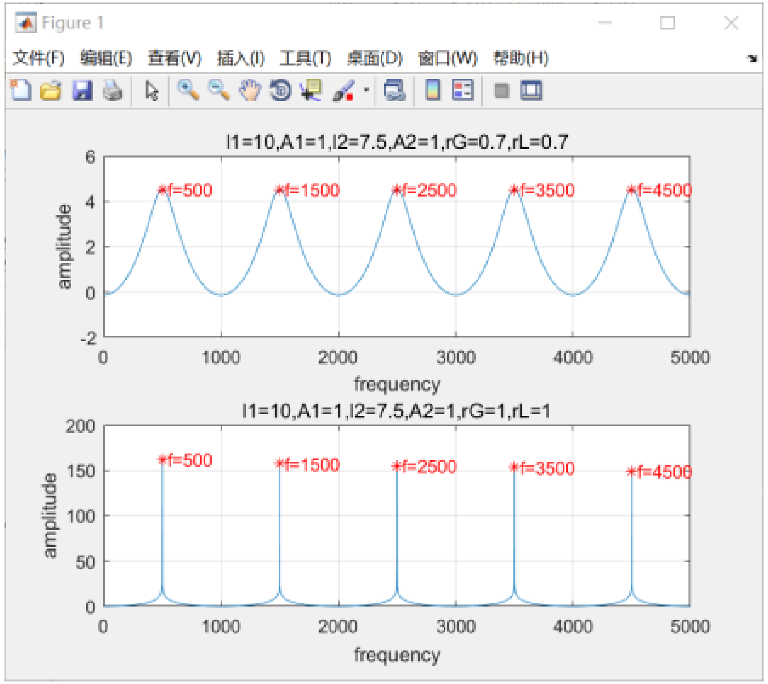
$$= \frac{0.5(1+r_G)(1+r_L)(1+r_1)e^{-j\Omega(\tau_1+\tau_2)}}{1 + r_1 r_G e^{-j\Omega 2\tau_1} + r_1 r_L e^{-j\Omega 2\tau_2} + r_L r_G e^{-j\Omega 2(\tau_1+\tau_2)}}$$

实验1

第二题：

编写 matlab 程序，计算一个二级声道传输模型的传输函数，并画出其对数幅度谱，标出共振峰的所在位置。

a) l1 = 10, A1 = 1, l2 = 7.5, A2 = 1, rG = 0.7, rL = 0.7 和 rG=1,rL=1 时声道传输函数的对数幅频响应

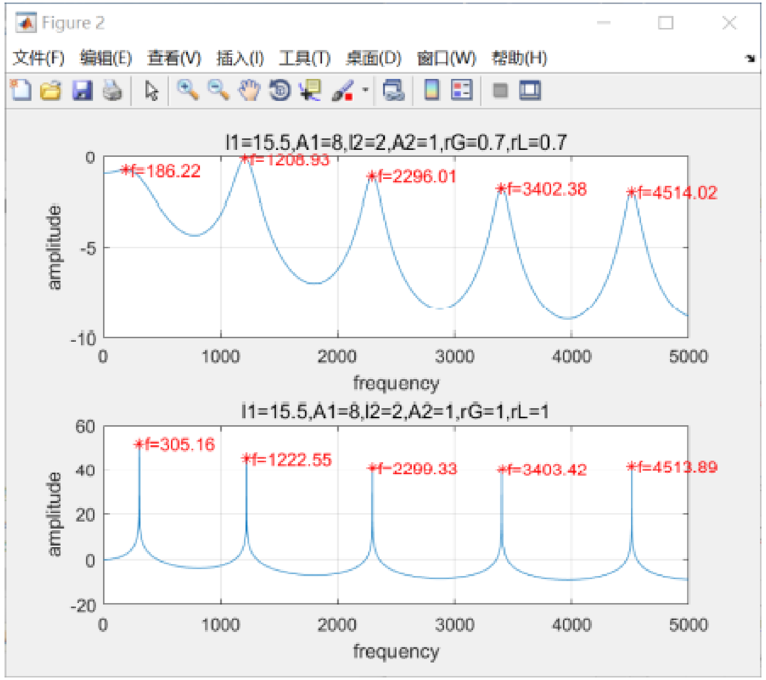


实验1

第二题：

编写 matlab 程序，计算一个二级声道传输模型的传输函数，并画出其对数幅度谱，标出共振峰的所在位置。

b) l1 = 15.5,A1 = 8, l2 = 2, A2 = 1, rG = 0.7, rL = 0.7 和 rG=1,rL=1 时声道传输函数的对数幅频响应

