

Práctica 1. PROCESADO DE AUDIO Y MÚSICA DIGITAL

Duración: 4 horas (2 sesiones)

Conceptos desarrollados: parámetros discretos, muestreo, frecuencia discreta, transformada de Fourier.

Material necesario: auriculares.

1.1.- Secuencias sinusoidales

Construya una función Matlab *secuencia_s.m* que genere una senoide discreta de longitud finita. La función recibirá 5 parámetros de entrada: amplitud, pulsación discreta, fase y 2 números (instantes) que especificarán el primer y último valor de n para los que se genera dicha senoide:

$$x[n] = A \cdot \cos(\omega_0 n + \phi) \quad n_0 \leq n \leq n_1$$

La función tendrá como parámetros de salida dos vectores: uno con los valores de la senoide y otro con los índices. Seleccione unos parámetros de entrada adecuados y represente gráficamente los resultados utilizando los comandos `plot` o `stem`¹.

Una vez disponga de la rutina que permite generar tonos discretos, escriba una función en Matlab que genere muestras de una senoide analógica a partir de sus parámetros: la función recibirá 6 parámetros de entrada: A (amplitud), F_0 (frecuencia de la señal analógica), ϕ (fase), F_s (frecuencia de muestreo) y los instantes de comienzo y fin (en segundos), los convertirá a los parámetros discretos correspondientes, y devolverá dos vectores: muestras e instantes correspondientes. Emplee la función del apartado anterior en el cuerpo de esta.

1.2.- Aliasing

La instrucción `soundsc(y, F_s)` envía al conversor D/A de la tarjeta de audio del ordenador las muestras de la secuencia $y[n]$, reescaladas entre +1 y -1, a la velocidad F_s . La función `sound(y, F_s)` hace lo mismo, pero sin escalar la señal.

Genere un tono con la función desarrollada en el apartado anterior con los siguientes valores de los parámetros: $F_0=1200$ Hz, $\phi=45$, $A=1$, $F_s=8$ KHz, $t_0=0$ y $t_f=1$ seg. Escuche dicho tono por medio de los auriculares empleando `sound` o `soundsc`. Vaya aumentando la frecuencia del tono generado y escuchando los efectos del “aliasing” al sobrepasar la frecuencia $F_0=4$ KHz. Genere siempre señales de al menos 1 segundo. Razone y describa el efecto que se produce al aumentar progresivamente la frecuencia hasta sobrepasar la frecuencia de muestreo, e incluso el doble de la frecuencia de muestreo. Razone los efectos que pueda apreciar.

1.3.- Síntesis de música digital. Señales sintéticas.

Una forma habitual de generación de música digital a partir de grabaciones sencillas de un instrumento es el desplazamiento frecuencial de cada señal. De las propiedades de

¹ Cuando se trabaja con secuencias, la visualización “lógica” de una señal debería hacerse empleando la instrucción `stem`. Sin embargo, cuando el número de elementos de la secuencia es grande esta visualización resulta confusa, siendo mucho más adecuado el empleo de la instrucción `plot`.

la Transformada de Fourier de una señal se deduce que multiplicar una señal por una exponencial compleja supone un desplazamiento frecuencial de la misma señal. De esa manera, si se dispone de una grabación de una nota musical empleando cualquier instrumento, debería ser posible generar cualquier otra nota aplicando el desplazamiento frecuencial adecuado.

En Internet es habitual encontrar grabaciones (*samples*) de notas musicales ejecutadas con diferentes instrumentos. Típicamente las grabaciones suelen corresponder a una nota LA (440 Hz). Empleando una tabla de conversión de notas musicales a frecuencia puede implementarse un sistema que convierta en música una secuencia de notas (ver anexo). Incluso, sumando varias notas pueden hacerse sonar éstas simultáneamente (acorde).

Genere un sintetizador básico de música digital que, partiendo de un tono discreto de 440 Hz sea capaz de generar diferentes notas con las que construir melodías o combinaciones de notas. Para ello considere las siguientes opciones:

- a. La señal, una vez multiplicada por una exponencial compleja, se convierte en una señal igualmente compleja, con lo que no se puede reproducir. Las dos deltas que constituyen el espectro del tono se desplazan en la misma dirección resultando un espectro asimétrico. Una posible solución es trabajar únicamente con la parte positiva del espectro, y después reconstruir una parte negativa simétrica. La limitación de este procedimiento viene dada por desplazamientos de la señal de partida mayores que su propia frecuencia, ya que la parte negativa del espectro llegaría a superar la frecuencia cero, y aparecería en la parte positiva distorsionando la señal.
- b. Otra posibilidad es trabajar directamente sobre el espectro desplazándolo para que los tonos queden en la frecuencia deseada. Para ello necesita controlar correctamente la relación entre los parámetros espectrales, las muestras, frecuencia de muestreo, etc.

Estudie la implementación, ventajas e inconvenientes de ambas opciones.

1.4.- Síntesis de música digital. Señales reales.

Repetir el apartado anterior empleando una grabación (*sample*) de una nota musical real producida por un instrumento tiene ciertos inconvenientes. El timbre o sonido característico de un instrumento se produce por la presencia de diversos armónicos originados por las características físicas de dicho instrumento. Simplemente desplazar el sonido en frecuencia obligaría de separar cada armónico por separado, dado que los desplazamientos son proporcionales, y no iguales para todos.

Una alternativa puede ser ensanchar o estrechar completamente el espectro, lo que generará el efecto de armónicos proporcionales a la frecuencia fundamental. Una forma de ensanchar o estrechar el espectro es mediante el uso de las técnicas de diezmado e interpolación.

Experimente con el uso de diezmado e interpolación para calcular los factores que debe emplear (probablemente combinando ambas técnicas) para generar las notas musicales que se especifiquen, tal y como se hacía en el apartado anterior. Dispone de algunas muestras de sonido de instrumentos reales en el servidor de prácticas, en los que puede identificar las frecuencias fundamentales y los armónicos.

Tenga en cuenta que al diezmar o interpolar se modifica el número de muestras temporales, además de la propia frecuencia de muestreo. Para que el efecto deseado se produzca, debe considerarse que la frecuencia de muestreo no cambia, pero debe corregirse el cambio en el número de muestras de la señal. Para ello puede pasar al dominio frecuencial mediante el comando `fft` de Matlab, indicando un número de muestras del espectro igual al número de muestras de la señal original, y después devolviendo la señal al dominio temporal empleando el comando `ifft`.

Para el diseño de los filtros paso bajo necesarios puede emplearse el comando `fir1`.

ANEXO.- Frecuencia de las notas musicales

La frecuencia de cada nota musical puede calcularse a partir de una de referencia (por ejemplo, el LA, 440 Hz) empleando la siguiente relación:

$$F_2 = F_1 r^d$$

donde d es la distancia en semitonos entre la nota definida por F_1 y la nota definida por F_2 , y $r = \sqrt[12]{2} \approx 1.059463$.

Las notas musicales se consideran las de la escala *cromática* (do, do#, re, re#, mi, fa, fa#, sol, sol#, la, la#, si, y de nuevo do), siendo la distancia entre dos de ellas consecutivas un semitono.