Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad I

Introducción a señales

1. Objetivos

- Familiarizarse con la herramienta computacional que se utilizará durante todo el cursado.
- Operar con señales discretas y reconocer las características y propiedades generales de las mismas.
- Aprender a aplicar en ejemplos sencillos las herramientas y conceptos en estudio.
- Generar y manipular señales digitales en forma de vectores por medio de un lenguaje de programación.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: Escriba funciones que permitan generar las siguientes señales discretas:

1. Una senoidal que responda a la ecuación $y[n] = sen(2\pi f_s t + \phi)$, donde t es la variable de tiempo discreto, con paso $1/f_m$, $f_m \in \mathbb{R}$ es la frecuencia de muestreo, $f_s \in \mathbb{R}$ es la frecuencia de la senoidal y $\phi \in (-\pi, \pi)$ su fase.
2. Una señal sync, definida como

$$sinc(x) = \begin{cases} \frac{sin(x)}{x} & \text{si } x \neq 0 \\ 1 & \text{si } x = 0, \end{cases}$$

   considerando $x = 2\pi f_s t$, con $f_s \in \mathbb{R}$ y $t \in (-1, 1)$.
3. Una onda cuadrada, que puede definirse de la siguiente manera

$$c(t) = \begin{cases} -1 & \text{si } \mathrm{mod}(2\pi f_s t + \phi, 2\pi) \geq \pi \\ 1 & \text{si } \mathrm{mod}(2\pi f_s t + \phi, 2\pi) < \pi, \end{cases}$$

donde t es la variable de tiempo discreto desde 0 hasta 1 segundo, con paso $1/f_m$, $f_m \in \mathbb{R}$ es la frecuencia de muestreo, $f_s \in \mathbb{R}$ es la frecuencia de la senoidal y $\phi \in (-\pi, \pi)$ su fase.

Las tres funciones deben permitir elegir el intervalo de tiempo que se desea muestrear, definido desde $t_{inicial}$ a t_{final}. Una vez generadas estas funciones, pruébelas utilizando una frecuencia de muestreo de 100 Hz, un intervalo de tiempo de $[0, 1]$ y distintos valores para la f_s y la fase ϕ. Respete la relación $2f_s \leq f_m$ para determinar los valores de las frecuencias.

Ejercicio 2: Realice las siguientes operaciones básicas sobre una señal senoidal:

1. inversión
2. rectificación
3. cuantización en 8 niveles

Para la cuantización, tenga en cuenta la ecuación de cuantizador que aparece en el libro:

$$\rho(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0, \\ H\text{int}(x/H) & \text{si } 0 \leq x < (N-1)H, \\ (N-1)H & \text{si } x \geq (N-1)H, \end{cases} \tag{1}$$

donde N es el número de niveles de la cuantizacion, y H es la magnitud del cuanto o paso. La ecuación está diseñada para funcionar sólo sobre señales positivas, ya que elimina la parte negativa. Esto quiere decir que para la señal senoidal, que tiene parte negativa, el método debe adaptarse. Una forma sencilla de realizar ésto es hacer la señal toda positiva (restando el minimo), aplicar la formula anterior, y luego sumar el mínimo para volver a dejar la señal en el rango de valores original.

Ejercicio 3: La Figura 1 muestra la gráfica de una onda sinusoidal discreta. A partir del análisis de dicha gráfica, determine los valores numéricos (y unidades correspondientes) de amplitud (A), fase (phi), frecuencia (fs) y período de muestreo (Tm), que fueron utilizados para generar la señal mediante el siguiente código:

- `t=0:Tm:0.1-Tm;`
- `x(t) = A*sin(2*pi*fs+phi);`
- `plot(t,x)`

Para detrminar el valor de la fase tenga en cuenta la relación $\varphi = -2\pi f_s t_1$, donde t_1 indica el retardo temporal en segundos (en este caso el retardo temporal se puede determinar encontrando el primer cruce por cero de la sinusoidal).

