

Aplicaciones de la STFT: Demodulación FSK y DTMF

El trabajo final se realizará por parejas pero se evaluará individualmente. Constará de una memoria escrita y un conjunto de archivos-*m* con código MATLAB tales que resuelvan el supuesto práctico expuesto más abajo.

La memoria constará de no más de 8 caras en formato DIN A4 en las cuales habrá una introducción teórica general (ésta no sobrepasará las cuatro caras) y cuatro caras dedicadas a la teoría, planteamiento y resolución del problema.

Los archivos-*m* se entregarán en un disquete/memoria usb y los listados impresos NO DEBEN adjuntarse a la memoria.

La evaluación se realizará de acuerdo con el contenido de la memoria y con la capacidad de resolver el problema propuesto, y otros semejantes el día del examen, con el código MATLAB generado por el alumno. El examen será por parejas, y de unos 15 minutos de duración. Se recomienda una presentación gráfica y textual de los resultados del trabajo por parte de los alumnos al profesor mediante la ejecución de un fichero de comandos MATLAB. A lo largo de la entrevista se buscará por parte del examinador la componente de originalidad en la solución y, sobre todo, la inexistencia de calcos de otros trabajos.

En la tercera semana de enero se fijarán los horarios para el examen del trabajo final en forma de unas hojas, disponibles en el laboratorio SSR, y en donde se deberán apuntar los alumnos para ser examinados. En ellas constarán los días y horas del examen.

El objetivo del trabajo final del laboratorio es la aplicación de la Transformada Fourier Local (STFT) a la demodulación de señales binarias-FSK (Frequency Shifting Key), incluyendo como caso particular la demodulación de señales DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency)). En el caso de FSK binarias hay dos posibles frecuencias, f_0 y f_1 , a utilizar y en la modulación se elige una u otra en función del valor de la señal binaria. En el caso de DTMF, la modulación es también FSK pero hay 7 posibles frecuencias a elegir y cada símbolo está compuesto por dos de ellas solamente. En ambas situaciones la demodulación se lleva a cabo mediante la STFT. **No se admitirán soluciones que no involucren el uso de la STFT en la demodulación.** El alumno ha de determinar la frecuencia/s que acarrea la señal en un instante de tiempo determinado (preferentemente el correspondiente a la mitad de la duración del símbolo) con ayuda de la función $\max(\)$. Una vez determinado el máximo, es decir, la frecuencia/s presente/s, tendremos el bit al que corresponde que se irá introduciendo en un vector con todos los bits. Posteriormente el vector de bits será decodificado considerándolo como caracteres ASCII, en el caso de la modulación FSK-binaria, o como perteneciente a un símbolo del teclado telefónico, en el caso de la modulación DTMF.

Problema 1: Demodulación de una señal FSK binaria mediante la STFT

El alumno tendrá que leer de archivo la señal modulada FSK y deberá de decodificar el mensaje que acarrea. Para codificar el mensaje, cada uno de los caracteres ASCII se ha codificado con 8 bits/carácter para obtener una secuencia de 0 y 1 que luego se ha modulado a

una señal FSK mediante la asignación de una frecuencia f_0 para los ceros y otra f_1 para los unos. Dentro del archivo a demodular se encuentran, además de los valores de la señal, los valores de f_0 y f_1 y f_s (la frecuencia de muestreo), así como la velocidad de bits de la que puede extraerse el tamaño del bit. Con dichos parámetros y mediante la utilización de alguna herramienta que calcule la STFT, se podrá demodular la señal incógnita. Se utilizará como herramienta para calcular la STFT la función `spectrogram()` de MATLAB. Véase el help de MATLAB para el uso de esa y otras funciones.

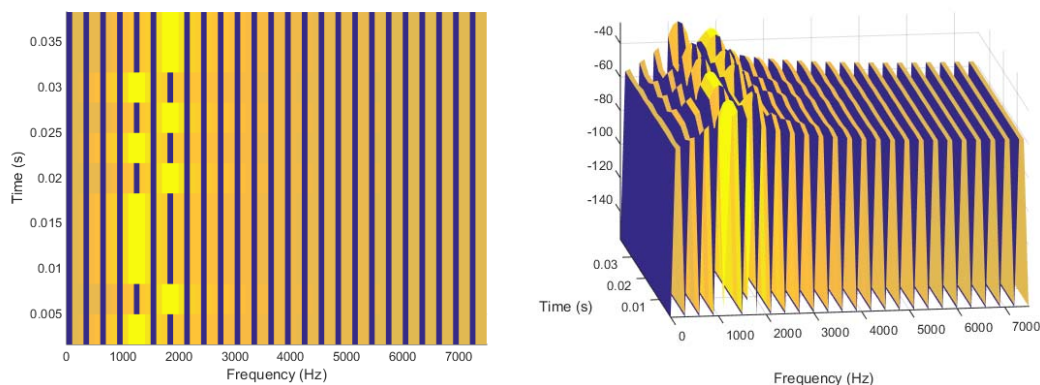
Se sugieren los siguientes pasos.

