# Práctica 1: Diseño de un Sistema Digital para eliminación de ruido y reducción de tasa

Asignatura: Codificación de Información Audiovisual

3º de Grado de Ingeniería en Sistemas Audiovisuales y Multimedia

Profesor: Eduardo del Arco Fernández

## Descripción

El objetivo de esta práctica es el diseño de un sistema digital para eliminar, es decir filtrar, el *ruido* de una señal de audio. Además, el sistema reducirá la tasa, en muestras por segundo, de la señal.

Para la satisfactoria realización de la práctica es necesario tener un conocimiento básico, pero claro, de los temas estudiados en la teoría de la asignatura:

* Filtros digitales.
* Diezmado.
* Características de una señal de audio digital.
* Significado del espectro de una secuencia.

La señal de audio es un fragmento de la famosa película, “2001, A Space Odyssey”, dirigida por Stanley Kubrick con la colaboración de Arthur C. Clarke. La señal de audio está extraída de la escena donde el computador HAL9000 habla con el protagonista para evitar su desconexión. La señal tiene tres compontes fácilmente identificables:

* La voz de HAL 9000.
* La respiración del protagonista.
* El sistema de oxigenación del casco del protagonista.

## Introducción teórica

El objetivo del sistema será eliminar el ruido del oxígeno del protagonista y reducir la tasa (en muestras/s) de la señal reproducida a partir de la secuencia. Para ello es necesario disponer de un conocimiento cierto del ancho de banda de la señal y de su espectro. Es posible el conocimiento del espectro de la secuencia mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y también mediante el espectrograma, una herramienta muy útil para analizar señales de audio.

El espectrograma se ha estudiado en otras asignaturas. No obstante, será recordado aquí. El espectrograma o diagrama tiempo-frecuencia es una representación gráfica de la Transformada de Fourier en Tiempo Corto. Se trata de una transformada de Fourier realizada sobre segmentos más pequeños de la señal, de forma consecutiva. Es decir, en vez de realizar la Transformada con toda la longitud de la secuencia, se realiza sobre M muestras. Para ello la secuencia x[n] se multiplica por una ventana (rectangular o con otra forma, como la de Hamming) de M muestras:



La expresión anterior nos proporciona la Transformada de Fourier en Tiempo Corto, pero es una transformada continua. Naturalmente es posible realizar una DFT en lugar de una TF, con lo que la expresión queda así:



Intuitivamente, si la secuencia tiene longitud L, se divide en N fragmentos consecutivos de M puntos (hay N=L/M fragmentos) y se realiza una FFT sobre cada uno de ellos (la FFT será de tantos puntos como deseemos, pero siempre un mínimo de M, véase la teoría). El resultado es un diagrama de tiempo-frecuencia donde la división en M puntos recibe el nombre de ventana de integración. Será necesario llegar a un compromiso entre la longitud de la ventana y la longitud de la secuencia. (Si desea saber más, busque sobre el *Principio de Incertidumbre para señales y el Límite de Gabor*).

Gracias al espectrograma podemos conocer cuál es el ancho de banda de la señal en cada uno de los N intervalos temporales. Lo primero que es necesario en esta práctica es averiguar el ancho de banda de la secuencia. La secuencia ha sido muestreada a “Fs”, así que el muestreador ha capturado, como mucho, un ancho de banda de Fs/2. Recuérdese que la pulsación normalizada Omega=pi se corresponde con Fs/2.

Así, queremos responder a la pregunta

***¿Cuál es el verdadero ancho de banda de la señal?***

Antes de aplicar un filtro para eliminar el ruido, puede ser interesante diezmar la secuencia para reducir la complejidad del filtro (orden del filtro) a igualdad de prestaciones. Dicho de otro modo:

***¿Podemos despreciar parte de la información capturada y reducir la longitud de la secuencia sin perder información?***

El alumno deberá identificar las partes del espectro que contienen información relevante y utilizar las técnicas de procesado digital que conoce para obtener esta información y reducir lo máximo posible la longitud de la secuencia. Para ello cuenta con parte del código necesario para hacerlo. Deberá analizarlo, ejecutarlo “paso a paso” y realizar diferentes pruebas, acompañadas de un razonamiento basado en la teoría, para encontrar soluciones satisfactorias.

Deberá entregar una memoria con el procedimiento realizado siguiendo el guión, contestando a todas las preguntas y adjuntando las imágenes y los diseños, así como las características del sistema diseñado.