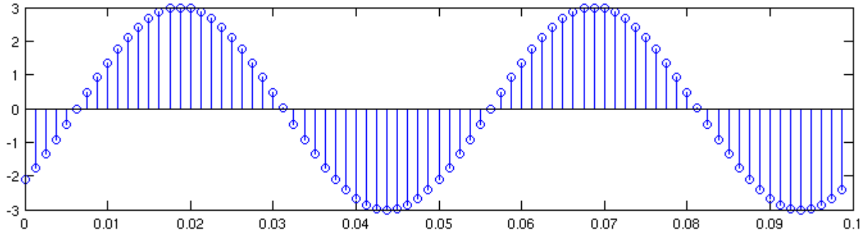

Figura 1: Señal senoidal discreta.

Ejercicio 4: Genere y grafique una señal senoidal discreta con frecuencia 5 Hz y duración 1 seg. Para ello utilice las siguientes frecuencias de muestreo: 100, 25, 10, 4, 1 y 0,5 Hz. Analice el resultado. ¿En qué casos la cantidad de ciclos que observa se corresponde con una sinusoidal de 5 Hz? ¿A qué se deben las discrepancias encontradas?

Ejercicio 5: Genere y grafique una señal senoidal con frecuencia 4000 Hz y duración 2 seg., utilizando una frecuencia de muestreo de 129 Hz. Grafique el resultado y estime la frecuencia de la onda sinusoidal que se observa en la figura. Analice y obtenga conclusiones.

Ejercicio 6: Genere una señal discreta con frecuencia de muestreo de 10 Hz y sobremuestreela, mediante distintos tipos de interpoladores, a 4 veces la frecuencia de muestreo. Para esto, implemente la siguiente ecuación de interpolación:

$$x_i(mT_i) = \sum_n x(nT)\mathrm{I}\left(\frac{mT_i - nT}{T}\right)$$

donde I es la función interpolante (la función sinc, por ejemplo). Observe que T representa el período de muestreo original y T_i el nuevo período de muestreo. Note además que n y m indican el número de muestra en la señal original e interpolada, respectivamente y que, si bien aquí se expresan como señales analógicas, x y x_i serán señales discretas en su implementación (es decir, $x_i[m]$ y $x[n]$). Para la función sinc tenga en cuenta la definición dada en el primer ejercício, con $f_s = 0{,}5$.

Ejercicio 7: $^{(*)}$ Genere distintas realizaciones de una señal aleatoria con distribución gaussiana (distribución normal, equivalentemente) con media cero y varianza unitaria, y luego utilice dichas realizaciones para verificar la estacionariedad y la ergodicidad. Para esto tenga en cuenta que los estimadores estadísticos (media y varianza, en este caso) requieren infinitas muestras y realizaciones para obtener el valor exacto, por lo tanto deberá observarse si los estimadores *tienden* al mismo valor a medida que se incrementan la cantidad de muestras y realizaciones.

Ejercicio 8: $^{(*)}$ Genere una señal de ruido aleatorio, súmelo a una señal conocida y grafique el resultado. Calcule la potencia de la señal original, la potencia del ruido generado, y calcule la relación señal-ruido (SNR, del inglés signal-to-noise-ratio). Luego multiplique la señal de ruido por una constante y vuelva a calcular la SNR. Por último, a partir de las deficiones de potencia y SNR despeje y calcule el valor para dicha constante de manera que la SNR resultante sea de 0 dB.

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad II

Sistemas y Convolución

1. Objetivos

- Comprender el concepto de sistema.
- Interpretar correctamente las propiedades de un sistema.
- Comprender la importancia de los sistemas LTI.
- Manejar el concepto de ecuaciones en diferencias.
- Entender el concepto de convolución lineal en tiempo discreto.
- Entender el concepto de convolucion circular.

2. Trabajos prácticos

2.1. Sistemas

Ejercicio 1: Para cada uno de los siguientes sistemas determine si son causales, lineales, invariantes en el tiempo y si poseen memoria. En cada caso grafique la salida del sistema $y[n]$ para una entrada dada.

1. $y[n] = g[n]x[n]$, donde $g[n] = A\sin(\omega nT)$ siendo A constante, $\omega = 2\pi f$ y T el período de muestreo.
2. $y[n] = \sum_{k=n-no}^{n+no} x[k]$
3. $y[n] = x[n] + 2$
4. $y[n] = nx[n]$

Ejercicio 2: Considere el diagrama en bloques de la Figura 1 y encuentre la ecuación en diferencias para la señal de salida $y[n]$ en función de la señal de entrada $x[n]$.

