

$$\begin{aligned}
z - \frac{1}{2} &= 0 \rightarrow z = \rho = \frac{1}{2} \\
\|\rho\| &= \frac{1}{2} < 1 \text{ luego el sistema es estable.} \\
h(n) &= \mathbf{Z}^{-1}[H(z)] \\
h(n) &= \mathbf{Z}^{-1}\left[\frac{z}{z-\frac{1}{2}}\right] = \left(\frac{1}{2}\right)^n \mu(n)
\end{aligned}$$

**Ejercicio3.** Determine la estabilidad del sistema dado por la siguiente ecuación  $y(n) + 3y(n-1) + y(n-2) = x(n)$

solución:

$$\mathbf{Z}[y(n)] + 3\mathbf{Z}[y(n-1)] + \mathbf{Z}[y(n-2)] = \mathbf{Z}[x(n)]$$

$$Y(z) + 3z^{-1}Y(z) + z^{-2}Y(z) = X(z)$$

$$Y(z)(1 + 3z^{-1} + z^{-2}) = X(z)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{1+3z^{-1}+z^{-2}} = \frac{z^2}{z^2+3z+1}$$

$$z^2 + 3z + 1 = 0$$

$$z = \rho = \frac{-3 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$$\rho_2 = \frac{-3 + \sqrt{5}}{2} = -0.38197$$

$$\rho_1 = \frac{-3 - \sqrt{5}}{2} = -2.618$$

$$\|\rho_1\| = 2.618 \not< 1 \text{ luego el sistema no es estable.}$$

**Tarea de Refuerzo.** Sea el sistema dado por la ecuación  $y(n) - y(n-1) + 2y(n-2) = x(n-1)$ .

Determine:

- Función de transferencia.
- Polos y ceros del sistema.
- Estabilidad.
- Respuesta al impulso.
- Respuesta a la entrada rampa  $x(n) = n\mu(n)$ .

**Laboratorios Corte 2-** (Cursos de Procesamiento digital de señales y Analisis de señales.)

**Nota.** Los laboratorios se presentan y sustentan junto con el informe manuscrito en el plazo limite acordado en el pacto de aula del curso.

**Pautas de los Informes:** Construir un informe impreso manuscrito IEEE de una sola columna de un tamaño de 7 a 9 paginas. La primera pagina se compone de **introducción y marco teorico**, la ultima pagina de **conclusiones y referencias bibliograficas** y el resto de paginas del informe (80% a 90%) de la **metodologia** escrita en primera persona del plural que se compone de: descripciones las fases de desarrollo en orden cronologico y logico, diagramas de bloque, diagramas de flujo, diagrama de clases (aplica ing sistemas), graficas, tablas de datos, imagenes, , pantallazos, graficas simulador electronico (aplica a ing electronica), lineas de codigo, anexos resultado busqueda en IA (chatgpt, deepseek, etc) que deben coincidir con el metodo propuesto por el docente y evidencias de cualquier indole.

*Nota. Las lineas de codigo que se coloquen solo deben ser legibles sin fondo oscuro y ser las partes importante del procesamiento computacional y su tamaño total acumulado no exceder de media pagina.*

#### **Laboratorio1 -Corte2** (Curso Procesamiento digital señales e imagenes)

*Diseñar e implementar un sistema discreto estable que para una señal de entrada  $x(n) = ae^{bn}\mu(n)$  entonces la señal de salida sea  $y(n) = ce^{dn} \cosh(kn)\mu(n)$  con señales de mínimo 100 puntos en adelante. El sistema se debe diseñar solamente con el uso de la transformada Z (teoría vista en clase), implementado en un PC en cualquier lenguaje como Python, C, Go, Matlab,.. etc. Se debe visualizar las graficas simultaneamente de las señales de salida y entrada que se generan con el programa construido. La aplicación debe tener una interfaz de usuario para ingresar los parámetros de entrada y el conjunto de parámetros o constantes del sistema deben ser unico para cada grupo de laboratorio.*

#### **Laboratorio2 - Corte 2** (Curso Procesamiento digital señales e imagenes)

*Diseñar e implementar un sistema automatico en tiempo real (microfono activado) que entre dos palabras diferentes el ancho de banda sea segmentado en dos subbandas con uso de la FFT. Luego se calcula y visualiza la energia de cada subbanda con el criterio de que las energias de subbandas equivalentes entre palabras diferentes sean diferentes. El sistema se debe diseñar solamente con el uso de la FFT implementado en un PC en cualquier lenguaje como Python, C, Go, Matlab,.. etc. Se debe visualizar las graficas del espectro, la energia de cada subbanda y debe coincidir con la energia promedio y desviación de cada subbanda escrita en el informe. Las dos palabras seleccionadas deben ser unicas para cada grupo de laboratorio. Se recomienda ver al final de este documento el Anexo1 "Reconocimiento de Señales con Bancos de Filtros (FFT)".*

#### **Recomendaciones.**

- i). El tiempo o tamaño de las grabaciones de los 2 conjuntos de palabras deben ser iguales.*
- ii). Utilice el promedio y desviación estandar de energias de subbandas del conjunto de grabaciones en cada una de las 2 palabras.*
- iii). Las subbandas equivalentes de cada una de las 2 palabras deben tener el mismo tamaño (vectores de igual tamaño).*