Lectura de la señal incógnita del archivo “incógnita.mat”.

Este tipo de archivos se leen con el comando `load('nombre_archivo')`. La lectura del archivo proporcionará todas las constantes necesarias para resolver el problema.

Representación de la señal incógnita mediante la función `spectrogram()`.

Primeramente se aconseja utilizar la función `spectrogram` en la forma `spectrogram(signal,window,noverlap,nfft,fs)`; en donde `signal` es un vector conteniendo la señal o parte de ella y habrá que escoger con cuidado la ventana (almacenada en `window`), tanto en longitud como en tipo. Se recomienda no solapar las ventanas (`noverlap = 0`), así como que `nfft`, la longitud de las dft-s, sea igual o dos o tres veces mayor que la longitud del vector `window`. Para ver la estructura del espectro conviene no cargar toda la señal, es decir, bastaría con cargar las primeras 600 muestras (haciendo `signal(1:600)`). El aspecto del espectrograma de las 600 primeras muestras debería ser parecido al de la figura de la izquierda. Nótese cómo se alternan las dos frecuencias en la evolución temporal de la señal. Las bandas azules se corresponden con los mínimos de la densidad espectral de energía, como muestra la figura de la derecha que es una vista en perspectiva.



Posteriormente, a fin de obtener los valores de la STFT, se recomienda utilizar el comando `[S,F,T] = spectrogram(signal,window,noverlap,nfft,fs)`; Ponga cuidado en introducir ahora TODA LA SEÑAL en `signal`. Consulte la ayuda de MATLAB para ver en qué forma puede ayudarle dicha función para obtener la STFT. Como pista considere que TODA la información que necesita está en los argumentos de salida `[S,F,T]` de `spectrogram`.

Si se ha usado el tamaño correcto de ventana, y si se muestrea con cuidado el vector de tiempos, se podrá obtener una muestra en el centro del máximo de cada frecuencia, con lo cual,

mediante la ayuda de la función `max()` para encontrar en qué frecuencia, f_0 o f_1 , se produce el máximo de $|S|$, podrá obtenerse la secuencia de ceros y unos que componen la señal almacenada en `signal`.

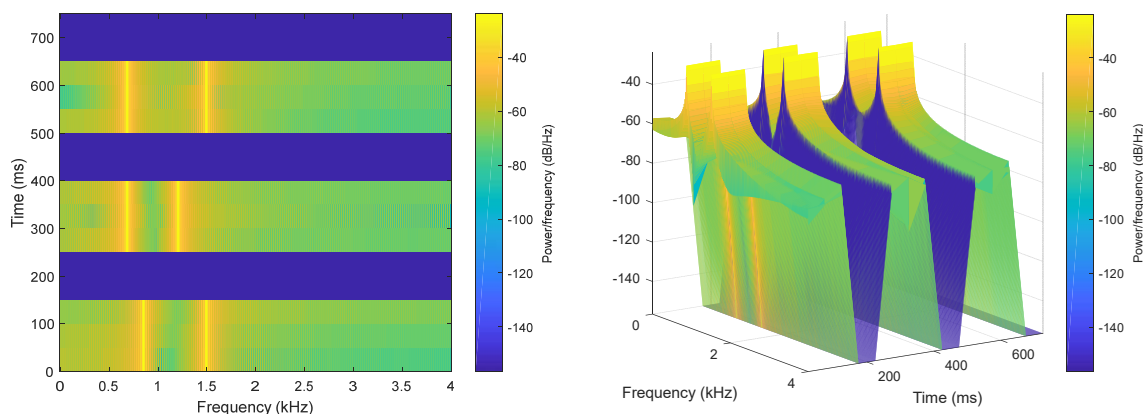
Conversión de la secuencia de unos y ceros a texto ASCII.

A partir del vector de unos y ceros, previa agrupación en tandas de 8 bits, es fácil obtener la cadena de texto la cual contiene el mensaje legible.