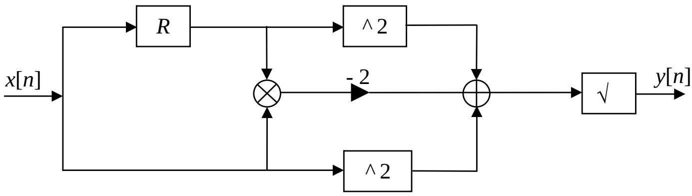

Figura 1: Diagrama en bloques para el Ejercicio 5.

Ejercicio 3: Considere el sistema LTI dado por la ecuación en diferencias $y[n] - 0{,}5y[n-1]+0,25y[n-2] = x[n]$ inicialmente en reposo. Encuentre el diagrama en bloques que lo representa.

Ejercicio 4: $^{(*)}$ Encuentre la respuesta al impulso de los sistemas LTI causales descriptos por las siguientes ecuaciones en diferencias y clasifíquelos en función de ésta. Utilice condiciones iniciales nulas.

1. $y[n] - y[n-2] = x[n]$
2. $y[n] = x[n] + 0{,}5x[n-1]$
3. $y[n] - 0{,}5y[n-1] + 0{,}25y[n-2] = x[n]$

2.2. Convolución

Ejercicio 1: Implemente la convolución lineal mediante una sumatoria de convolución. Pruébela para convolucionar dos señales cualesquiera de longitud N muestras. Compare los resultados con los obtenidos mediante la función `conv(x,y)` y con la función filter.

La función `Y = filter(B,A,X)` implementa la ecuación en diferencias, para los coeficientes dados en los vectores `A` y `B` y la señal de entrada `X`, según:

```
a(1)*y(n) = b(1)*x(n) + b(2)*x(n-1) + ... - a(2)*y(n-1) - ...
```

A partir de esto, determine los valores a ingresar en los vectores `A` y `B` para obtener la salida esperada.

Ejercicio 2: Escriba una función que realice la convolución circular discreta (tambien llamada convolución periódica) entre dos señales $x[n]$ y $h[n]$, ambas de longitud longitud N muestras, utilizando ciclos `for`. En ésta se debe considerar a $x[n]$ periódica, pero $h[n]$ debe ser nula fuera de su rango de definición. La convolución circular se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$y[k] = \sum_{l=1}^{N} h[l]x[((N+k-l)\text{mod}N)+1],$$

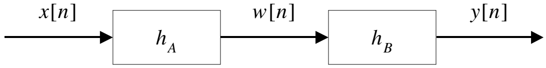

Figura 2: Sistemas en cascada.

para $1 \leq k \leq N$, donde mod es la operación módulo entero (resto de la división entera).

Ejercicio 3: Considere dos sistemas LTI conectados en cascada (Figura 2), con respuestas al impulso dadas por $h_A[n] = \sin(8n)$ y $h_B[n] = a^n$, donde $a \in \mathbb{R}$, $|a| < 1$ y $0 \leq n \leq N-1$, con N el número de muestras distintas de cero. Obtenga N muestras de las respuestas al impulso, h_A y h_B, según las definiciones dadas, y determine la salida $y[n]$ para una entrada $x[n] = \delta[n] - a\delta[n-1]$, siendo $\delta[n]$ es la función de impulso unitario. Luego invierta el orden de conexión de los sistemas y vuelva a calcular la salida. Compare con la salida obtenida originalmente.

UNL - FICH - Departamento de Informática - Ingeniería Informática

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad III

Espacios de señales y Bases

1. Objetivos

- Ver a las señales como elementos de un espacio vectorial.
- Reinterpretar conceptos básicos del álgebra lineal en el contexto del procesamiento de señales.
- Valorar la importancia del producto interno en el procesamiento de señales.
- Presentar los fundamentos generales de las transformadas lineales más usadas.
- Aplicar las herramientas bajo estudio en problemas sencillos.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: Obtener los siguientes valores de una señal senoidal, una rampa, una onda cuadrada y una señal aleatoria:

1. valor medio,
2. máximo,
3. mínimo,
4. amplitud,
5. energía,
6. acción,
7. potencia media y
8. raíz del valor cuadrático medio.