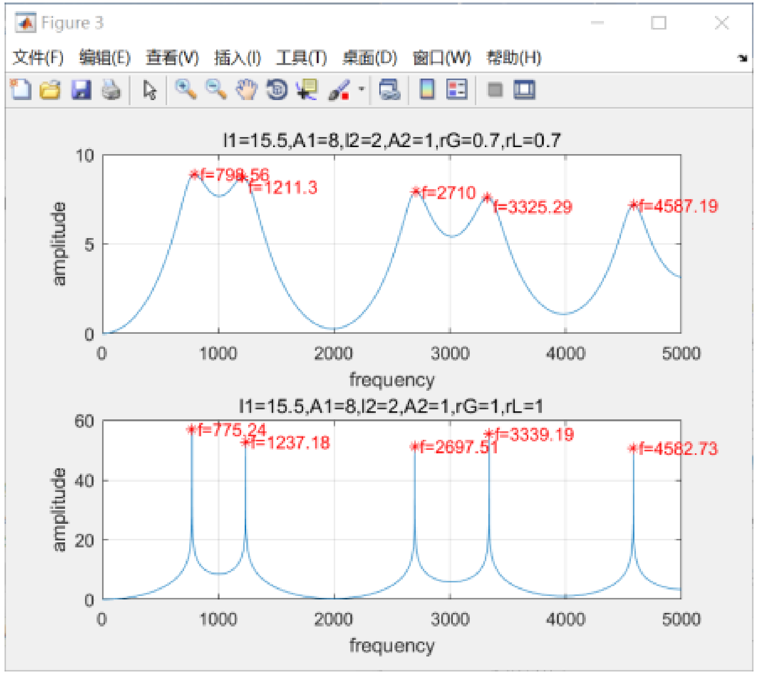


实验1

第二题：

编写 matlab 程序，计算一个二级声道传输模型的传输函数，并画出其对数幅度谱，标出共振峰的所在位置。

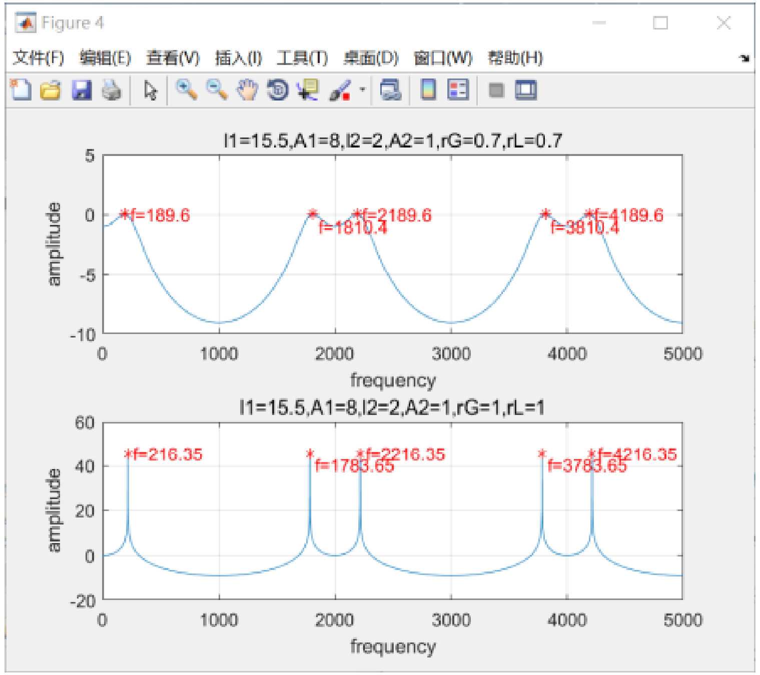
c) l1 = 9.5, A1 = 1, l2 = 8, A2 = 8, rG = 0.7, rL = 0.7 和 rG=1,rL=1 时声道传输函数的对数幅频响应



