

Práctica 5:

Aplicaciones de la DFT

Curso 2005/2006

Resumen

La principal aplicación de la DFT es su uso en herramientas de análisis espectral. Esta práctica tiene la finalidad de iniciar al alumno en el análisis espectral de señales desde un punto de vista aplicado.

En general se va a utilizar para realizar el análisis espectral el periodograma modificado por el uso de ventanas. Las ventanas a tener en cuenta son las siguientes:

Ventana	Relación lóbulo principal vs secundario (dB)	Ancho del lóbulo principal (rad)
Rectangular	13	$\frac{4\pi}{M}$
Hanning	31	$\frac{8\pi}{M}$
Hamming	41	$\frac{8\pi}{M}$
Blackman	57	$\frac{12\pi}{M}$

Cuadro 1: Parámetros de las transformadas de las ventanas.

Además, se calculará una estimación de la correlación a partir del periodograma implementado y se utilizará la transformada de Fourier en tiempo corto (STFT) con señales de voz.

1. Programación del periodograma

Realice las siguientes funciones:

1. Programe una función

`[P,f]=periodograma(x,N)`

que calcule N muestras en las frecuencias $f_k = k/N$ $k = 0, \dots, N-1$ del periodograma de las muestras **x**. **P** serán los valores del periodograma, y **f** las correspondientes frecuencias.

2. Programe una función

```
[P,f]=periodmodif(x,ventana,N)
```

que calcule N muestras en las frecuencias $f_k = k/N$ $k = 0, \dots, N-1$ del periodograma modificado de las muestras **x**, usando como ventana el vector **ventana**. Los vectores **x** y **ventana** tendrán la misma longitud. **P** serán los valores del periodograma modificado, y **f** las correspondientes frecuencias.

Las funciones anteriores deberán ser usadas en los apartados 2 y 3

2. Identificación de códigos DTMF

En este ejercicio, vamos a tratar de comprobar la utilidad del análisis espectral en la decodificación de señalización telefónica multifrecuencia. Como se sabe en telefonía existe una forma de transmitir señalización consistente en transmitir una pareja de frecuencias diferente para cada número que se desee transmitir. La tabla de frecuencias se muestra a continuación. Las fases de los tonos generados, son, en general, aleatorias, lo que hace que el aspecto temporal de las señales pueda ser bastante diferente para un mismo dígito.

- El archivo **UNOS.MAT** contiene dos vectores correspondientes a dos unos distintos (fases iniciales diferentes) y con una pequeña proporción de ruido.

Represente, usando **plot** ambos vectores. Compruebe que son diferentes. Igualmente verifique que en el dominio del tiempo no resulta sencillo decidir a qué dígito corresponden las muestras.

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

Cuadro 2: Tablas de códigos multifrecuencia.

El método de análisis que emplearemos será el periodograma modificado de un fragmento de cada dígito. Con el fin de localizar la posición de los picos se le suministra la función **buscapicosu.m**. Consulte la ayuda de esta función antes de usarla.

- El archivo **DTMF.MAT** tiene varios dígitos, correspondientes a un número de teléfono de 7 cifras. Carguelo.
- Salve las muestras en un fichero WAV y oiga la señal.
- Determine gráficamente los límites de cada dígito.

- Determine la longitud mínima de la ventana de Hamming que es necesario emplear para que la resolución resultante sea menor que la mínima separación de las frecuencias de la tabla.
- Intente averiguar cuáles son los números, utilizando para cada dígito el periodograma modificado programado con anterioridad, usando ventanas de Hamming de la longitud determinada en el apartado anterior.
- Suponiendo que para decodificar se empleasen ventanas de Hamming, calcule la máxima velocidad de pulsación de dígitos que se puede tener para poder decodificar correctamente los mismos (suponga que no existen pausas entre los dígitos).
- Indique en qué cambiaría su respuesta si se usasen ventanas rectangulares.

La norma para señalización multifrecuencia tiene las siguientes tolerancias:

Tolerancia de duración. En cuanto a duración mínima, para que una señal (tecla o silencio) se detecte obligatoriamente la duración mínima es de 45 ms. Para que una señal no se detecte obligatoriamente la duración máxima es de 15 ms. En el intervalo intermedio el sistema puede hacer cualquier cosa, es decir, puede decidir o no tono, pero el funcionamiento de admitirá como correcto. Por muy larga que sea la duración de una señal siempre se detecta en el sistema como única.

Tolerancia de frecuencia. La desviación máxima de frecuencia permitida es de 1.5 % respecto del valor nominal.

Tolerancia de potencia. El receptor debe funcionar correctamente con un nivel de potencia de la señal recibida entre 0 y -20 dBW.

- Compruebe si los valores de longitud para la ventana de Hamming cumplen los valores de duración y variación en frecuencia de la norma.
- Realice la misma comprobación para ventana rectangular.

3. El juego de los espías

En este ejercicio, suponga que es el responsable de un servicio de contraespionaje, y que su objetivo es interceptar los mensajes del *enemigo*. Se sabe, que el enemigo transmite mensajes codificados en forma de presencia de tonos *camuflados* junto a otros que solamente pretenden distraer nuestra atención (tonos de camuflaje). En concreto se sabe que emplea dos técnicas:

- Enviar tonos de pequeña amplitud comparados con los de camuflaje (30 dB menos) y de frecuencia claramente distinta a la de los tonos de camuflaje. La separación en frecuencia de estos tonos con los de camuflaje se sabe que es mayor que 0,015 Hz.

- Enviar tonos de amplitud menor aunque comparable a la de los tonos de camuflaje pero de frecuencia muy similar a la de alguno de los tonos de camuflaje. Se ha estimado que la separación mínima de frecuencia que se prevé que utilice es de $1/200$ Hz.

