Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Departamento de Energía Eléctrica y Automática

Asignatura:
Tópicos en Procesamiento Digital de Señales

Laboratorio Número 1

13 de Febrero de 2024

Manipulación y representación de Señales en Matlab

La Figura 1 muestra un segmento de código en `Matlab` que crea una señal sinusoidal y la representa en el dominio del tiempo y de la frecuencia (espectro de magnitud):

```
clear all; close all; clc;
Fs = 8000;                     % Frecuencia de muestreo
t = 0:1/Fs:0.05;               % Variable de tiempo
x = 3 + 2 .* cos(120*pi.*t); % señal sinusoidal

h = subplot(2,1,1);      % Representación de la señal
plot(t,x,'linewidth',2); % en el dominio del tiempo


% Transformada rápida de Fourier (magnitud):
X = abs(fftshift(fft(x)))./length(x);
% Variable de Frecuencia:
F = ((0:length(x)-1)./length(x) - 0.5) .* Fs;

h = subplot(2,1,2);      % Representación de la señal
plot(F,X,'linewidth',2); % en el dominio de la frecuencia

```

Figura 1: Código para la representación de una señal sinusoidal.

Luego de transcribir y ensayar el código en un *script* en `Matlab`, se proponen las siguientes actividades:

1. Los resultados obtenidos luego de ejecutar el programa deben tener una forma similar a la mostrada en la Figura 2. Analice dichos resultados e interprételos a la luz de la teoría. ¿Qué relación existe entre las componentes espectrales y la señal original en el dominio del tiempo? ¿A qué frecuencias aparecen dichos componentes? ¿Hay algún tipo de discrepancia con los resultados esperados?

2. Tome grabaciones de audio por medio del micrófono del computador[1] y haga representaciones en el dominio del tiempo y de la frecuencia de las señales capturadas. Efectúe manipulaciones simples sobre dichas señales (cambio de amplitud o volumen, inversión en el dominio del tiempo, combinación o mezclado entre varias señales, etc) y tome nota del efecto de dichas manipulaciones en las representaciones de la señal en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

[1]Se puede usar el objeto `audiorecord`, de `Matlab`.

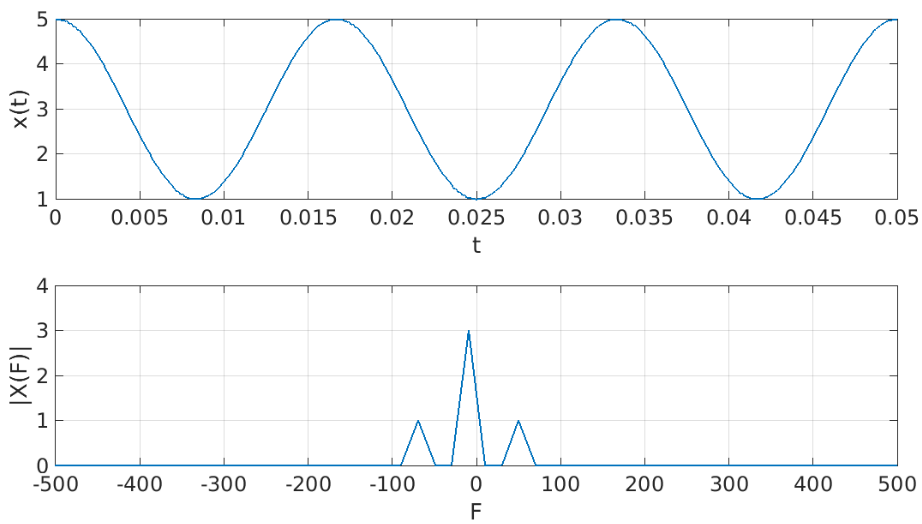

Figura 2: Resultados obenidos con el programa de la Figura 1.

