

Señales y Sistemas

Laboratorio 3 (2h)

Sistemas LTI inversos: eliminación de un eco

Profesor responsable: Luis Vielva

Curso 2002/2003

Materiales: (a) El alumno debe traer unos auriculares similares a los de un reproductor portatil. (b) Todos los ordenadores están equipados con Matlab y tarjeta reproductora de sonido.

Objetivos: (a) Implementar sistemas inversos. (b) Identificar los sistemas estables e inestables, causales y no causales.

Almacenamiento de los ficheros: Todos los ejemplos y ejercicios que se proponen en este laboratorio deben crearse en ficheros y almacenarse en el disco duro del alumno. Para ello, se debe crear una carpeta con el nombre `lab3` en la unidad `X`: al mismo nivel que las carpetas `Ficheros`, `lab2` y `lab1`.

Cancelación de eco mediante filtrado inverso

En este ejercicio se considera el problema de eliminar un eco de una grabación de una señal de voz.

Crea la siguiente macro, `ex1.m`, para leer una grabación de voz del disco duro (de la que se seleccionan únicamente las 9000 primeras muestras) y escucharla:

```
[x, fs] = wavread('..\Ficheros\carta');  
x = x(1:9000);  
soundsc(x, fs);
```

A partir de esta señal $x[n]$, modelaremos la creación de una señal de voz con eco, que denominaremos $y[n]$, mediante la siguiente ecuación

$$y[n] = x[n] + \alpha x[n - N], \quad (1)$$

donde $x[n]$ es la señal de voz original, que se ha retrasado en N muestras y sumado, con un factor de escala α , para construir la señal con eco $y[n]$. Este es un modelo razonable para un eco producido por la reflexión de una señal en una superficie parcialmente absorbente como una pared. Si se sitúa un micrófono entre el hablante y la pared, éste grabará tanto la señal original que se dirige hacia la pared como la reflejada por esta un cierto tiempo después (en función de la distancia a la pared y de la velocidad de propagación del sonido). Como la onda reflejada debe recorrer más distancia hasta llegar al micrófono, estará retrasada. Por otra parte, como la pared presenta una cierta absorción, la amplitud de la onda reflejada será menor.

Crea una función, `CreaEco.m`, que tome como argumentos de entrada una señal de voz x , el número de muestras de retraso N y el factor de escala `Alpha` para construir una señal con eco según el modelo anterior:

```
function y = CreaEco(x, N, Alpha)
```

Crea la macro `Ex2.m` para generar y escuchar una señal con eco a partir de $x[n]$ utilizando un retraso de 1000 muestras y un $\alpha = 0,5$

```
N = 1000; Alpha = 0.5;
y = CreaEco(x, N, Alpha);
soundsc(y, fs);
```

Una vez que has generado la señal, resuelve los siguientes problemas. Para cada uno de ellos, construye la solución del problema a) en el fichero `pa.m` y así sucesivamente hasta el `pf.m`

- a) Comenzaremos suponiendo que todos los parámetros son conocidos, con $\alpha = 0,5$ y $N = 1000$. En primer lugar, vamos a eliminar el eco mediante filtrado lineal. Como el eco puede modelarse mediante un sistema LTI cuya relación entrada-salida es la ecuación (1), la respuesta al impulso del sistema que introduce eco, que denominaremos $h_e[n]$, es $h_e[n] = \delta[n] + \alpha\delta[n - N]$. Crea una macro que construya y dibuje (con `stem`) la respuesta al impulso del sistema que introduce eco y almacénala en el vector `he`.
- b) Considera el sistema de eliminación de eco descrito por la ecuación en diferencias

$$z[n] + \alpha z[n - N] = y[n], \quad (2)$$

donde $y[n]$ es la entrada y $z[n]$ es la salida sobre la que se ha eliminado el eco. Este sistema tendrá una respuesta al impulso de duración infinita (sistema IIR).

$$h_{er}[n] = \delta[n] - \alpha h_{er}[n - N].$$

Utiliza la función `filter` para calcular la respuesta cuando la entrada es `d=[1 zeros(1,4000)]` (las primeras 4001 muestras de un impulso unitario). Los coeficientes del filtro serán `b=1` y `a = [1 zeros(1,N-1) Alpha]`. Almacena esta aproximación de 4001 a la respuesta al impulso en el vector `her` y dibújala con `stem`.

- c) Calcula la respuesta al impulso global del sistema compuesto por la conexión en serie del sistema que genera eco, ecuación (1), y del eliminador de eco, ecuación (2). Crea la respuesta global mediante

```
hoa = conv(he, her);
```

dibuja la respuesta global con `stem`. Deberías observar que el resultado no es un impulso unitario. Teniendo en cuenta que has calculado `her` para que sea la inversa de `he`, ¿cuál crees que es el motivo de que `hoa` no sea un impulso?.

- d) Implementa un sistema de eliminación de eco mediante `z=filter(her,1,y)`; . Dibuja la salida mediante `plot` y escúchala mediante `soundsc`. No debería escucharse el eco.
- e) Supón ahora que tienes $y[n]$, pero que no conoces ni el valor del tiempo de eco N , ni el coeficiente de reflexión, α . Vamos a desarrollar un método para estimar estos valores a partir de la ecuación (1). Si definimos las autocorrelaciones $R_{xx} = x[n] * x[-n]$ y $R_{yy} = y[n] * y[-n]$, puede comprobarse que

$$R_{yy}[n] = (1 + \alpha^2)R_{xx}[n] + \alpha R_{xx}[n - N] + \alpha R_{xx}[n + N]. \quad (3)$$

Construye y dibuja la autocorrelación $R_{yy}[n]$ en matlab mediante

```
Ryy = conv(y, y(end:-1:1));
stem(Ryy);
```

Observarás que presenta tres picos. Si tienes en cuenta la ecuación (3), la separación entre picos es de N muestras, la amplitud relativa del pico central es $(1 + \alpha^2)$ y la de los laterales α . Mediante esta gráfica puedes por tanto N y α si no los conocieras (como puede suceder en la realidad).

Otra posibilidad para estimar α es utilizar (1)

$$\alpha = \frac{y[n] - x[n]}{x[n - N]}, \quad (4)$$

donde $n - N$ se escoge de forma que $x[n - N] \neq 0$. El método propuesto es por tanto el siguiente: (1) estima N a partir de la distancia entre picos de $R_{yy}[n]$. (2) utiliza la ecuación (4) para estimar α .

- f) Genera una nueva señal con eco mediante la función `CreaEco` utilizando $\alpha = 0,7$ y $N = 750$. Utiliza el método descrito en el apartado anterior para estimar N y α y trata de eliminar el eco a partir de estos valores estimados.