Los tonos de camuflaje son de distinta frecuencia de una transmisión a otra pero en una cierta transmisión todos tienen la misma amplitud. El enemigo transmite estas señales durante bastante tiempo pero interesa ser capaces de detectar la presencia de los tonos lo antes posible (utilizando la mínima cantidad de muestras) dado que es posible que el mensaje implique un riesgo sobre nosotros. Su misión es definir y aplicar el procedimiento para detectar la presencia de los mensajes (tonos), utilizando la mínima cantidad de muestras posibles.

Utilice el fichero `CAMU.MAT` que contiene un vector con muestras de un mensaje interceptado al *enemigo*. Suponga que la frecuencia de muestreo es $f_s = 1$.

- Para comprobar la utilidad de las herramientas de análisis espectral, compruebe, a la vista de las muestras (en el tiempo), si le es posible saber las frecuencias de los tonos de camuflaje y de los posibles mensajes.
- Determine tipo y duración mínima de la ventana para detectar los tonos de pequeña amplitud. ¿Cuántos tonos de pequeña amplitud hay?
- Determine tipo y duración mínima de la ventana para detectar los tonos de frecuencia próxima. ¿Cuántos tonos de frecuencia próxima existen?
- ¿Cuál es el mínimo número de muestras necesario para detectar los tonos de cualquier tipo?
- Dibuje el periodograma modificado de la señal proporcionada determinando el número y posición de los tonos de pequeña amplitud y de los tonos de frecuencia próxima presentes en la señal.

4. Análisis espectral de señales de voz

En este ejercicio se van a comprobar algunas de las propiedades de la voz en el dominio de la frecuencia. Para ello se tomará el fichero `DONDE.MAT` que contiene la palabra “donde” dicha de forma enunciativa e interrogativa en las variables `d1` y `d2`.

El espectro localizado (en fragmentos donde se puede suponer estacionariedad) de la señal de voz se caracteriza por dos aspectos:

- El *pitch* o frecuencia fundamental de los sonidos sonoros. Los sonidos sonoros son cuasi-periódicos. Por lo tanto su espectro está formado aproximadamente por deltas situadas en los armónicos de la frecuencia fundamental. El pitch es el responsable del tono de voz y es de aproximadamente unos 80–100 Hz para los hombres y de unos 150–200 Hz para las mujeres (depende bastante de los individuos particulares).

Para un mismo individuo, y dentro de una frase se producen variaciones del mismo que subjetivamente el cerebro asocia con la entonación de la frase. Así, una frase enunciativa tiene una variación temporal del pitch muy pequeña, mientras que en una frase interrogativa el pitch aumenta al final de la misma.

- Los formantes. Antes hemos mencionado que los sonidos sonoros son casi periódicos. Si el pitch estaba relacionado con el periodo de repetición, los formantes están relacionados con la forma de los periodos. Dicha forma depende, como se sabe de la *envolvente* espectral. Los formantes son las frecuencias de resonancia (picos) de dicha envolvente espectral. La envolvente espectral es la responsable de que identifiquemos los distintos sonidos, es decir, de que distingamos la ‘o’ de la ‘e’, por ejemplo.

4.1. Determinación de la entonación

La percepción que tenemos de la entonación de una frase, como se acaba de comentar, depende de la evolución temporal del pitch. Parece lógico que dado que lo que buscamos es la evolución de una frecuencia (pitch) con el tiempo se utilicen técnicas de análisis tiempo-frecuencia.

Se le suministra la función `stft.m` que implementa la transformada de Fourier de tiempo corto. Para ser capaz de ver la evolución del pitch, es necesario que la resolución en frecuencia de la ventana de análisis empleada permita resolver los distintos armónicos.

- Cargue el fichero `donde.mat`. Dicho fichero contiene los vectores `d1` y `d2` con muestras de la palabra *donde* dicha de forma enunciativa e interrogativa.
- Determine cuál es la longitud mínima de ventana de Hamming que se debería utilizar si no se sabe si el locutor es hombre o mujer, para resolver adecuadamente los armónicos del pitch.
- Utilizando la duración de ventana anteriormente calculada, analice mediante la TF de tiempo corto las señales `d1` y `d2`. Visualice los resultados utilizando las funciones MATLAB: 1) `pcolor` y `shading interp`, 2) `MESH` y 3) `SURF`.
- ¿Puede a la vista de los resultados inferir cuál es la interrogativa?
- Puede comprobar si ha acertado generando y escuchando los ficheros `d1.wav` y `d2.wav`.
- Una vez más, y simplemente para convencerse de la potencia de las técnicas que está empleando, observe las señales en el dominio del tiempo e indique si hubiera sido capaz de encontrar la frase interrogativa en dicho dominio.

5. Estima de la autocorrelación usando el periodograma

Realice los siguientes pasos:

- Programe una función:

```
R=correlperiod(x)
```

que calcule el estimador sesgado de la autocorrelación a partir del cálculo del periodograma. En otras palabras, su función **deberá calcular el periodograma** como paso inicial, y seguidamente realizar las operaciones adicionales necesarias. El fichero `correlperiod.m` contiene el esqueleto de la función que debe programar.

El resultado, `R` contendrá los valores de la estima para $0 \leq m \leq L - 1$, donde L es la longitud del vector `x`.

- Genere un vector de 200 muestras de ruido blanco gaussiano de media nula y potencia 3.
- Calcule el estimador sesgado de la autocorrelación de las anteriores muestras usando la función `xcorr` de MATLAB, con las opciones adecuadas.
- Repita el punto anterior con la función que acaba de programar. Compare los resultados y verifique que coincide con el resultado del punto anterior.