

# ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA DE TELECOMUNICACIÓ

PROCESSAMENT DEL SENYAL- Examen final

Professors: J.B. Mariño, F. Marqués, C. Nadeu, A. Oliveres, J. Vidal

Data: 23 de Juny de 2003

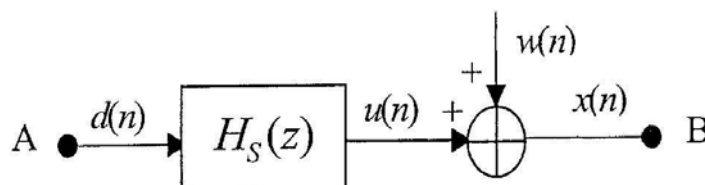
Temps: 3 hores

- No es poden fer servir llibres, apunts, calculadores programables, telèfons mòbils, etc.
- Durant la realització de l'examen, tots els fulls han de dur el nom de l'estudiant.
- Els exercicis s'han de respondre en fulls separats.
- S'ha de triar entre l'exercici 4A i el 4B.
- Tots els resultats s'han de justificar.
- Les notes provisionals es publicaran el 2 de juliol. Es podrà presentar al·legacions els dies 3 i 4 de juliol a la Secretaria Acadèmica de l'Escola.

## Exercici 1

Punts 3

Una persona està parlant des de la posició A d'una sala acústica i el senyal de veu es recull amb un micròfon situat a una certa distància, en la posició B. El senyal del micròfon es vol processar amb un sistema de reconeixement de la parla per obtenir les paraules pronunciades. Com que el sistema de reconeixement de la parla que s'utilitza ha estat entrenat amb senyals procedents d'un micròfon proper a la boca del parlant, si es vol obtenir el màxim rendiment en el reconeixement, s'ha de cancel·lar l'efecte de reverberació de la sala acústica. Donat que aquest efecte es pot modelar amb la funció de transferència acústica  $H_S(z)$  entre els punts A i B de la sala, la reverberació es podrà cancel·lar processant el senyal a B amb la funció de transferència inversa (equalització).



Per determinar la funció de transferència  $H_S(z)$ , situem un altaveu a A i enregistrem el senyal a B. Si  $d(n)$  és el senyal estocàstic que s'emet a A i  $x(n)$  és el senyal recollit a B, suposarem, tal com indica la figura, que  $x(n) = d(n) * h_S(n) + w(n)$ , on  $h_S(n)$  és la resposta impulsional entre A i B, és a dir, la transformada inversa de  $H_S(z)$ , i  $w(n)$  és soroll que es genera a la sala prop del punt B i que està incorrelat amb  $d(n)$ .

En aquest exercici, volem determinar la resposta freqüencial de la sala  $H_S(\omega)$  a partir d'estimacions espectrals. (A partir d'ella s'hauria de calcular una resposta inversa que permetés fer l'equalització.) Per això, suposant que tots els processos són de mitjana nul·la i que es disposa d'uns senyals  $d(n)$  i  $x(n)$  de 5 segons de durada cada un, es demana:

1. Deduir l'expressió de la correlació creuada  $r_{xd}(m)$  entre els senyals reals  $x(n)$  i  $d(n)$  en funció de l'autocorrelació  $r_{dd}(m)$  de  $d(n)$  i la resposta impulsional  $h_S(n)$ . Per què no hi intervenen els moments estadístics del soroll  $w(n)$ ?
2. A partir de l'expressió anterior, posar  $H_S(\omega)$  en funció de l'espectre  $S_{dd}(\omega)$  de  $d(n)$  i de l'espectre  $S_{xd}(\omega)$  creuat de  $x(n)$  i  $d(n)$ .
3. A partir de les mostres del senyal  $d(n)$ ,  $n=0,1,\dots,N-1$ , proposar un estimador de  $S_{dd}(\omega)$  basat en el mètode de promitjament de periodogrames corresponents a segments del senyal multiplicats per la finestra triangular. Escriure l'expressió matemàtica de l'estimador.
4. Determinar quina longitud  $L$  han de tenir els segments per aconseguir una resolució de 100Hz a freqüència de mostreig de 8 kHz i de manera que la variància de l'estimació sigui mínima. Raonar-ho detalladament. Indicar el nombre de segments que es promitjaran.  
*Nota: per a una finestra triangular de longitud  $L_v$ , l'ample de banda de  $20\log(V_{max}/V)$  a 3 dB és  $1.28/(L_v+1)$  i el de 6 dB és  $1.78/(L_v+1)$ .*
5. Fixem-nos ara en un sol segment. Considerant la relació existent entre el periodograma i l'estimador esbiaixat de la correlació, plantejar raonadament el "periodograma" de  $S_{xd}(\omega)$  d'un segment de  $d(n)$  i el corresponent segment de  $x(n)$ , deixant-lo en funció de les transformades de Fourier de  $d(n)$  i  $x(n)$ .

6. Partint del resultat de l'apartat anterior, proposar un estimador per a  $S_{xd}(\omega)$  promitjant "periodogrames" a partir dels senyals  $d(n)$  i  $x(n)$ ,  $n=0,1,\dots,N-1$ . Escriure'n l'expressió.
7. Donar l'expressió completa de la  $H_s(\omega)$  estimada a partir dels senyals  $d(n)$  i  $x(n)$ ,  $n=0,1,\dots,N-1$ , simplificant-la tant com sigui possible.

## Exercici 2

Punts 3

En aquest exercici es pretén analitzar el mateix problema de l'exercici anterior però ara des de la perspectiva del filtre de Wiener. En l'Exercici 1 s'ha estimat directament la funció de transferència de la sala per poder construir un filtre equalitzador que cancel·li el seu efecte. Ara, en aquest exercici, ens plantejarem utilitzar el filtre de Wiener per intentar compensar l'efecte global de la sala, filtrant  $x(n)$  per obtenir una estimació de  $d(n)$ . Suposem que  $w(n)$  és soroll blanc de mitjana nul·la, amb potència  $\sigma_w^2$  i incorrelat amb  $d(n)$ . Es suposa que durant la fase de caracterització del filtre, el senyal  $d(n)$  està disponible en el punt B.

Es demana:

1. Escriure les equacions de Wiener-Hopf (del filtre òptim) en funció de les mostres de l'autocorrelació del senyal  $u(n)$ , del soroll  $w(n)$  i del vector de correlació creuada entre  $d(n)$  i  $x(n)$ .
2. Si la sala no introduís soroll ( $w(n) = 0$ ) expressar en el domini de la freqüència la solució del filtre de Wiener i comparar-la (si es possible) amb la solució obtinguda a l'exercici anterior.

Per concretar-ho més, suposarem que:

- El senyal  $d(n)$  correspon a un procés AR d'ordre 1, que s'ha generat passant soroll blanc  $v(n)$  de mitjana nul·la i potència  $\sigma_v^2$  a través del sistema  $H_1(z) = 1/(1+az^{-1})$
- La funció de transferència de la sala es pot modelar amb un filtre FIR d'ordre 1:  $H_s(z) = 1+bz^{-1}$

Es demana:

3. Obtenir la funció d'autocorrelació del senyal  $d(n)$  en funció del coeficient  $a$  i de la potència del soroll blanc d'entrada  $\sigma_v^2$ .
4. Calcular la funció d'autocorrelació del senyal  $x(n)$  i expressar-la en funció de les mostres de  $r_d(m)$ ,  $r_w(m)$  y la respuesta impulsional de  $H_s(z)$ .
5. Escriure les equacions pel filtre de Wiener de dos coeficients en funció de  $a$ ,  $b$ ,  $\sigma_v^2$  i  $\sigma_w^2$ .
6. Donat que la sala es pot caracteritzar com un filtre FIR, discutir l'ordre adequat del filtre de Wiener FIR per obtenir la potència d'error mínima a la sortida del filtre.