实验1

第二题：
编写 matlab 程序，计算一个二级声道传输模型的传输函数，并画出其对数幅度谱，标出共振峰的所在位置。

d) l1 = 8.75,A1 = 8, l2 = 8.75, A2 = 1, rG = 0.7, rL = 0.7 和 rG=1,rL=1 时声道传输函数的对数幅频响应



实验2

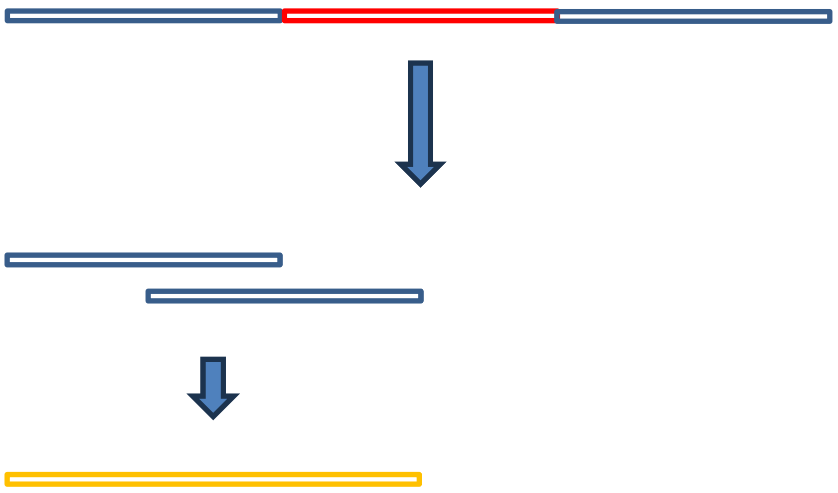
第一题：
编写 MATLAB 程序，使用重叠分帧叠加法，将语音文件加速 2 倍。

实验步骤

a) Step1 : 读入原始语音文件 test_16k.wav；
b) Step2 : 利用重叠分帧相加法加速语音信号；
c) Step3: 画出原始信号与加速后语音信号的时域波形及语谱图，保存加速后的语音文件。