Ejercicio 2: Compruebe que el producto interno mide el grado de parecido entre dos señales dadas. Para ello, genere dos señales senoidales y realice el producto interno entre ellas. Evalúe el efecto que producen los distintos parámetros (A, f, ϕ) sobre el cálculo del producto interno.

Ejercicio 3: $^{(*)}$ Calcule el error cuadrático total de aproximación en el ejemplo con funciones de Legendre bajo las siguientes condiciones:

1. con los coeficientes calculados en el ejemplo,
2. con pequeñas variaciones en torno a estos coeficentes α, construyendo una gráfica en 3D con la variación en los coeficientes en x, y y el error cuadrático total en z,
3. con más coeficientes α, para comprobar cómo se reduce el error cuadrático total al aumentar los coeficientes.

Ejercicio 4: $^{(*)}$ Genere una señal como combinación lineal del conjunto de señales senoidales con frecuencias de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 Hz y luego:

1. mida el grado de parecido con dichas senoidales representando el resultado en un gráfico de barras,
2. vuelva a medir el grado de parecido pero con una combinación lineal en la que se varía la fase de las senoidales y
3. realice el gráfico de barras para el caso de una señal cuadrada de 5,5 Hz.

Ejercicio 5: $^{(**)}$ En el archivo *te.txt* se encuentra la señal registrada al discar un número telefónico en una línea ruidosa y se requiere determinar el número que se ha discado. La señal se digitalizó con una frecuencia de muestreo de 11025 Hz y se sabe que cada número del teléfono está codificado mediante la suma de dos señales senoidales cuya frecuencia indica la posición en el teclado. De arriba hacia abajo las frecuencias son 697, 770, 852 y 941 Hz; de izquierda a derecha son 1209, 1336 y 1477 Hz. Por ejemplo: el número 2 se codifica con la suma de dos senos con frecuencias 697 y 1336 Hz; el número 7 se codifica con 852 y 1209 Hz. Se necesita determinar el número que se ha discado. (Sugerencia: utilice el producto interno).

Ejercicio 6: $^{(+)}$ En el archivo *escala.wav* se encuentran almacenados ocho tonos puros (*notas musicales*) sin separación, cada uno de 0.5 segundos de duración. Implemente un algoritmo para detectar el momento donde se encuentra la nota LA. Se adjunta la tabla de frecuencias de las notas musicales.

Nota	Frecuencia [Hz.]
DO	261.63
RE	293.66
MI	329.63
FA	349.23
SOL	392.00
LA	440.00
SI	493.88
DO	523.25

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad IV

Transformada Discreta de Fourier

1. Objetivos

- Aplicar los conceptos de producto interno y transformaciones lineales al caso de la Transformada Discreta de Fourier (TDF).
- Reinterpretar el fenómeno de alias desde la perspectiva del análisis frecuencial.
- Aplicar la TDF a ejemplos sencillos y aplicaciones con señales reales.
- Comprender los conceptos de resolución frecuencial, y frecuencia máxima, así como su relación con los parámetros temporales: período de muestreo, duración de la señal, frecuencia de muestreo.

2. Trabajos prácticos

Los ejercicios están marcados según su grado de dificultad. Los marcados con $^{(*)}$ son de mayor complejidad que los demás.

Ejercicio 1: Genere una señal $s(t) = \sin(2\pi f_1 t) + 4\sin(2\pi f_2 t)$, con $f_1 = 10$ Hz y $f_2 = 20$ Hz, y obtenga su versión discreta $s[n]$ con período de muestreo $T = 0{,}001$ s en el intervalo de tiempo $t = [0 \ldots 1)$ s. A continuación:

1. Calcule la TDF $S[k]$ de la señal $s[n]$ y grafique el espectro de magnitud de $S[k]$.
2. Verifique la relación de Parseval para la TDF:

$$E_s = \sum_{n=1}^{N} s[n]^2 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} |S[k]|^2 \ ,$$

donde N es la cantidad de muestras de $s[n]$.

Realice los siguientes cambios y analice los resultados obtenidos:

1. Modifique $s[n]$ de forma tal que:

$$s[n] = \sin(2\pi f_1 t) + 4\sin(2\pi f_2 t) + 4$$

   y analice los cambios en el espectro de magnitud de $S[k]$.

2. Modifique las frecuencias de las señales seno de forma tal que $f_1 = 10$ Hz y $f_2 = 11$ Hz y analice los cambios en el espectro de magnitud de $S[k]$.

