

PRÁCTICA 2: DISEÑO DE UN FILTRO DIGITAL PARA LA ELIMINACIÓN DE RUIDO EN UNA SEÑAL DE AUDIO

1. Introducción

En la presente práctica se diseñará un filtro digital para eliminar ruido, es decir, componentes de frecuencia no deseadas, de una señal de audio.

La señal de audio que va a escuchar es un fragmento de sonido de la película “2001, A Space Odyssey”. En la escena correspondiente al fragmento de audio, el ordenador HAL9000 habla con el protagonista para intentar, desesperadamente, que no le desconecte. En la grabación encontramos dos elementos más: La respiración del protagonista y un ruido agudo y localizado procedente del casco.

Introducción Teórica

La finalidad de un filtro es procesar una señal presente a su entrada, de forma que la señal de salida presente unas características frecuenciales cambiadas conforme a ciertas especificaciones.

Los filtros digitales pueden realizarse como filtros de respuesta impulsional infinita (IIR) o de respuesta impulsional finita (FIR).

Los filtros IIR se implementan con ecuaciones en diferencia que permiten calcular las muestras de salida de forma recursiva:

$$y[n] = - \sum_{i=1}^N b_i y[n-i] + \sum_{i=0}^M a_i x[n-i]$$

donde a_i y b_i son los coeficientes del filtro.

La salida $y[n]$ es función de los valores actuales y pasados de la entrada, y de valores pasados de la salida, el filtro IIR es un sistema realimentado.

Los filtros FIR se describen mediante la ecuación en diferencias:

$$y[n] = \sum_{i=0}^M a_i x[n-i]$$

donde M es el orden del filtro.

En el filtro FIR la salida $y[n]$ sólo depende de los valores pasados de la entrada $x[n]$.

FIR vs IIR

- Los filtros FIR se pueden diseñar para tener una respuesta de fase estrictamente lineal (distorsión de fase nula), lo que es importante en muchas aplicaciones, como transmisión de datos, audio digital y procesamiento de imágenes. La respuesta de fase de filtros IIR no es lineal.
- Los filtros FIR son estables, sin embargo, la estabilidad de los filtros IIR siempre debe comprobarse, ya que son sistemas realimentados.
- Para satisfacer unas especificaciones dadas los filtros FIR necesitan un mayor número de coeficientes que los filtros IIR. Por lo tanto, los requerimientos de memoria, el número de operaciones y los tiempos de procesamiento son mayores para los FIR que para los IIR.

2. Actividades

El material que acompaña a este guión es:

- Fichero de audio hal9000.wav
- Script de Matlab p2.m

Abra con el editor de Matlab el script p2.m, para ello, primero modifique el path de Matlab para colocar el directorio de trabajo en la carpeta que contengan los documentos de la práctica.

Ejecute el script en modo cell, de forma que cada cell del script se corresponde con uno de los segmentos en los que está subdividida la práctica.

1. Segmento 1: Ejecute el cell correspondiente al segmento 1.

- ¿Cuál es la frecuencia de muestreo de la señal?
- ¿Con cuántos bits está codificada? Puede utilizar la ayuda de Matlab:

`help wavread`

- En este cell se reproduce el fichero de audio. Escuche atentamente e intente identificar los rangos de frecuencia de cada componente (de las tres comentadas). ¿Por qué se ha elegido esta señal de audio para ser filtrada? (Piense en términos de frecuencias)

2. Segmento 2: Ejecute el cell correspondiente al segmento 2.

- ¿Qué sucede si disminuye o aumenta el tamaño de la ventana de análisis (parámetro anchura_ventana? Obtenga dos espectrogramas, uno con alta resolución en frecuencial ($\text{anchura_ventana} = 1024$) y otro con alta resolución temporal ($\text{anchura_ventana} = 256$). Analice las

diferencias de las representaciones obtenidas. Para apreciar mejor las diferencias entre ambos espectrogramas realice en cada uno de ellos un *zoom*, por ejemplo de los 3 primeros segundos y de 0 a 2500 Hz aproximadamente.

- Intente identificar en el espectrograma las componentes correspondientes a cada elemento de la señal de audio (recuerde, voz de HAL9000, respiración del protagonista, ruido).

3. Segmento 3: Arranque la herramienta `fdatool`. Para ello escriba en la línea de comandos:

```
fdatool
```

`fdatool` es un herramienta gráfica para el diseño de filtros, que se construye especificando las características de los mismos. Diseñe un filtro FIR con las siguientes especificaciones:

- Filtro paso bajo.
 - Frecuencia de corte en banda de paso: 3,1 kHz.
 - Frecuencia de corte en banda eliminada: 5 kHz.
 - $A_{\text{pass}} = 1$ dB.
 - $A_{\text{stop}} = 80$ dB.
 - Ventana de kaiser.
 - Orden mínimo.
-
- Observe la respuesta en amplitud y la respuesta en fase del filtro. ¿Qué tipo de filtro es según la fase(aproximadamente)?.
 - ¿Cuál es el orden del filtro resultante? Relacione el orden del filtro con la ecuación en diferencias que describe un filtro FIR.

4. Segmento 4: Exporte el filtro diseñado en el Segmento 3 al workspace en modo Object, y renómbrelo como `lpf`. Ejecute en modo celda el Segmento 4, en este segmento se procederá a filtrar la señal de audio con el filtro diseñado en el Segmento 3. La señal filtrada se nombra en el script como `z`. También va a escuchar la señal filtrada.

- ¿Qué diferencias percibe al escuchar la señal filtrada respecto a la señal original?

5. Segmento 5: En este segmento se visualiza el espectrograma de la señal filtrada. Ejecute el cell correspondiente a este segmento.

- ¿Qué cambios observa respecto al espectrograma de la señal sin filtrar (utilizando el mismo valor del parámetro `anchura_ventana`)?

- El filtrado no ha conseguido eliminar por completo el ruido de fondo. ¿Qué cambios propondría en el diseño del filtro para mejorar la eliminación del ruido?
 - Diseñe con `fdatool` un filtro que mejore las prestaciones del diseñado en el segmento 4. Debe mantener las especificaciones del segmento 3, pudiendo variar las frecuencias de corte y con un orden máximo de 200.
 - Exporte el filtro al workspace y filtre la señal.
 - Escuche la señal filtrada y visualice su espectrograma.
6. Diseñe ahora un filtro que nos permita conservar el ruido agudo y eliminar la voz de HAL9000 y la respiración.
- Observe en la respuesta en amplitud del filtro la banda de transición para diferentes órdenes del filtro.
7. Diseñe ahora un filtro que nos permita conservar únicamente la voz. ¿Es posible? ¿Por qué?.
8. Por último diseñe un filtro IIR de Butterworth con las mismas especificaciones que el filtro FIR diseñado en el apartado 3.
- Observe la respuesta en amplitud y fase del filtro, compárelas con las del filtro FIR.
 - ¿Cuál es el orden del filtro resultante?.