

Laboratorio de Procesado Digital de Señal - 3º GITT

Práctica 2: cambio de la frecuencia de muestreo

En esta práctica se va a trabajar con diferentes técnicas para cambiar la frecuencia de muestreo de una señal, en el dominio discreto, sin necesidad de pasar al dominio analógico.

Se facilita al alumno un archivo de audio y un filtro paso bajo en un archivo de Matlab.

Para el desarrollo de esta práctica el alumno necesita unos altavoces o auriculares.

Programa en Matlab los siguientes apartados, comentando el código.

Al finalizar la práctica, suba a la plataforma web de la asignatura (Moodle) un archivo PDF, en el que se responda a los apartados de la práctica y en el que se presenten las figuras que se piden; y un archivo .m, con el código de Matlab con el que se obtienen los resultados.

Diezmado por un factor entero

El diezmado de una señal consiste en modificar la frecuencia original de muestreo (f_{s1}) reduciéndola por un factor entero de M , de tal forma que:

$$f_{s2} = \frac{f_{s1}}{M}$$

Lo que se traduce en tomar una de cada M muestras de la señal de entrada, e ignorar el resto.

A partir de la señal de audio facilitada, realice los siguientes apartados, respondiendo a las preguntas que se plantean:

- Lea el archivo que le ha facilitado el profesor con una señal de audio. La señal obtenida se denominará $x[n]$. Reproduzca esta señal de audio. Indique la frecuencia de muestreo f_{s1} .
- Represente en el tiempo $x(t)$, a partir de las muestras $x[n]$, con el vector de tiempo empezando en $t = 0$.
- Calcule la señal $y[n]$ como la parte de $x[n]$ que contiene sonido. Es decir, ignore de $x[n]$ las muestras de los intervalos de reposo ($|x[n]| < 0,01 \text{ V}$)¹ anteriores y posteriores a la voz grabada.
- Genere una función de Matlab en la que se diezme una señal muestreada, por un factor M dado. Indique los argumentos de entrada y salida de la función generada.
- Realice el diezmado de $y[n]$ con un coeficiente $M = 2$. La señal resultante será $g[n]$.
- Calcule la nueva frecuencia de muestreo (f_{s2}) de la señal $y[n]$, con la que da lugar a $g[n]$. ¿Cuál será la nueva frecuencia de muestreo de $x[n]$?

¹ Utilice el mismo umbral empleado en la Práctica 1.

- g) Justifique gráficamente, en el dominio del tiempo, que el proceso de diezmado realizado es correcto. Utilice marcadores (puntos, círculos, asteriscos...) en las muestras de la gráfica para apreciar las diferencias más fácilmente.
- h) Justifique gráficamente, en el dominio de la frecuencia, que el proceso de diezmado realizado es correcto. No utilice frecuencias normalizadas (frecuencia digital). Utilice frecuencias analógicas.
- i) En el dominio de la frecuencia, ¿qué pasaría al diezmado $y[n]$ si su espectro tuviese energía entre $f_{s1}/2$ y $f_{s2}/2$? ¿Qué habría que hacer para evitarlo?

Interpolación por un factor entero

La interpolación de una señal consiste en modificar la frecuencia original de muestreo (f_{s1}) incrementándola por un factor entero de L , de tal forma que:

$$f_{s2} = L \cdot f_{s1}$$

Lo que se traduce en insertar $L - 1$ muestras a cero por cada muestra de la señal de entrada.

En esta ocasión, al aumentar la frecuencia de muestreo, aparecen repeticiones del espectro centradas en múltiplos de f_{s1} , por lo que, tras la interpolación, es preciso realizar un filtrado paso bajo con ganancia L en la banda de paso.

A partir de la señal $y[n]$ del bloque anterior, realice los siguientes apartados:

- a) Genere una función de Matlab en la que se interpole una señal muestreada por un factor L dado. Indique los argumentos de entrada y salida de la función generada.
- b) Realice la interpolación de $y[n]$ con un coeficiente $L = 2$. La señal resultante será $h[n]$.
- c) Calcule la nueva frecuencia de muestreo de la señal $y[n]$, con la que da lugar a $h[n]$.
- d) Filtre la señal $h[n]$ con el filtro facilitado por el profesor. La señal resultante será $k[n]$.

Los argumentos de entrada del filtro son:

- Señal muestreada a filtrar.
- Frecuencia de muestreo de dicha señal.
- Ganancia del filtro en la banda de paso.
- Frecuencia de corte analógica del filtro.

El argumento de salida es la señal muestreada filtrada.