Conversión D/A: Reconstrucción de señales a partir de sus muestras

Uno de los aspectos menos conocidos del teorema del muestreo, es lo que tiene que ver con la reconstrucción de la señal. Una señal análoga ($x_a(t)$) puede llegar a reconstruirse sin errores a partir de sus muestras (secuencia $x(n)$), de la siguiente manera:

$$x_a(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot g\left(t - \frac{n}{F_S}\right) \tag{1}$$

En la Ecuación (1), F_S es la frecuencia de muestreo del sistema y $g(t)$ es la llamada *función generadora*, que para una reconstrucción sin errores, debe tener la siguiente forma:

$$g(t) = \frac{sen(\pi \cdot F_S \cdot t)}{\pi \cdot F_S \cdot t} \tag{2}$$

La función generadora propuesta se prolonga indefinidamente en ambas direcciones del eje de tiempos, es decir, $g(t)$ tiene duración infinita. Afortunadamente, las amplitudes relativas de $g(t)$ tienden a cero para valores de tiempo cada vez más alejados del origen, de modo que es posible hacer una aproximación de la función generadora, tomando un rango representativo (y finito) de tiempo. La Figura 3 muestra la forma de la función generadora para el tiempo normalizado con respecto al periodo de muestreo (t/T_S).

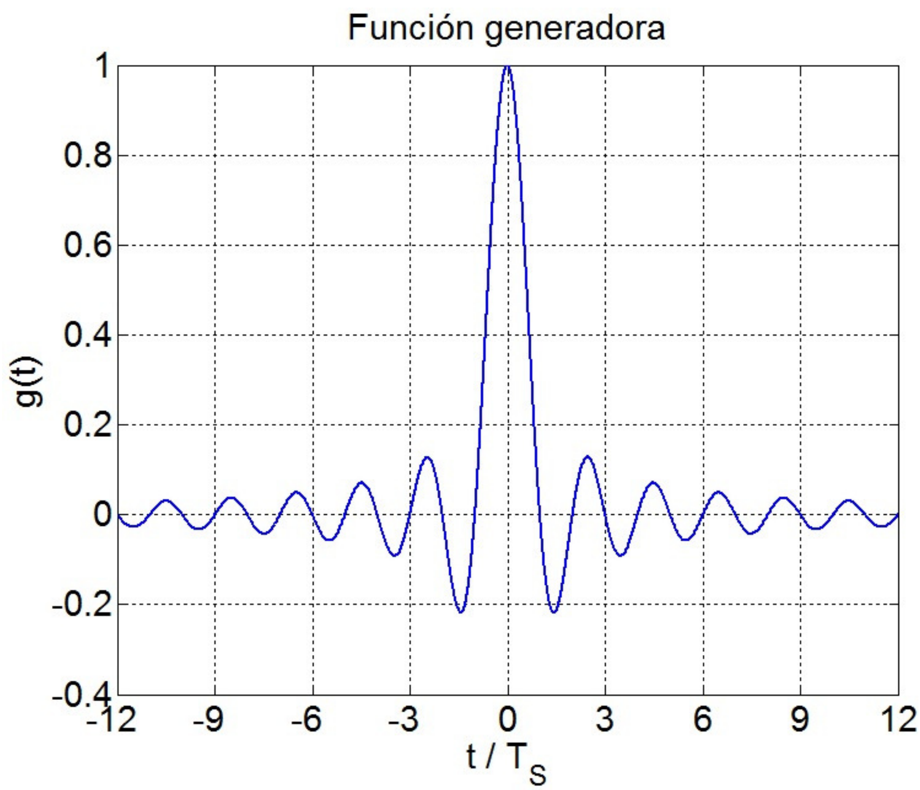

Figura 3: Función generadora $g(t)$ de la Ecuación (2).

A partir de la teoría explicada, recree el proceso de reconstrucción de una señal cuadrada con una frecuencia de 60 Hz, y que ha sido muestreada con una velocidad (F_S) de 1080 Hz. Debe usarse la función generadora propuesta en la Ecuación (2), y debe seleccionarse además un criterio para escoger un *rango representativo* de tiempos para dicha función generadora.

Compare los resultados obtenidos con una reconstrucción basada en pulsos cuadrados[2] como función generadora (Es decir, el método de Muestreo y Retenión).¿Qué se puede decir con respecto a la calidad de la reconstrucción en cada caso? ¿Por qué los conversores D/A comerciales se basan en la reconstrucción por pulsos?

[2]Esta sería la forma más convencional de reconstrucción

Procesamiento de “pantalla verde”

Tal y como se explicó en clase, las imágenes son señales de dos dimensiones, en las que la información de color se reparte en varios canales. Lo más común es que dichos canales correspondan a las componentes rojo, verde y azul (Formato **RGB**) de la imagen. En muchos esquemas de procesamiento de imágenes y de video, se aprovecha este efecto para separar o segmentar una imagen de un fondo con alguna característica específica y reemplazar dicho fondo por otro.