3. Modifique nuevamente las frecuencias de las señales seno de forma tal que $f1 = 10$ Hz y $f_2 = 10{,}5$ Hz. ¿Qué ocurre en el espectro de magnitud de $S[k]$?

4. Modifique el intervalo de tiempo de análisis de la siguiente manera $t = [0 \ldots 2)$ seg. y analice los cambios en la TDF.

Ejercicio 2: Genere: a) una señal senoidal discreta de frecuencia 2 Hz, b) una señal cuadrada periódica de frecuencia 2 Hz, y c) una señal senoidal de frecuencia 4 Hz. Para todas ellas utilice fase cero, una frecuencia de muestreo de 100 Hz, y una duración total de 1 segundo. Con estas señales realice las siguientes operaciones:

1. Verifique si son ortogonales las señales a) y b), a) y c), b) y c).

2. Calcule la TDF de las tres señales, y verifique la ortogonalidad de los pares como en el ejercicio anterior, en este dominio transformado.

3. Redefina la señal c), como una senoidal pero de frecuencia 3.5 Hz. Verifique si es ortogonal respecto a la señal a), en ambos dominios.

Ejercicio 3: Verifique la propiedad de retardo temporal de la transformada discreta de Fourier. Para ello, genere una señal senoidal de 10 Hz, muestreada a 100 Hz durante un segundo. Calcule su transformada de Fourier. Modifique esta última de acuerdo a la ecuación de la propiedad, para generar un retardo de 10 muestras. Antitransforme y verifique el cumplimiento de la propiedad.

Ejercicio 4: Las señales verifican que cuanto más concentrada está su energía en cierta región del dominio temporal, más dispersa estará en el dominio frecuencial, y viceversa. Ejemplos extremos de esto son una señal senoidal, que tiene su energía distribuida a lo largo de toda la señal, pero en dominio frecuencial ésta se concentra en la frecuencia de la misma, y un delta de Dirac, que en dominio temporal tiene toda su energía concentrada en un instante, pero en dominio frecuencial contiene todas las frecuencias. Explore esta propiedad utilizando ventanas temporales, más o menos concentradas alrededor de cierto tiempo, y calculando sus respectivas transformadas de Fourier.

Ejercicio 5: La Figura 1 representa la magnitud de la FFT de una señal senoidal de 27 Hz, muestreada durante 1 s y a una frecuencia de muestreo de 50 Hz. La señal muestreada responde a la ecuación $x(t) = 2\sin(2\pi 27t)$.

1. Determine la frecuencia de la señal que observa. Explique la discrepancia con frecuencia de la señal original.
2. Deduzca una ecuación para determinar cómo se genera la señal de la frecuencia observada, a partir de la frecuencia original y los parámetros del muestreo. Verifique la validez de su ecuación para otras señales, por ejemplo una de 105 Hz.
3. Determine la relación entre la magnitud observada de la transformada y la amplitud de la señal original.

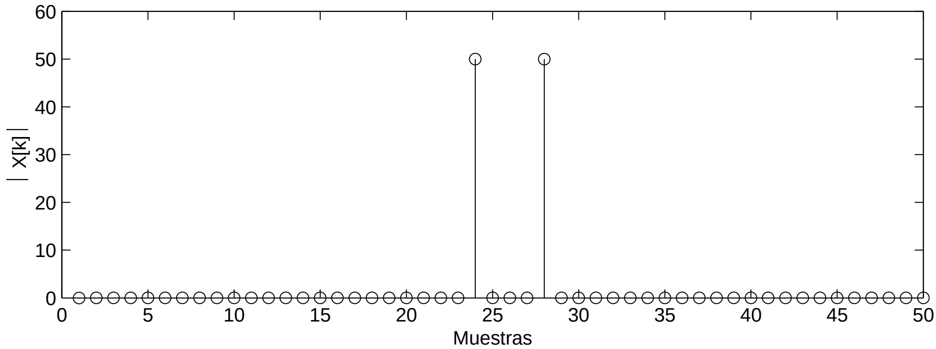

Figura 1: FFT de la señal para el ejercicio 8

Ejercicio 6: (*) La señal que se encuentra en el archivo `necg.txt` corresponde al registro de la actividad eléctrica del corazón de un paciente. Esta señal se ha digitalizado a razón de 360 muestras por segundo. Se sabe que el registro ha sido contaminado con un ruido en la banda de 40 a 180 Hz y se necesita eliminarlo para poder realizar un diagnóstico adecuado. Utilice la TDF para filtrar la señal.