重叠分帧法

- 为了实现语音加速，每隔一帧数据都要丢一帧
- 窗长L=512，帧移R=256，重合50%。



实验2

第二题：
编写 MATLAB 程序， 计算语音信号的实倒谱，并使用低频滤波器和高频滤波器对倒谱进行滤波(同态滤波处理)。

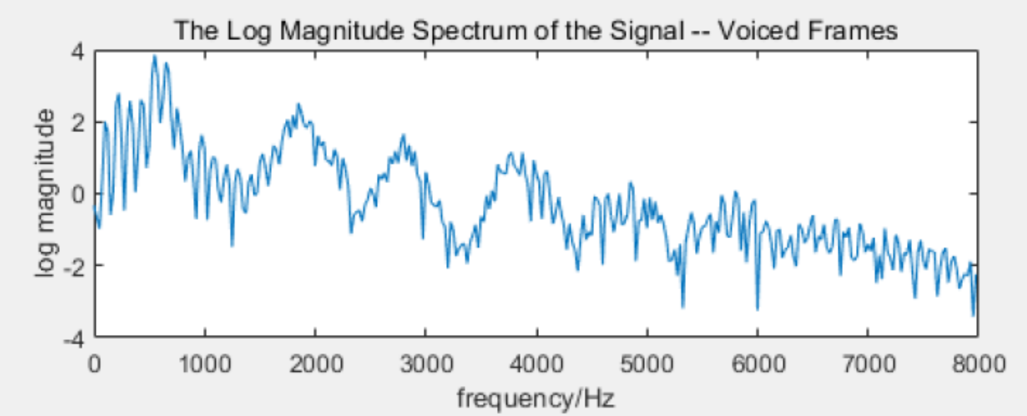
实验步骤

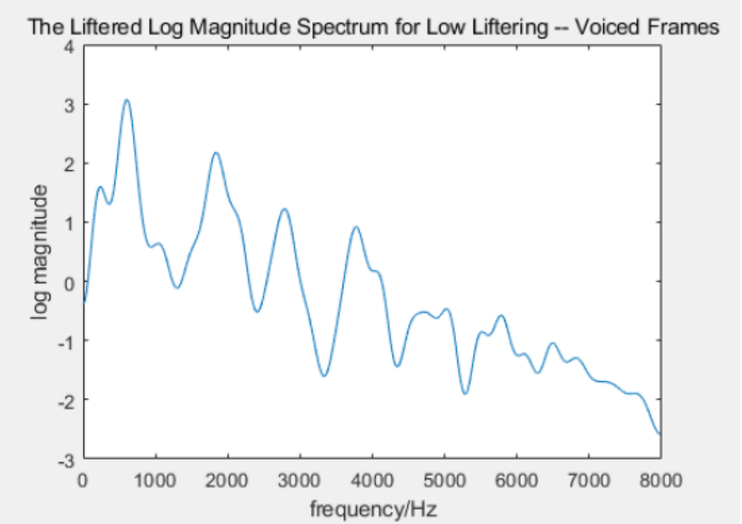
a) Step1 : 读入原始语音，确定浊音帧和清音帧的起始点， 根据帧持续时间确定每帧的截取长度；
b) Step2 : 利用 Hamming 窗进行加权，绘制 Hamming 窗加权的语音波形；
c) Step3: 计算浊音帧与清音帧的对数幅度谱，绘制语音信号的对数幅度谱
d) Step4: 计算浊音帧与清音帧的实倒谱，绘制实倒谱；
e) Step5: 确定倒谱滤波器的截止点 cutoff，分别用低频滤波器和高频滤波 器对倒谱进行滤波，获得滤波后的对数幅度谱，并绘制。