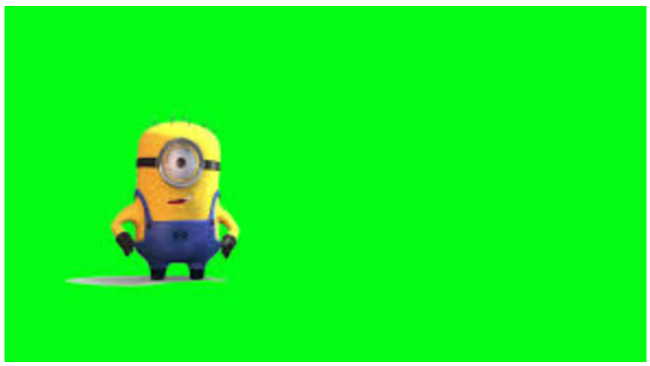

Figura 4: Imagen con fondo verde.

La Figura 4 muestra una imagen de ejemplo para ilustrar el proceso. Un análisis de la imagen permite inferir que la componente o canal verde (**G**) tendrá unos valores muy altos para algunos pixeles (fondo) y valores bajos para otros pixeles (que corresponden a la imagen a segmentar). Por medio de un programa en `Matlab` procese una imagen cualquiera, tomada contra una pantalla verde, de forma que se le cambie el fondo[3].

Simulación de la Localización Binaural

La *Localización Binaural* es un método de localización de fuentes de audio que usa la mayoría de los animales, y que se basa en las pequeñas diferencias captadas en cada oido (sensor), con respecto a la intensidad, desfase (tiempo de llegada), e incluso frecuencia. La Figura 5 muestra un esquema simple que explica cómo existen pequeñas diferencias perceptibles entre las señales que recibe cada uno de los oídos, cuando la fuente de sonido está ubicada de forma oblicua a la persona que escucha. Dichas diferencias son procesadas por el cerebro para

[3]A manera de reto, se propone extrapolar el proceso al procesamiento de pantalla verde usando este video como ejemplo.
Para el procesamiento de video, debe automatizarse el proceso de segmentación, ya que dicho proceso se aplica de manera sucesiva a cada una de las imágenes (*frames*, fotogramas) que componen la secuencia de la imagen en movimiento.

generar una estimación de la posición realtiva de la fuente de sonido.

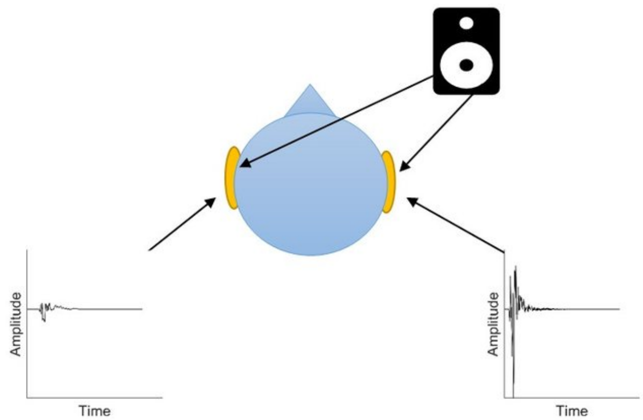

Figura 5: Esquema de Localización Binaural.

El fenómeno se puede aprovechar para producir un efecto de sonido 3D, en el que se le provocan cambios de amplitud y fase a una única señal de audio (un solo canal), para producir dos o más canales, y engañar al cerebro en relación a su supuesta posición relativa. Para este punto del laboratorio, se propone justamente descargar o generar un sonido monofónico (un canal) de corta duración[4] y procesarlo para generar una señal de dos canales (estéreo). El propósito del procesamiento debe ser el de generar una sensación de localización de dicho sonido, a partir de la manipulación de sus valores relativos de amplitud y desfase.

Series de Fourier

Las Series de Fourier son una herramienta matemática para el análisis y síntesis de señales periódicas, que además tienen amplio uso en diferentes aplicaciones de ciencia e ingeniería. En el caso concreto de la síntesis, si se conocen los coeficientes de la serie (C_k), la reconstrucción perfecta de la señal original ($f(t)$) se puede hacer como se muestra en la Ecuación (3).