El alumno debería programar una función `bin2txt`. Por si no sabe hacerlo o no quiere perder tiempo, se proporciona el archivo `bin2txt.p` que resuelve este problema. No obstante, su utilización restará puntos. El help de dicha función es el siguiente:

```
function txt = bin2txt(bits)
%BIN2TXT      Convierte cadena de bits en cadena de texto.
%
%  USO:
%      bin2txt                % Proporciona un ejemplo
%      txt=bin2txt(bits)      % Utilización normal
%
%      txt:      Cadena de caracteres alfanuméricos
%      bits:     Secuencia de unos y ceros;
```

Problema 2: Demodulación de una señal DTMF mediante la STFT.



Una señal DTMF (es una señal FSK que en vez de utilizar dos frecuencias (y sólo una de ellas presente, como en el apartado anterior), se utilizan siete frecuencias posibles, si bien cada símbolo puede contener solamente dos frecuencias a la vez f_1 y f_2 . A partir del contenido en frecuencia la tabla siguiente nos proporciona los diferentes símbolos.

Los posibles valores de las frecuencias son los dados en la siguiente tabla.

$f_1 \backslash f_2$	1224 Hz	1368 Hz	1512 Hz
704 Hz	1	2	3
792 Hz	4	5	6
872 Hz	7	8	9
956 Hz	#	0	*

El teclado telefónico está en negrita en la tabla. El símbolo **0** contendrá aproximadamente las frecuencias de 956 Hz y 1368 Hz.

Conviene mencionar también que la modulación consiste en símbolos (dígitos) separados por silencios, siendo la duración de cada dígito 150 mseg. y la de cada silencio 100 mseg.

El alumno tendrá que leer de archivo/s con la señal modulada FSK y deberá de decodificar el mensaje que acarrea. El número de teléfono ha sido codificado de acuerdo con la tabla anterior de forma que cada dígito (símbolo) contiene dos frecuencias f_1 y f_2 que lo definen completamente en el esquema anterior. Dentro del archivo a demodular se encuentra, además de los valores de la señal, los valores de f_s (la frecuencia de muestreo). Con dichos parámetros y mediante la utilización de alguna herramienta que calcule la STFT, se podrá demodular la señal incógnita. Se utilizará como herramienta para calcular la STFT la función `spectrogram()` de MATLAB. Véase el help de MATLAB para el uso de ésta y otras funciones.

Los pasos sugeridos serán los mismos que en el problema anterior. La única diferencia consiste en que ahora tenemos que:

a) Para cada instante de muestreo, organizar las frecuencias en dos vectores, uno conteniendo las 4 primeras y otro las 3 últimas.

b) encontrar un máximo (con ayuda del comando `max()` de MATLAB) del espectrograma por cada vector de frecuencias. Cada máximo se producirá a una frecuencia y tendremos entonces una pareja de frecuencias.

c) según la pareja de frecuencias obtenida, los símbolos los proporciona la tabla vista anteriormente.

NOTA: se aconseja trabajar con índices en vez de con frecuencias. Como sabemos, cada frecuencia se asocia a un índice de la DFT de acuerdo con el número de muestras de ésta y de la frecuencia de muestreo f_s .

A la vista de los resultados, Ud. deberá contestar a las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es el mensaje codificado en FSK binario en el archivo “incognita.mat”?
- ¿Cuáles son los números telefónicos ocultos en las señales proporcionadas en los archivos? “telef1.mat” y “telef2.mat”.

Archivos adjuntos.

Listado de archivos que se adjuntan para la realización de esta práctica:

- bin2txt.p Archivo-p (codificado) de MATLAB conteniendo un algoritmo para convertir una cadena de bits en una cadena de texto. Puede ser utilizado para la realización del problema 1 de la práctica **pero esto restaría puntos** en la calificación. Su línea de llamada y encabezado son los mismos que aparecen en la explicación del Apartado 1.
- Incognita.mat Archivo-mat de MATLAB conteniendo una señal incógnita modulada en FSK binario. Además, de la señal el archivo contiene los parámetros necesarios para su demodulación.
- telef1.mat y telef2.mat Archivos .mat conteniendo sendos números de teléfono codificados en FSK de acuerdo con el esquema usual DTMF.

Bibliografía.

[1] Alan Oppenheim, Ronald Schafer,: “*Discrete-Time Signal Processing*”, Ed. Prentice Hall, 1993.

[2] Gustavo Cuevas del Río: “Transformada local de Fourier (STFT)”, apéndice de las transparencias de curso del tema de DFT. Archivo “DFT.pdf”, pp. 57-70, curso 2019-2020.