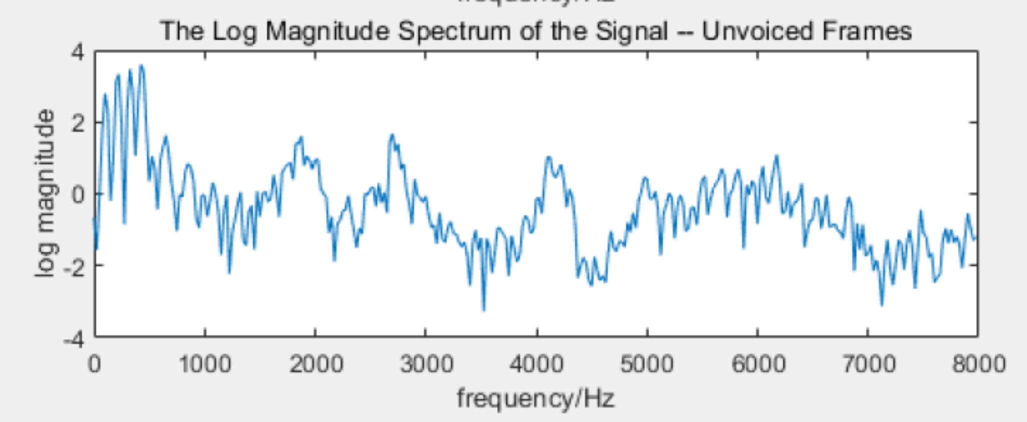
实验2

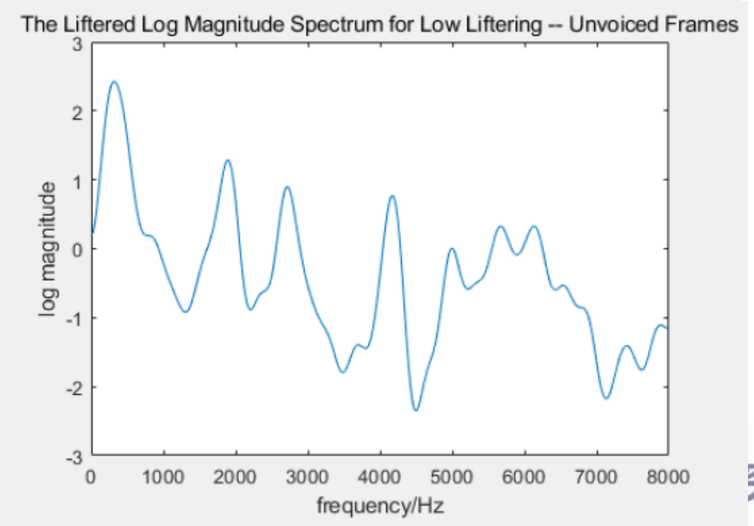
对倒谱进行同态滤波的物理意义

- 经过低频滤波后，可以得到平滑的对数幅度谱，即声道冲击响应频谱，它对应于对数频谱中的共振峰结构。





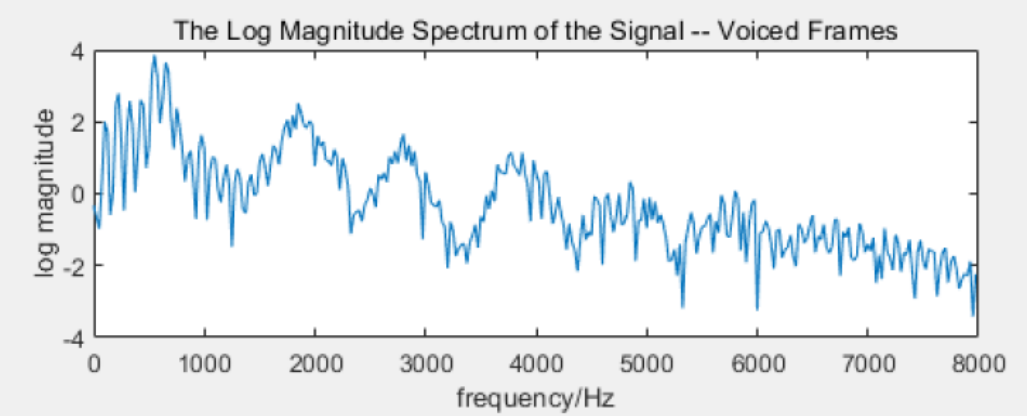


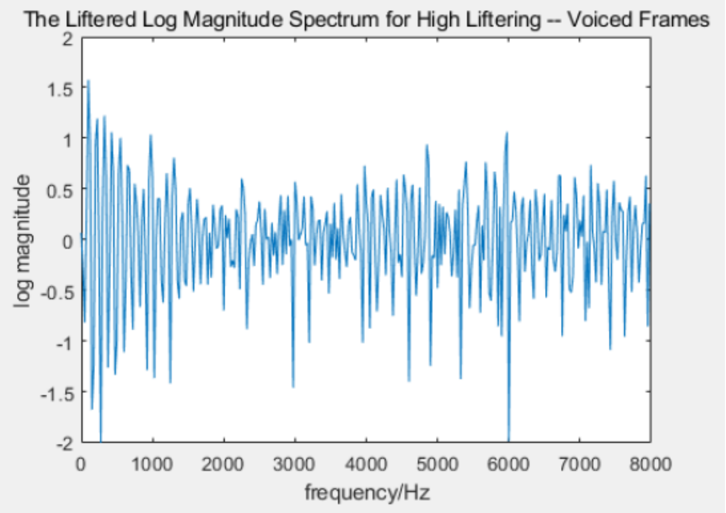


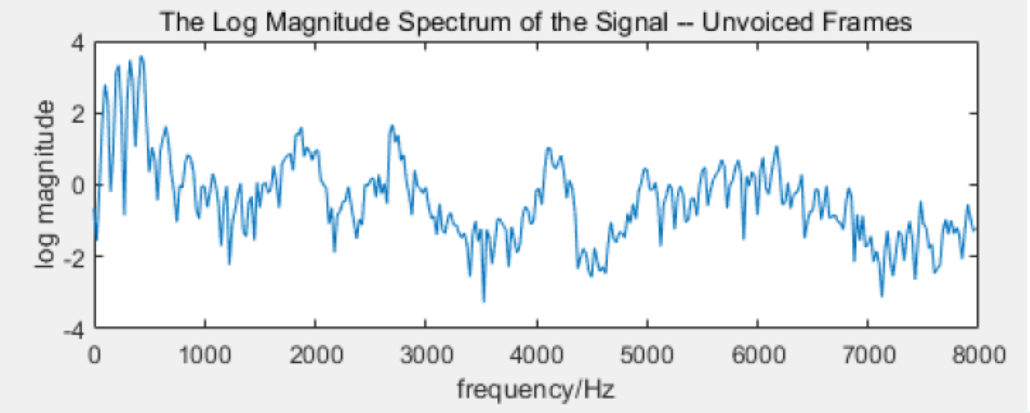
