

Práctica 3

Nombre del curso: Teoría Moderna de la Detección y Estimación

Autores: Emilio Parrado Hernández



Universidad
Carlos III de Madrid

Práctica 3: Cancelación de ruido mediante filtrado.

Teoría Moderna de la Detección y la Estimación
Curso 2012–2013

23 de septiembre de 2013

1. Introducción

En esta práctica vamos diseñar dos canceladores de ruido: el primero consiste en un diseño estacionario basado en un filtro de Wiener aproximado, y el segundo se trata de un diseño adaptativo basado en el LMS. De este modo, en esta práctica distinguiremos los dos modos, bloque y adaptativo, de entrenar los filtros.

Este tipo de canceladores se utilizan, por ejemplo, en comunicaciones por radio entre pilotos de aviones para paliar el efecto nocivo del ruido de los motores y del viento dentro de la cabina. El principio de funcionamiento del cancelador de ruido es el siguiente: se coloca un segundo micrófono dentro de la cabina a partir del cuál se estima el ruido que se transmite cuando el piloto habla por su micrófono. Esta estimación de ruido se resta de la señal recogida en el micrófono del piloto, con lo que se espera eliminar gran parte del ruido de cabina en la señal que se transmita finalmente por radio.

La situación concreta con la que vamos a trabajar en la práctica es una idealización de la situación anterior puesto que la señal de voz del piloto y el ruido de la cabina **no son, en general, procesos estacionarios**.

Dentro del fichero `PracticaFiltrado.mat` están las variables s , d y $v2$, que se corresponden con los procesos $s[n]$, $d[n]$ y $v2[n]$ del esquema de la Figura 1.

El objetivo de la práctica es calcular los coeficientes del filtro, w_0 a w_{P-1} que hacen que la señal $\hat{v}_1[n]$ sea una buena aproximación de $v_1[n]$, convirtiendo la señal de error del filtro ($\hat{s}[n]$ en la Figura 1) en una buena reconstrucción de la señal de voz del piloto.

La variable s del fichero `PracticaFiltrado.mat` puede usarse para medir las prestaciones del cancelador en términos del valor cuadrático promedio de la señal error de reconstrucción de la señal de voz

$$er[n] = s[n] - \hat{s}[n]$$

2. Filtro de Wiener aproximado

En este primer apartado el alumno deberá implementar una aproximación del filtro de Wiener dado por la expresión:

$$\mathbf{w} = R_X^{-1} \mathbf{r}_{DX}$$

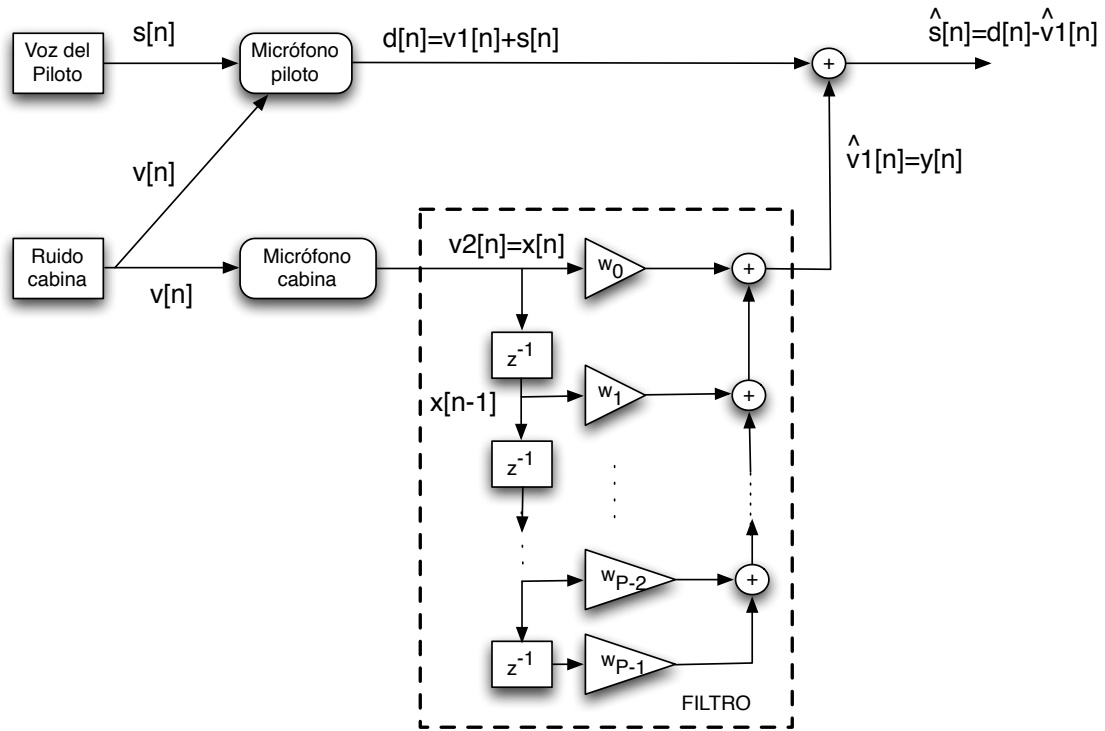


Figura 1: Esquema de cancelación de ruido mediante filtrado. El filtro aparece encerrado en la caja punteada.

Hablamos de aproximación porque no conocemos los valores reales de las matrices de autocorrelación de la señal de entrada (R_X) y del vector de correlaciones cruzadas entre entradas y señal deseada (\mathbf{r}_{DX}), por lo que vamos a obtener una aproximación muestral de los mismos. Con objeto de garantizar que la matriz de autocorrelación estimada sea definida positiva, vamos a estimarla como un promediado de matrices de autocorrelación de rango uno. Estas matrices de rango uno son las que se obtendrían considerando un único vector formado por el valor de señal $x[n]$ y los $P - 1$ valores anteriores de la señal $x[n - 1]$ a $x[n - P + 1]$.

1. Implemente una función de Matlab que a partir de la señal de entrada al filtro ($x[n]$), la señal deseada ($d[n]$) y una memoria del filtro dada (P) le permita calcular los coeficientes del filtro de Wiener y los devuelva vector de pesos \mathbf{w} .
2. Diseñe ahora otra función de Matlab que le permita, a partir de la señal de entrada al filtro ($x[n]$) y el vector de coeficientes del filtro (\mathbf{w}), calcular la salida del filtro para cada instante (para cada elemento de $x[n]$),

$$y[n] = \mathbf{w}^T \mathbf{x}[n] = \sum_{k=0}^{P-1} w[k]x[n - k]$$

Dado que para calcular la salida del filtro asociada a los primeros instantes $\mathbf{x}[1], \mathbf{x}[2], \dots, \mathbf{x}[P - 1]$, necesitamos conocer $x[0] \dots x[1 - P]$, considere que estos valores son 0.

3. Considerando un filtro de memoria $P = 5$, utilice las funciones anteriores para construir el filtro de Wiener que permite estimar el ruido presente en la voz del piloto y utilizar esta estimación para cancelar dicho ruido. Analice cualitativamente las prestaciones del cancelador mediante la visualización de las señales involucradas: la señal original "voz del piloto", $s[n]$, la señal contaminada por el ruido que sale del micrófono del piloto, $d[n]$, el ruido registrado por el micrófono de cabina,

$v[n]$ y, finalmente, represente la señal a la salida del cancelador, $y[n]$, así como la señal resultante del proceso de cancelación de ruido, $\hat{s}[n]$.

3. Determinación de la memoria del Filtro de Wiener

Un elemento importante en el diseño del filtro es la determinación del número de coeficientes P (nótese que hasta ahora hemos trabajado con un valor de P fijado arbitrariamente). La siguiente tarea a realizar consiste en implementar un procedimiento razonable para determinar P .

1. En primer lugar, vamos a determinar el mejor valor de P como aquel que proporciona un menor error cuadrático promedio de reconstrucción,

$$ECP = \sum_{n=1}^N (s[n] - \hat{s}[n])^2.$$

Para ello, obtenga el filtro de Wiener para un rango de valores de P desde 2 hasta 15 y, para cada filtro, calcule el valor promedio del error cuadrático de reconstrucción de la voz del piloto. ¿Qué valor de P emplearía si desea tener un error cuadrático promedio menor de 0,1?, y ¿si se desea que sea menor de 0,01?. Analice cualitativamente las prestaciones del cancelador para estos valores de P y compárelas con las del apartado anterior.