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad V

Transformada Z

1. Objetivos

- Utilizar la Transformada Z como herramienta para obtener la expresión de tiempo discreto de un sistema, a partir de la ecuación diferencial que rige su dinámica.
- Obtener la respuesta en frecuencia de sistemas discretos.
- Analizar las condiciones de estabilidad para sistemas discretos.
- Analizar las limitaciones de las transformaciones conformes.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: Aplicando la Transformada Z, y utilizando la propiedad de desplazamiento en el tiempo, determine la función de transferencia $H(z)$ de los siguientes sistemas LTI causales:

1. $y[n] - \frac{1}{2}y[n-1] + \frac{1}{4}y[n-2] = x[n]$
2. $y[n] = y[n-1] + y[n-2] + x[n-1]$
3. $y[n] = 7x[n] + 2y[n-1] - 6y[n-2]$
4. $y[n] = \sum_{k=0}^{7} 2^{-k} x[n-k]$

Ejercicio 2: Encuentre la respuesta en frecuencia de los sistemas anteriores suponiendo una frecuencia de muestreo de 10kHz. Tenga en cuenta la relación entre la Transformada Z y la Transformada de Fourier.

Ejercicio 3: Considere el sistema

$$H(z) = \frac{1 - 2z^{-1} + 2z^{-2} - z^{-3}}{(1 - z^{-1})(1 - 0,5z^{-1})(1 - 0,2z^{-1})}$$

1. Dibuje el diagrama de polos y ceros. ¿Es estable el sistema?
2. Determine la respuesta al impulso del sistema.

Para ello, examine las opciones de los comandos `zplane` y `roots`.

Ejercicio 4: Considere el sistema continuo

$$H(s) = \frac{12500s}{44s^2 + 60625s + 625 \cdot 10^4}$$

y obtenga la función de transferencia $H(z)$ del sistema discreto correspondiente, mediante la utilización de las transformaciones conformes de Euler y Bilineal. Para ello:

1. Determine la frecuencia de corte del sistema continuo (frecuencia donde la respuesta cae 3 dB respecto al valor máximo) y utilice, para aplicar las transformaciones conformes, una frecuencia de muestreo cuatro veces superior a ésta.
2. Analice la respuesta en frecuencia de los dos sistemas discretos obtenidos y compárelas con la del sistema continuo. Determine si la frecuencia de muestreo empleada permite obtener la respuesta esperada mediante ambas transformaciones conformes.

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad VII

Filtros digitales

1. Objetivos

- Aplicar diferentes métodos para el diseño de filtros digitales.
- Comprender las especificaciones estándar con que se diseñan filtros y aplicar las técnicas conocidas para satisfacerlas.
- Reconocer las ventajas y desventajas de cada prototipo de filtro con respuesta infinita al impulso (IIR).
- Diseñar e implementar filtros de respuesta finita al impulso (FIR).
- Valorar las ventajas y desventajas relativas entre filtros IIR y FIR.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: El diagrama de la Figura 1 muestra los polos y ceros correspondientes a un filtro pasa-banda. Dicho filtro tiene cuatro polos, ubicados en (0.95,45°), (0.95,-45°), (0.95,45°), (0.95,-45°) y cuatro ceros ubicados en (0.80,30°), (0.80,-30°), (0.80,60°), (0.80,-60°) (coordenadas polares, ángulos en grados).

a) Genere el diagrama de polos y ceros en el plano Z, como en la Figura 1.

b) Encuentre, evalúe y grafique la respuesta en frecuencia del filtro entre 0 y π.

c) Normalice los coeficientes del filtro, de manera que el valor máximo de la respuesta en frecuencia sea 1.

d) Modifique el radio de los polos (manteniendo los respectivos conjugados) y observe, en la gráfica, como cambia la respuesta en frecuencia.