实验2

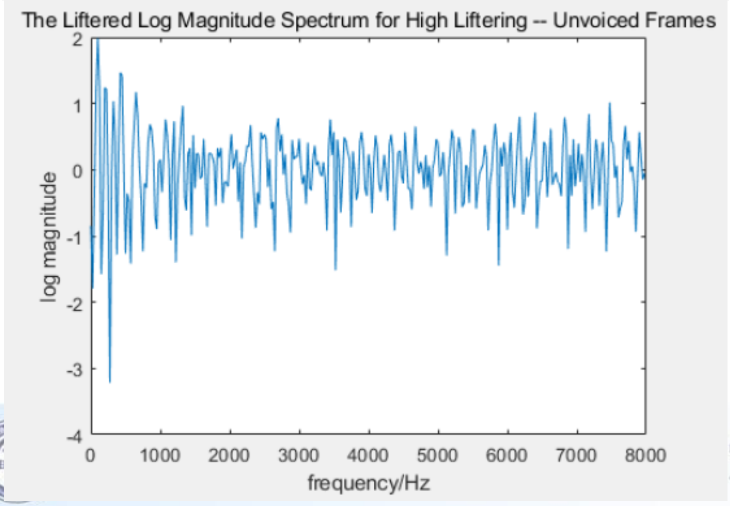
对倒谱进行同态滤波的物理意义

- 经过高频滤波后，浊音高通同态滤波得到冲击串的对数幅度，即可以得到大致的基音周期；清音高通同态滤波得到白噪声的对数幅度。









实验2

第三题：
编写一个 MATLAB 程序，使用自相关 LPC 分析方法从语音帧中计算出最佳的线性预测系数集；对于每个分析的帧，绘制语音窗口的短时傅立叶变换对数幅度谱和自相关 LPC 分析方法的 LPC 对数幅度谱。