## Guion de la práctica

Los documentos que componen la práctica son:

1. Fichero de audio *hal9000.wav,*
2. Script de Matlab *p1.m*.
3. Función de Matlab *show\_espectro.m*

Abra con el editor de Matlab el script p1.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; a continuación, teclee en la ventana de comando de Matlab la siguiente instrucción:

>> edit p1.m

Se recomienda utilizar la ejecución del 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:** Ejecute el primer *cell*. Responda a las siguientes preguntas:

1.1 ¿Cuál es la tasa a la que fue muestreada la señal de audio?

1.2 ¿Con cuántos bits está codificada la señal?

1.3 Ejecute el *cell* etiquetado con (1). 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 está señal de audio para ser filtrada? (Piense en términos de frecuencias).

**2:** Ejecute el *cell* correspondiente al segmento 2. Responda a las siguientes preguntas.

2.1 Modifique el parámetro *anchura\_ventana* de forma que consiga dos espectrogramas: uno con mejor resolución en frecuencia y otro con mejor resolución en tiempo. Adjunte las figuras.

2.2 Identifique en el espectrograma las componentes correspondientes a cada elemento de la señal de audio (recuerde, voz de HAL9000, voz del protagonista, ruido del oxígeno).

2.3 ¿Cuál es el ancho de banda verdadero de la señal?

**3:** En esta sección se utiliza la función *downsample* para diezmar la secuencia. Elija razonablemente “N” y calcule “fs” para evitar la pérdida de información. Responda razonablemente a las siguientes preguntas:

3.1 Explique por qué ha elegido N y cómo ha calculado “fs”.

3.2 Explique qué ventajas tiene la operación de diezmado antes de utilizar el filtro.

3.3 Adjunte el espectro y el espectrograma.

**4:** Arranque la herramienta *fdatool.* Para ello escriba en la línea de comandos

>> fdatool

FDAtool es una herramienta gráfica para el diseño de filtros. Diseñe un filtro FIR con las siguientes especificaciones:

* Filtro paso bajo con frecuencias de paso y stop a determinar por el alumno.
* Banda de transición de 1kHz.
* Apass = 1 (0 dB).
* Astop = A determinar.
* Ventana de Kaiser y orden mínimo.
* Orden, como mucho de 40.

4.1 Diseñe el filtro hasta alcanzar las prestaciones deseadas.

RECOMENDACIONES:

* Sitúe la banda de transición ayudándose del espectro y diagrama de tiempo-frecuencia.
* Elija la atenuación en banda eliminada de modo que se respeten las especificaciones, pero no es necesario una atenuación excesiva.
* Puede valerse del espectro de la secuencia para determinar si la atenuación elegida es suficiente, así que no dude en moverse entre el paso 4 y 5 hasta obtener la respuesta deseada.

4.2 Adjunte la respuesta en frecuencia del filtro diseñado, así como la respuesta en fase y el diagrama de polos y ceros. Justifique la estabilidad del sistema, así como el tipo de fase y el retardo de grupo.

**5:** En este segmento se procederá a filtrar la señal de audio con el filtro diseñado en 4.

5.1 ¿Qué efecto se ha producido mediante el filtrado? Razone la respuesta en términos de componentes de frecuencia analizando el espectro y el espectrograma.

5.2 Adjunte ambos diagramas, así como una representación en tiempo discreto de la señal filtrada.

5.3 ¿Cómo hubiera sido el filtro pasado al filtrar directamente sin el diezmado de la sección 3?

**6:** En esta sección, utilizaremos de nuevo el diezmado para reducir la tasa de la secuencia (y por lo tanto su longitud). Elija razonablemente “N2” y “fs” para que al reproducir la secuencia (esto es, el DAC del subsistema de audio transforma la secuencia discreta en una señal en tiempo continuo), tenga una duración y tono inteligible.

6.1 Explique por qué ha elegido N2 y como ha calculado “fs”.

6.2 Adjunte el espectro y el espectrograma.

6.3 ¿Se podría haber realizado la operación de diezmado directamente? Explique por qué sí o por qué no. Utilice el código desarrollado en el apartado 3 si lo considera necesario, adjuntando los espectros de un diezmado de mayor orden para ilustrar la explicación.

6.4 Dibuje un esquema completo del sistema digital diseñado.

NOTAS:

* La memoria de la práctica se entregará, como muy tarde, el miércoles 7 de diciembre, mediante entrega electrónica que se habilitará en Moodle.
* La práctica es por parejas o individual, pero nunca más de dos personas pueden formar parte del mismo grupo.
* La copia total o parcial de la memoria de la práctica supone la aplicación literal del reglamento vigente. No hay excusa.
* El profesor dará indicaciones durante la clase de laboratorio, pero NO resolverá la práctica.