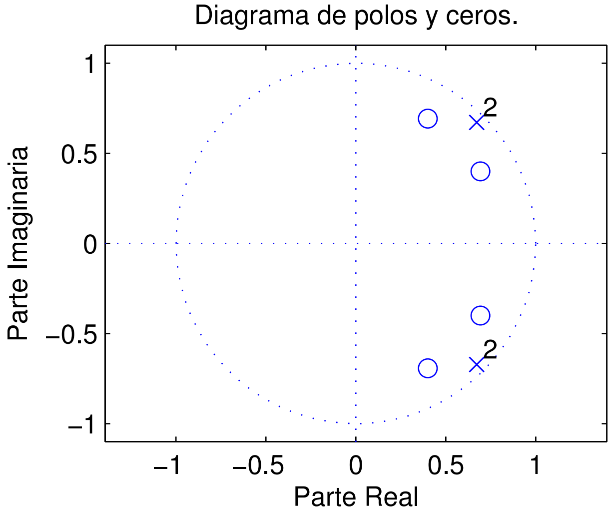

Figura 1: Diagrama de polos y ceros para el filtro del ejercicio 1.

e) Este filtro está diseñado de manera de que cuando se utiliza con señales muestreadas a 200 Hz la banda de paso se centre en 25 Hz. Para comprobar esto, genere una señal sumando dos senoidales de 15 Hz y 25 Hz, para luego filtrarla con el filtro normalizado. Grafique la señal original, la señal filtrada y sus espectros, y analice el resultado.

f) Repita el ítem anterior pero esta vez genere la señal con una frecuencia de muestreo de 120 Hz. Compare el resultado con el caso anterior y obtenga conclusiones.

Ejercicio 2: Diseñe un filtro pasa-altos de tipo Butterworth con frecuencia de corte 500 Hz. Para este ejercicio realice todos los pasos del proceso de diseño, comenzando por el diseño analógico y realizando la transformación en frecuencia y la transformación conforme. Para obtener el filtro digital correspondiente, suponga que se procesarán señales con frecuencia de muestreo 2000 Hz. Utilice diferentes órdenes y compare los resultados graficando las respuestas en frecuencia. No utilice las funciones de diseño de Matlab, sino que realice sus propias funciones para todos los pasos del proceso

Ejercicio 3: Diseñe un filtro FIR mediante el método de ventanas (implementado por usted mismo), que permita eliminar el ruido de línea en una señal que fue muestreada a 300 Hz. Compare los resultados obtenidos con diferentes ventanas de truncado y diferentes cantidades de muestras en la respuesta al impulso.

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad VIII

Identificación de Sistemas

1. Objetivos

- Obtener una visión general sobre los problemas relacionados con la identificación de sistemas.
- Implementar técnicas sencillas para la identificación de sistemas lineales.
- Reconocer las ventajas, desventajas y posibilidades de aplicación de los distintos métodos.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: Considere el sistema $y[n] = 0{,}3y[n-1] - 0{,}4y[n-2] + 0{,}2y[n-3] + x[n]$ y genere una secuencia de salida a una entrada de tipo aleatoria con distribución uniforme y valor medio cero. Utilizando esta señal de salida implemente el método de predicción lineal y verifique el comportamiento de los criterios para estimación del orden.

Ejercicio 2: La señal de electroencefalograma se puede modelar mediante un sistema AR de orden cuatro a ocho. Identifique el sistema que generó la señal almacenada en el archivo `eeg.txt` y compare la respuesta en frecuencia de este sistema con el espectro de la señal.

Procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad IX

Procesamiento digital de la voz

1. Objetivos

- Aplicar técnicas de procesamiento de señales para obtener parámetros característicos de la señal de voz.
- Integrar conocimientos de unidades anteriores en un caso de frecuente aplicación práctica.
- Comparar diferentes métodos para la estimación de la frecuencia fundamental.
- Conocer algunas particularidades de las señales de voz.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: Es de gran utilidad obtener una aproximación a la respuesta del tracto vocal, ya que ésta permite estimar a partir de los sucesivos máximos de este espectro, los valores de las frecuencias formantes de cada fonema. Por otro lado, la componente de excitación es útil, por ejemplo, para la estimación del pitch (entonación) de la voz.