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k \cdot e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot k \cdot t} \tag{3}$$

En la Ecuación (3), F_0 se refiere a la *Frecuencia Fundamental* o *Frecuencia del Primer Armónico* de la señal a reconstruir. El gran problema con la reconstrucción de la señal a partir de la Ecuación (3), es que se debe agregar una

[4]En este enlace existe un repositorio de diferentes sonidos, compartidos bajo la licencia *Creative Commons*.

cantidad infinita de coeficientes ($-\infty \leq k \leq \infty$), lo que no es práctico en el contexto de una síntesis real de una señal.

Tomando el clásico ejemplo de una señal cuadrada, los coeficientes de la serie se pueden expresar de la siguiente manera:

$$C_k = \frac{e^{-i \cdot k \cdot \pi}}{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot k}; \text{ Para } k \text{ impar.} \tag{4}$$

La Figura 6 muestra el resultado de la reconstrucción de la señal cuadrada ($x_R(t)$) para diferentes rangos finitos del índice k. La figura muestra cómo entre más coeficientes se consideren en la suma, la reconstrucción se aproxima mejor a la señal cuadrada original. De la figura también se puede inferir que la frecuencia fundamental de la señal cuadrada original es $F_0 = 1000Hz$.

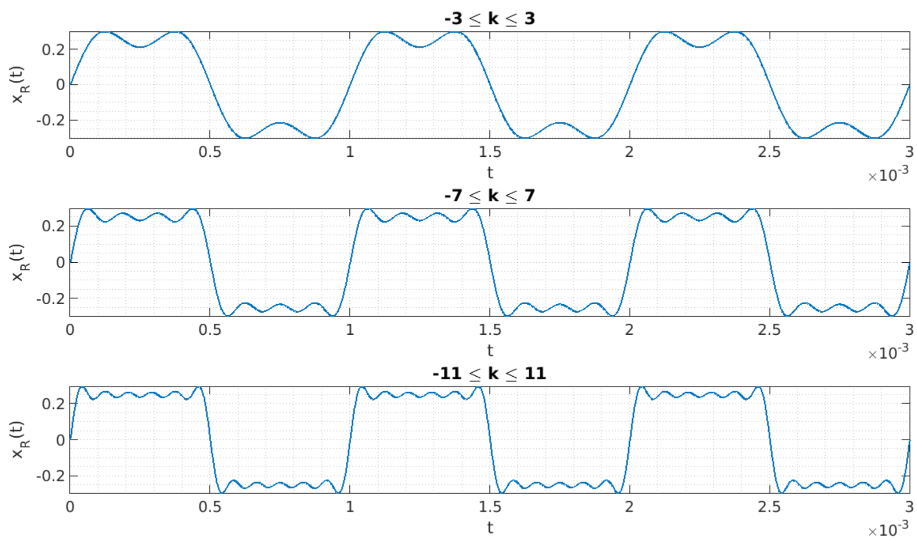

Figura 6: Reconstrucción de una señal cuadrada para diferentes cantidades de coeficientes.

En este punto se propone recrear el proceso de reconstrucción mostrado en la Figura 6, para una Serie de Fourier cualquiera, distinta a la mostrada en la Ecuación (4), para la señal cuadrada. Compare los resultados al incrementar la cantidad de coeficientes que se tienen en cuenta en la reconstrucción y establezca un criterio para definir una cantidad máxima de los mismos, con lo cual se pueda considerar que la reconstrucción es razonablemente precisa.

A manera de reto considere la siguiente pregunta: ¿Es posible obtener la magnitud y ángulo de cada uno de los coeficientes (C_k) de la serie a partir de una herramienta como la FFT? Ilustre el proceso con un ejemplo.

Informe

El informe del laboratorio debe contener las descripciones de las soluciones propuestas a los diferentes problemas planteados, así como los resultados obtenidos, y las comparaciones y análisis pertinentes. Deben consignarse además las conclusiones de cada uno de los puntos desarrollados, además de las recomendaciones (si las hubiere) en referencia a dichos puntos.

Para la sustentación se permite el uso de plataformas diferentes a `Matlab` para la resolución de los problemas. Durante la sesión de sustentación cada estudiante debe explicar cómo resolvio los puntos de la presente guía, por lo que no se considera necesario consignar en el informe códigos o capturas de pantalla de los programas desarrollados.

Fecha de entrega: Jueves 14 de Marzo de 2024