- e) Indique cuánto debe valer la ganancia del filtro en la banda de paso.
- f) Justifique la frecuencia de corte del filtro empleado.
- g) Justifique gráficamente, en el dominio del tiempo, que los procesos de interpolación y filtrado realizados son correctos. Utilice marcadores en las muestras para apreciar las diferencias más fácilmente.

Más adelante en la asignatura aprenderá que al filtrar una señal se introduce un retardo en el tiempo. Para poder comparar adecuadamente la señal $k(t)$ con las demás, retrase dicha señal quitando manualmente tantas muestras como necesite al principio de la señal hasta que se superponga con las otras señales. Mantenga la longitud del vector añadiendo ceros al final del mismo.

- h) Justifique gráficamente, en el dominio de la frecuencia, que los procesos realizados son correctos. No utilice frecuencias normalizadas (frecuencia digital).
- i) ¿De qué otra forma se puede obtener el mismo resultado sin emplear un filtro? ¿Cómo se llama a esta técnica?

Cambio de la frecuencia de muestreo por un factor racional

Cuando el factor de cambio de frecuencia de una señal no es un valor entero, por ejemplo:

$$f_{s2} = \frac{L}{M} \cdot f_{s1}$$

Se puede intuir que con un interpolador de factor entero L y un diezmador de factor entero M se puede obtener el cambio de frecuencia de factor racional (no entero) L/M .

Como al diezmarse se pierde información, es mejor realizar primero la interpolación con su filtrado y, posteriormente, diezmarse.

A continuación, realice los siguientes apartados:

- a) Se pretende muestrear la señal $y[n]$ aportada por el profesor a una frecuencia de 128 kHz. Calcule los factores de interpolación y diezmado que son necesarios aplicar a su señal $y[n]$ para cambiar la frecuencia de muestreo.
- b) Realice una interpolación de $y[n]$ con el factor L calculado. Utilice la función generada en el bloque anterior. La señal resultante será $h[n]$.
- c) Calcule la frecuencia de muestreo de la señal $h[n]$.
- d) Filtre la señal $h[n]$ con el filtro facilitado por el profesor. La señal resultante será $k[n]$. No olvide eliminar el retardo introducido por el filtro.
- e) Indique la ganancia en la banda de paso del filtro y la frecuencia de corte analógica.
- f) Realice el diezmado de $k[n]$ con el factor M calculado previamente. Utilice la función generada en el bloque anterior. La señal resultante será $g[n]$.
- g) Justifique gráficamente, en el dominio del tiempo, que los procesos realizados son correctos. Utilice marcadores en las muestras para apreciar las diferencias más fácilmente.
- h) Justifique gráficamente, en el dominio de la frecuencia, que los procesos realizados son correctos. No utilice frecuencias normalizadas.

Funciones de Matlab

Consulte la ayuda de Matlab para conocer el significado de cada uno de los argumentos.

Audio	
Leer el archivo de audio file	<code>[y, fs] = audioread('file');</code>
Reproducir la señal de audio y a una frecuencia de muestreo fs	<code>sound(y, fs);</code>
Vectores	
Generar el vector de valores v entre a y b equiespaciados delta	<code>v = a : delta : b;</code>
Generar el vector v de N valores equiespaciados entre a y b (inclusivos)	<code>v = linspace(a, b, N);</code>
Transformada de Fourier	
Transformada Rápida de Fourier del vector x	<code>X = fft(x, length(x)) / length(x);</code>
Trasposición del espectro en frecuencias X	<code>X = fftshift(abs(X));</code>
Miscelánea	
Calcula el valor absoluto del número x , o el módulo de éste si es un número complejo	<code>y = abs(x);</code>
Genera una matriz de ceros de dimensiones m por n	<code>y = zeros(m, n);</code>
Devuelve num índices de los valores del vector que cumplen la condición , empezando por el principio (' first') o por el final (' last') del vector	<code>ind = find(condición, num, 'first'/'last');</code>
Reordena la matriz x a una nueva matriz de dimensiones m por n	<code>y = reshape(x, m, n);</code>

Representación	
Abrir una nueva ventana (n-ésima) para representar gráficamente	<code>figure(n);</code>
Representación en ejes x-y uniendo los puntos	<code>plot(ejex, ejey, '-.');</code>
Congela la figura activa para poder superponer más representaciones	<code>hold on;</code>
Activar la rejilla de la representación	<code>grid on;</code>
Poner título a la representación	<code>title('Texto');</code>
Poner etiqueta en eje x	<code>xlabel('Texto');</code>
Poner etiqueta en eje y	<code>ylabel('Texto');</code>
Muestra una leyenda en la figura, donde se muestran los textos indicados	<code>legend('Texto1', 'Texto2', ...);</code>