En el archivo `aeiou.txt` se encuentra una señal de voz registrada durante la emisión de las vocales `/a/`, `/e/`, `/i/`, `/o/` y `/u/`, con frecuencia de muestreo 8000 Hz. Se desea aplicar un liftrado para obtener aproximaciones tanto para el espectro de magnitud de la señal de excitación como para la respuesta en frecuencia del tracto vocal, para cada una de las vocales. Realice el liftrado suponiendo que la información de la respuesta del tracto vocal se encuentra en los primeros 20 coeficientes en el dominio de las cuefrencias, y luego repítalo suponiendo que se encuentra en los primeros 40 coeficientes. Utilice la estimación de las respuestas del tracto vocal a partir del liftro con 20 coeficientes para determinar las dos primeras formantes (F_1 y F_2) de las cinco vocales y compare los resultados con la respuesta en frecuencia de un sistema obtenido mediante la técnica de predicción lineal, con un sistema de orden 12. Para todos cálculos se recomienda utilizar 1024 muestras de la parte central (estable) de cada vocal.

Ejercicio 2: En los archivos `mic_F01_sa2.wav` y `mic_M01_sa1.wav` se encuentran los registros a 48 kHz de dos frases completas emitidas por un hablante femenino y uno masculino, respectivamente. Sobre las mismas se desea comparar diferentes técnicas para la estimación de la frecuencia fundamental (pitch o F_0). A partir de estas frases genere otras tres que contengan ruido blanco aditivo con relaciones señal ruido de 0, 20 y 50 dB. Finalmente compare las estimaciones de F_0 por tramos, mediante las técnicas de autocorrelación temporal y coeficientes cepstrales. Además, se brinda a los fines de comparación las señales `ref_F01_sa2.f0` y `ref_M01_sa1.f0`, que contienen los valores de frecuencia fundamental obtenidos a partir de una señal de laringografía registrada en simultáneo a la grabación del micrófono. Las mismas se obtuvieron aplicando un método automático a la señal del laringógrafo, utilizando procesamiento por ventanas de 32 milisegundos de duración, con desplazamiento de la ventana de 10 milisegundos entre ventanas sucesivas (además, el procesamiento se comenzó media ventana despues del inicio de la señal).

Muestreo y procesamiento digital de señales

Guía de trabajos prácticos: Unidad X

Análisis tiempo–frecuencia

1. Objetivos

- Conocer los detalles del análisis mediante espectrogramas.
- Analizar las ventajas comparativas de diferentes métodos de análisis tiempo–frecuencia.
- Incorporar el concepto de frecuencia instantánea.
- Revisar el principio de incertidumbre y el teorema de muestreo desde la perspectiva del análisis tiempo–frecuencia.
- Utilizar la transformada onditas para analizar algunas señales sencillas.
- Explorar aplicaciones del análisis tiempo frecuencia y la transformada onditas.

2. Trabajos prácticos

Ejercicio 1: Realice un función para el cáculo y graficación de un espectrograma a partir de ciclos `for` y transformadas rápidas de Fourier `fft`. Utilice diferentes solapamientos y anchos de ventana para el análisis. Analice y discuta los resultados a la luz del principio de incertidumbre de Heisenberg.

Ejercicio 2: Realice el espectrograma de una señal senoidal cuya frecuencia crezca linealmente entre 100 y 200 Hz. Grafique el resultado con las escalas de tiempo y frecuencia adecuadas. Analice y discuta el resultado obtenido.

Ejercicio 3: Genere dos átomos de Gabor diferentes y analícelos según las distribuciones de Wigner–Ville, Choi–Williams y la transformada de Fourier de tiempo corto. Compare los resultados y extraiga conclusiones.

Ejercicio 4: Analice una señal senoidal cuya frecuencia crece linealmente desde cero hasta 8 veces la frecuencia de muestreo mediante la transformada de Gabor.

Ejercicio 5: Analice una señal senoidal cuya frecuencia crece exponencialmente mediante un espectrograma y transformadas onditas de diferentes familias. Compare los resultados obtenidos con la transformada ondita continua muestreada y la discreta diádica.

Ejercicio 6: Diseñe un método simple de compresión con pérdida de información basado en la transformada onditas. Realice el mismo método de compresión basado en coeficientes de predicción lineal. Compare ambos métodos en términos de la relación de compresión y el error cuadrático porcentual obtenido. Para las pruebas, busque en bases de datos de dominio público[1] o registre señales reales que sean de su iterés.

[1] Por ejemplo en Internet.