

PEC2

Presentación

La PEC2 contiene dos ejercicios sobre filtrado lineal óptimo y filtrado adaptativo. Su resolución implica resolver tanto cuestiones teóricas como prácticas. Representaciones gráficas y cálculos, que cuando se soliciten, deberán realizarse utilizando MATLAB. Los desarrollos matemáticos deben llevarse a cabo con un procesador de textos que permita escribir las ecuaciones.

Objetivos

Ofrecer una visión general sobre las técnicas de diseño de filtrado lineal óptimo y las ecuaciones del filtro de Wiener, así como la importancia del filtrado adaptativo que proporciona soluciones de gran interés práctico cuando no disponemos de estadísticas estacionarias. Conocer diferentes escenarios en los que utilizaremos el filtrado lineal óptimo y adaptativo

Descripción de la PEC (Práctica Evaluación Continua) a realizar

1) En los sistemas telefónicos de manos libres se produce acoplamiento acústico entre el altavoz y el micrófono. Imaginemos un usuario 1 que hace una llamada al usuario 2. La señal de voz del usuario 1 que suena al altavoz del teléfono del usuario 2 se propaga también hacia el micrófono del usuario 2 a través del aire, y por lo tanto se superpone con la propia señal de este usuario 2. Esta mezcla, por tanto, es la que será transmitida al usuario 1 generando un efecto de eco muy molesto. Una manera de evitar este problema es cortando la transmisión en un lado mientras el otro está hablando (comunicación semidúplex).

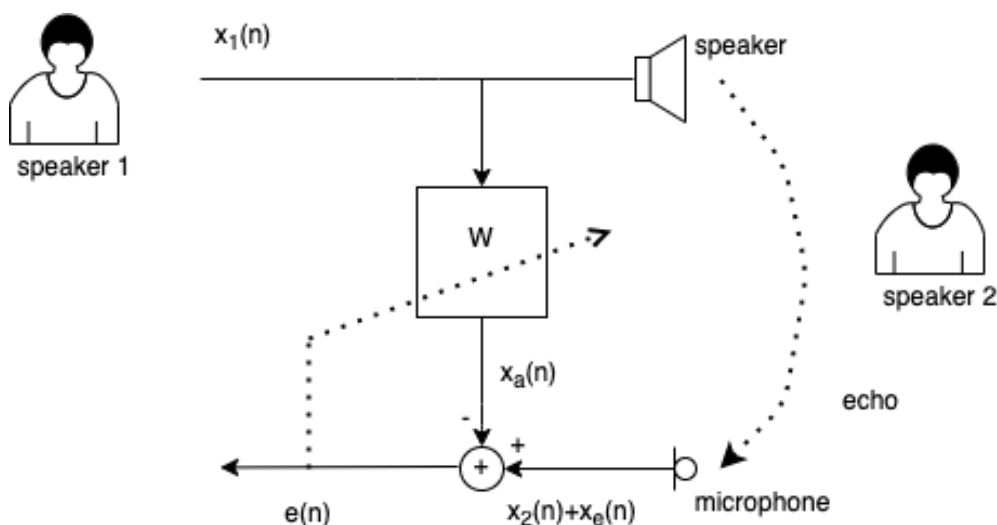
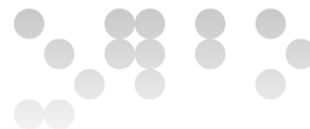


Figura 1: Esquema manos libres



Esta técnica, sin embargo, aunque reduce la presencia de eco, tiene el inconveniente de la pérdida de fluidez y naturalidad de la comunicación. La otra opción, y que estudiaremos en este ejercicio, es utilizar un dispositivo de cancelación del eco acústico mediante el uso de un filtro adaptativo, tal y como se muestra en la figura 1.

Si la autocorrelación de x_1 (locutor 1) es de la forma $R_{x_1x_1} = E[x_1(n)x_1(n-m)] = \alpha^{|m|}$ y la señal de eco es de la forma $x_e(n) = \beta x_1(n-1)$, se pide:

- Explica cómo funciona el esquema para conseguir cancelar el eco al altavoz del locutor 1.
- Razona claramente qué márgenes de valor tendrían sentido físico en este escenario, para los parámetros α y β . Elija un valor para cada uno de ellos.
- Determine las ecuaciones necesarias para calcular los valores óptimos de los coeficientes del filtro adaptativo W para el caso general de P coeficientes, considerando que la correlación cruzada entre las señales originales de los dos locutores es nula.
- Razonar cuál sería el mínimo número de coeficientes que debería tener el filtro para poder cancelar el eco en este escenario.
- Considere ahora que el filtro tiene 4 coeficientes. Determine exactamente los valores de los coeficientes del filtro W , a partir del resultado de los apartados anteriores. Calcular la norma del error de los coeficientes respecto de los valores teóricos (use la función `norm` del Matlab). Comente el resultado.
- Genere el código matlab necesario para obtener la solución exacta del filtro de Wiener utilizando como señal del locutor 1 y del locutor 2 los señal 'ManAudio.mat' y 'WomanAudio.mat', respectivamente, que ya utilizaste la PEC1. Utilice el valor del parámetros α y β que ha decidido en el apartado (b). Para el número de coeficientes del filtro, considere el valor $P = 4$. Dar los valores obtenidos para los coeficientes del filtro. Comente el resultado.
- Detalle como quedaría, para el caso del apartado anterior, el filtro adaptativo entrenado con LMS. Dé las ecuaciones y el código Matlab que se necesitaría para implementarlo, utilizando como señal del locutor 1 y del locutor 2 los señal 'ManAudio.mat' y 'WomanAudio.mat', respectivamente, que ya utilizaste la PEC1. Dado que la frecuencia de muestreo de estas señales era muy elevada, aplique una delmació por un factor de 10 y tome como entrada las señales en el rango de muestras 4000: 580000, tal y como se muestra a continuación:

```
% data
F = 10;
load ManAudio, x1 = decimate(data(4000:580000,1)',F);
load WomanAudio, x2 = decimate(data(4000:580000,1)',F);
fs = fs/F;
```

Utilice el valor del parámetro β que ha decidido en el apartado (b). Para el número de coeficientes del filtro, considere el valor $P = 4$. Representa la evolución temporal de los coeficientes del filtro W y dé su valor final. Calcular la norma del error de los coeficientes respecto de los valores teóricos. Comente el resultado, comparándolo con los resultados anteriores.

- Repetir el apartado anterior para
 - P igual al mínimo teórico obtenido en el apartado (d).
 - $P = 10$.



Para los dos valores de P considerados, representa la evolución temporal de los coeficientes del filtro W y dé su valor final. Calcular la norma del error de los coeficientes respecto de los valores teóricos. Comente el resultado, comparándolo con los resultados anteriores.

- i) Escuchar (instrucción 'sound' del matlab) la señal que recibe el locutor 1 ($e(n)$), y compararla con la señal que recibiría sin la corrección que hace el filtro de Wiener ($x_2 + x_e$). Comentar el resultado.
- j) ¿Cómo se podría mejorar el resultado del filtro adaptativo? Porque?

2) Los métodos clásicos de predicción lineal están basados en la minimización del error cuadrático, que es la diferencia entre la señal de entrada y su predicción, tal y como se ve en la figura 1:

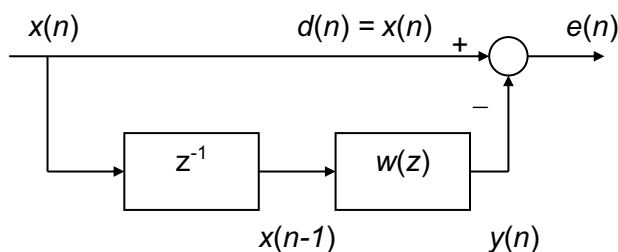


Figura 2: Esquema clásico de predicción lineal

La solución óptima es la que ya conocemos y se obtiene a partir de las ecuaciones de Wiener.

- a) Escribe la expresión de la señal $y(n)$ en forma vectorial, definiendo claramente cada uno de los términos en función de las variables de la figura 2. Considera que el filtro W es de 3 coeficientes.
- b) Escribe la solución del filtro óptimo para el caso anterior, definiendo claramente todos los términos a partir de las variables de la figura 2.

Si la distribución de la señal de error no es Gaussiana, esta solución no es óptima. En este caso, el error mínimo se obtendría según el esquema que se propone (figura 3):

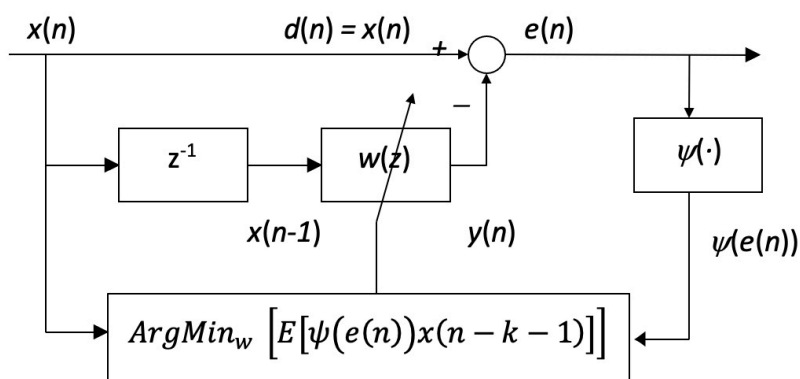
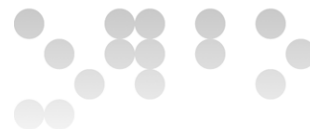


Figura 3: Esquema propuesto



Fijémonos en que la estructura es esencialmente la misma pero ahora los coeficientes del filtro W se adaptan de forma que se minimiza la función $E[\psi(e(n))x(n-k-1)] = 0$, $k = 0, \dots, L-1$, donde L es el número de coeficientes del filtro y $\psi(x)$ es la función score, definida como:

$$\psi(e) = \frac{\partial \log(p(e))}{\partial e} = \frac{p'(e)}{p(e)}$$

donde $p(e)$ es la función de densidad de probabilidad (*fdp*) de la señal e .