2. También es posible determinar un valor adecuado de P analizando el valor absoluto de los coeficientes del vector de pesos: si comparamos los vectores de pesos obtenidos para cada iteración (suponemos que todos los vectores de pesos son de longitud 15 y rellenamos con ceros los de las iteraciones anteriores a $P = 15$), podemos ver que existe un salto cuantitativo en el valor absoluto de los coeficientes que se da a partir de un valor de P suficientemente grande. Esto quiere decir que aumentar el número de coeficientes no conlleva una mejora significativa en las prestaciones del filtro. Repita el apartado anterior analizando los valores de los coeficientes del filtro, en vez del error cuadrático medio, e indique qué valor de P emplearía ahora.

4. Cancelación de ruido adaptativa basada en LMS

En la sección anterior hemos diseñado un filtro estacionario en modo fuera de línea, es decir, el vector de coeficientes o pesos se determina en un proceso anterior al filtrado propiamente dicho. En esta sección diseñaremos un filtro adaptativo, es decir, los coeficientes del filtro se actualizan después de filtrar cada muestra.

El algoritmo que vamos a usar para la actualización de coeficientes es el LMS. Teniendo en cuenta que los coeficientes se recogen en un vector $\mathbf{w}[n]$, la ecuación que nos proporciona los coeficientes que se emplearán para filtrar la muestra $x[n + 1]$ es:

$$\mathbf{w}[n + 1] = \mathbf{w}[n] + \mu e[n] \mathbf{x}[n]$$

1. Para completar el diseño de este filtro adaptativo, implemente una función de matlab que permita calcular, muestra a muestra, los coeficientes del filtro LMS. Para ello, esta función tomará como variables de entrada la señal de entrada al filtro ($x[n]$), la señal deseada ($d[n]$) y una memoria del filtro (P), y devolverá los coeficientes del filtro $\mathbf{w}[n]$, así como la señal a la salida del filtro en cada instante de tiempo $y[n]$.

- Admitiendo como bueno un valor de P igual a 10 y una tasa de aprendizaje de 0,02, obtenga el filtro LMS que permite estimar el ruido presente en la voz del piloto y utilice su salida para cancelar dicho ruido. Analice cualitativamente las prestaciones de este cancelador.

5. Determinación de la la tasa de aprendizaje del filtro LMS

El valor de la la tasa de aprendizaje μ es crítico en el funcionamiento del LMS. En este apartado vamos a estudiar las implicaciones que tiene este parámetro sobre las prestaciones del filtro.

- En la clase de teoría se vio una cota superior para este valor: $0 < \mu < \frac{2}{P\mathbb{E}\{x[n]^2\}}$. Calcule, usando Matlab, una aproximación al valor de esta cota.
- Seguidamente implemente un procedimiento basado en un bucle `for` para determinar qué valor de μ del rango dado por `RangoMu=[1/200 1/20 1/4 1/2]*MaxMu`, siendo `MaxMu` la cota superior calculada anteriormente, es el más idóneo para este problema. En cada iteración el bucle deberá:
 - Fijar el valor de μ correspondiente.
 - Simular el filtro adaptativo para ese valor de μ .
 - Calcular y almacenar el valor promedio del error cuadrático de reconstrucción de la voz del piloto para ese valor de μ .

Una vez finalizado el bucle, obtenga el valor óptimo de μ como aquel que proporciona el menor error cuadrático medio.

- Por último, vamos a analizar cualitativamente las prestaciones de este cancelador en función del valor de μ empleado mediante la visualización de las señales involucradas. Para cada uno de los valores de `RangoMu` explorados represente:
 - La señal de voz del piloto $s[n]$, y con `hold on` represente encima la señal de voz reconstruida $\hat{s}[n]$.
 - En otra figura represente el error cuadrático acumulado tras cada iteración del filtro,

$$e2[n] = \sum_{n'=1}^n (s[n'] - \hat{s}[n'])^2$$

A la vista de estas figuras, ¿qué valor de μ emplearía?