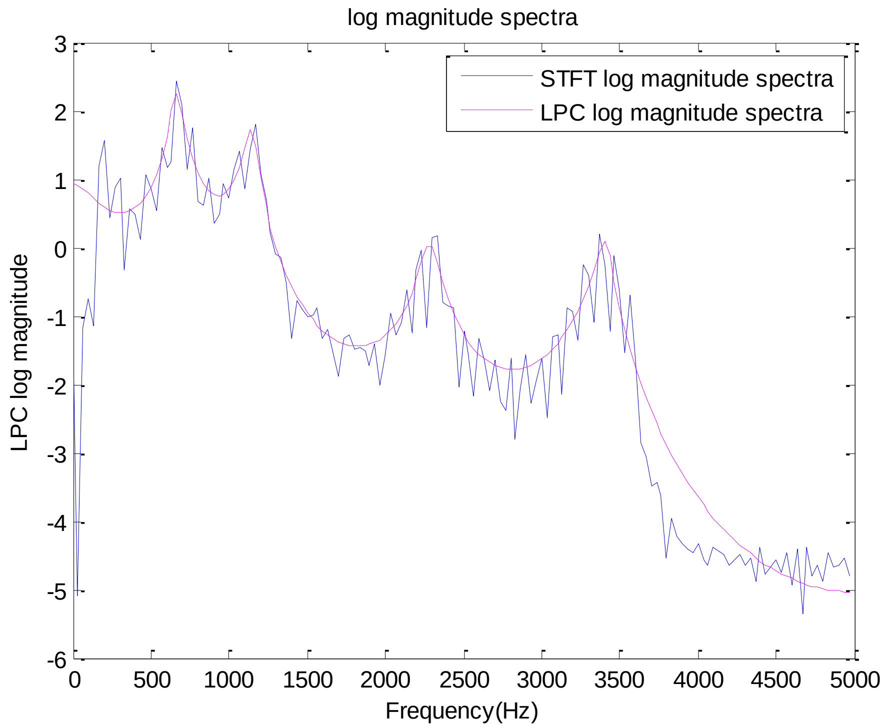
实验步骤

a) Step1 : 读入语音文件 ah.wav、test_16k.wav，并使用 Hamming 窗进行加权加窗；
b) Step2: 绘制 STFT 对数幅度谱；
c) Step3 : 利用 Levinson-Durbin 递推算法实现 LPC 的计算；
d) Step4: 由 LPC 得到系统函数 H，并绘制 LPC 对数幅度谱，与 STFT 对数幅度谱进行对比。

实验2

实验结果

1、ah.wav中浊音部分的STFT频谱和LPC系数构成的系统函数的频谱

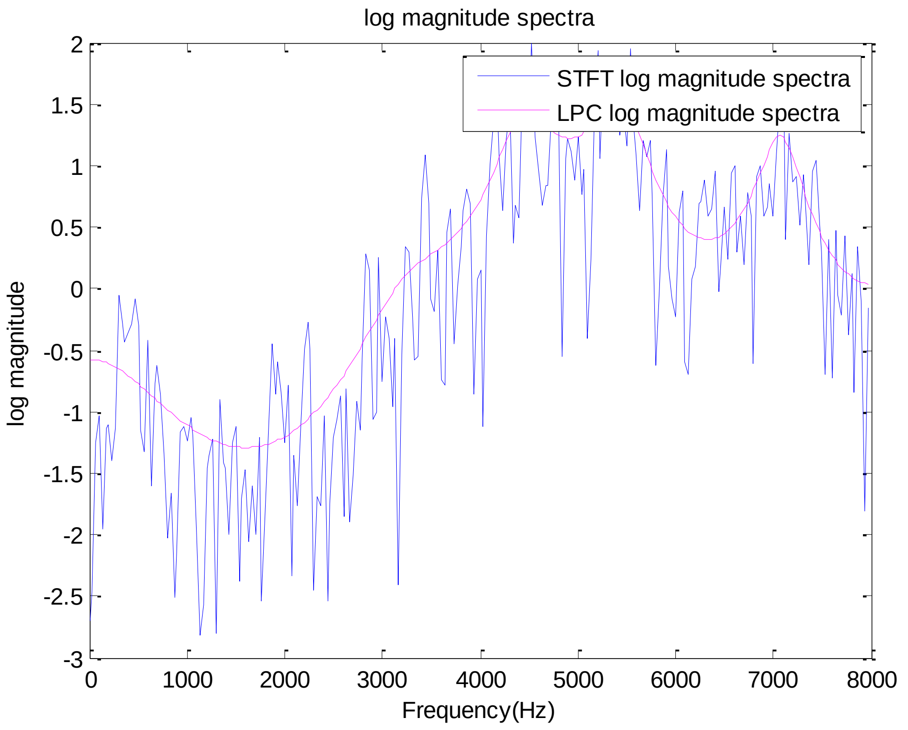


通过LPC系数重建出来的系统函数的频谱与短时傅里叶变换得到的系统函数的谱包络相吻合。

实验2

实验结果

2、test_16k.wav中清音部分的STFT频谱和LPC系数构成的系统函数的频谱



通过LPC系数重建出来的系统函数的频谱与短时傅里叶变换得到的系统函数的谱包络相吻合。

后续课程与考试安排

- 12月11日　　课程讲授结束
- 12月13日　　习题课
- 1月3日　　答疑
  - 14:00-15:30　高新校区1号学科楼B507
- 1月6日　　考试
  - 8:30-10:30　高新校区3号学科楼G3-108
  - 课件覆盖内容，难度与课程作业相当
  - 开卷（允许计算器；不允许通讯功能电子设备）
  - 拟不安排补考

谢谢大家！
祝大家取得好成绩！