- c) Considera e una señal con una *fdp* Gaussiana, de media nula y desviación estándar 1, es decir $\mu = 0$ y $\sigma = 1$. Determinar la función score $\psi(e)$ para este caso.
- d) Utilizando ahora la ecuación $E[\psi(e(n))x(n-k-1)] = 0$, $k = 0, \dots, L-1$ con la función score del apartado anterior, determinar el conjunto de ecuaciones que se obtienen e interpretarlas.

Dado un vector de observaciones de T muestras, $\mathbf{x} = \{x(1), x(2), \dots, x(T)\}$, el algoritmo que permite determinar los coeficientes del filtro en el caso de una distribución general (no forzosamente Gaussiana), está codificado en matlab en el fichero PAC2_2.m. Veréis que para la parte de la estimación de la función score hay varias alternativas (líneas 63-70 del código). La alternativa 1 es la que estima la *fdp* real que tenemos.

- e) Ejecutar el código PAC2_2.m con la alternativa 1 para el caso de $W = 20$. Tenga en cuenta que quizás se estará valores de parámetros para que el sistema converja correctamente. Indique, en su caso, los nuevos valores de los parámetros ajustados. Muestre los valores finales de los coeficientes del filtro W y su evolución a lo largo de las iteraciones del algoritmo.
- f) Repetir el apartado anterior con la alternativa 2 y la alternativa 3. Indicar, en su caso, los nuevos valores de los parámetros ajustados en cada caso.
- g) Comparar cómo es la distribución de la señal de error en todos los casos y razone, a partir de ahí, de las gráficas que ha generado y del valor de ganancia que devuelve el algoritmo, los resultados obtenidos.
- h) Explorar el efecto de la función no-lineal en la alternativa 3. Puedes intentar otras funciones como x^3 , $\text{sign}(\cdot)$, etc., y puedes aplicar funciones no-lineales a ambas variables en el cálculo de la función `xcorr`. ¿Por qué puede ser interesante utilizar el algoritmo de la alternativa 3 en vez de los otros dos?



Recursos

MATLAB,

Módulo 2. Filtrado lineal óptimo

Módulo 3. Filtros adaptativos

Criterios de valoración

Cada ejercicio se puntúa sobre 10. Los dos ejercicios valen lo mismo.

Formato y fecha de entrega

Se debe entregar la solución en **un solo archivo PDF**. El documento debe estar realizado con un procesador de textos que disponga de un editor de ecuaciones. No se admitirán ficheros con ecuaciones escritas a mano. **No se admitirán archivos que no sean en formato PDF.**

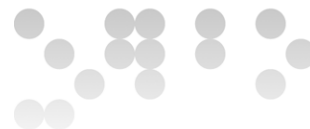
El nombre de este archivo debe tener el siguiente formato:

[Nom_usuari_uoc] _PEC [numero_PEC] .pdf

La fecha límite de entrega es el lunes 26 de abril de 2021 (antes de las 12 de la noche).

Respecto a los ejercicios:

1. Utilice un editor de ecuaciones cuando tenga que poner expresiones matemáticas (el propio editor de Office le sirve).
2. Explique las cosas de forma clara y concreta.
3. **Para todos los apartados resueltos con Matlab, agregue el código para reproducir el ejercicio y las figuras que decide generar, de manera que yo pueda copiar y pegar el código en Matlab (por lo tanto, no una imagen del código sino el texto del código)**

**Nota: Propiedad intelectual**

A menudo es inevitable, al producir una obra multimedia, hacer uso de recursos creados por terceras personas. Es por lo tanto comprensible hacerlo en el marco de una práctica de los estudios del Máster, siempre que esto se documente claramente y no suponga plagio en la práctica.

Por lo tanto, al presentar una práctica que haga uso de recursos ajenos se presentará junto con ella un documento en el que se detallen todos ellos, especificando el nombre de cada recurso, su autor, el lugar donde se obtuvo y el su estatus legal: si la obra está protegida por copyright o se acoge a alguna otra licencia de uso (Creative Commons, GNU, GPL). El estudiante deberá asegurarse que la licencia no impida específicamente su uso en el marco de la práctica. En caso de no encontrar la información correspondiente deberá asumir que la obra está protegida por copyright.

Deberán, además, adjuntar los archivos originales cuando las obras utilizadas sean digitales, y su código fuente si corresponde.

Otro punto a considerar es que cualquier práctica que haga uso de recursos protegidos por copyright no podrá en ningún caso publicarse en Mosaic, la revista del Graduado en Multimedia en la UOC, a no ser que los propietarios de los derechos intelectuales den su autorización explícita.