#### **Laboratorio1 - Corte 2** (Curso Analisis de Señales)

*Diseñar e implementar con amplificadores operacionales una serie finita de Fourier de 3 armónicos de la señal onda cuadrada con nivel bajo en cero y nivel alto A con 50% del ciclo del trabajo util. El diseño matematico se debe hacer con el uso de las series de Fourier trigonometrica (teoría vista en clase). Se debe visualizar en el osciloscopio la serie finita de Fourier de 3 armónicos de la onda cuadrada con sus parámetros de amplitud y periodo. Los parámetros como amplitud y periodo de la onda cuadrada deben ser unicos para cada grupo de laboratorio.*

*Sugerencia. Utilizar la función de la librería que calcule la DCT tipo 2 en el lenguaje seleccionado.*

### **Anexo1. Reconocimiento de Señales con Bancos de Filtros (FFT)**

*Los comandos son palabras con un tiempo fijo de grabación (se aplica también a señales que no son voz). Se adquiere un valor grande de  $M$  grabaciones de cada comando. Las señales elegidas (comandos) se acondicionan eliminando parte del ruido con algún tipo de filtro analógico o digital. Luego se ajustan todas las grabaciones al mismo tamaño o número de puntos. La señal se adquiere con un buen micrófono en un ambiente normal para capturar el mínimo ruido posible. Si se va a trabajar con filtros diseñados con FFT entonces el tamaño de las señales o grabaciones debe ser potencia de 2.*

#### **Algoritmo de reconocimiento de voz**

Por ejemplo tenemos dos comandos de voz  $= \{C, D\}$ . Se grafica el espectro de cada señal y se toma un ancho de banda común  $BW$  para todos los comandos.

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \text{fft}(x); \\ z = \text{abs}(y); \\ \text{ grafica espectro } \text{plot}(z) \end{array} \right\}$$

Luego el ancho de banda común  $BW$  lo dividen en partes iguales o desiguales, por ejemplo 4 partes iguales y de esa forma la señal queda filtrada en 4 filtros pasabandas por medio de la FFT. También se puede ingresar la señal en 4 filtros pasabanda en paralelo (banco de filtros) que tienen una magnitud de ancho de banda  $\frac{BW}{4}$ . A las cuatro señales de salida de cada filtro se le calcula la energía o la potencia para obtener una secuencia de 4 valores de energía por cada comando.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \|X(k)\|^2 \rightarrow \text{ calculo de energia con uso de la DFT (FFT)}$$

$$P = \frac{1}{N^2} \sum_{k=0}^{N-1} \|X(k)\|^2 \rightarrow \text{ calculo de potencia con uso de DFT (FFT)}$$

Después de pasar la base de datos de cada comando por el banco de filtros deben promediar la energía o potencia de la salida de cada filtro para cada comando y obtienen unos umbrales (valores promedio) que se toman como constantes en un programa para hacer la comparación en tiempo real con los comandos de entrada y así hacer el reconocimiento de voz. Entre más grabaciones se tengan de cada comando el reconocimiento presenta un margen de error más pequeño y entre más divisiones tenga el ancho de banda el reconocimiento será más eficiente.

**1). Entrenamiento:** Es el proceso algorítmico para obtener los vectores de umbrales de energía o potencia.

*Secuencia de umbrales de energia ó potencia de cada subbanda de frecuencia del comando C:*

$$\begin{array}{ccccccc} E_{c1} = \frac{\sum EC_1}{M} & E_{c2} = \frac{\sum EC_2}{M} & E_{c3} = \frac{\sum EC_3}{M} & E_{c4} = \frac{\sum EC_4}{M} \\ C \longrightarrow [E_{c1} & E_{c2} & E_{c3} & E_{c4}] \longrightarrow \text{Secuencia de umbrales de energia} \\ \text{comando C} \end{array}$$

*Secuencia de umbrales de energia ó potencia de cada subbanda de frecuencia del comando D:*

$$\begin{array}{ccccccc} E_{d1} = \frac{\sum ED_1}{M} & E_{d2} = \frac{\sum ED_2}{M} & E_{d3} = \frac{\sum ED_3}{M} & E_{d4} = \frac{\sum ED_4}{M} \\ D \longrightarrow [E_{d1} & E_{d2} & E_{d3} & E_{d4}] \longrightarrow \text{Secuencia de umbrales de energia co-} \\ \text{mando D} \end{array}$$

$$E = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \|X(k)\|^2 \rightarrow \text{Calculo de energia ( Se podria usar potencia)}$$

## 2). Reconocimiento en tiempo real:

*C*  $\longrightarrow$  pasa por los 4 filtros en paralelo y en la salida de cada filtro se calcula las energias y se obtiene el vector  $[EC_1 \ EC_2 \ EC_3 \ EC_4]$  que se compara con los 2 vectores de umbrales que son  $[E_{c1} \ E_{c2} \ E_{c3} \ E_{c4}]$  y  $[E_{d1} \ E_{d2} \ E_{d3} \ E_{d4}]$ . El comando se reconoce considerando la menor diferencia con uno de los vectores de umbrales. Lo mismo sucede si ingresa el comando D. El banco de filtros se puede construir con filtros digitales diseñados en el dominio del tiempo o tambien con transformada rapida de Fourier. Si se diseña un filtro indirecto con FFT se tiene que:  $X(k) = [X(0) \ X(1) \ X(2) \ X(3) \ X(4) \ X(5) \ X(6) \ X(7)]$

El ancho va a estar desde la frecuencia armonica del ultimo punto menos la frecuencia armonica del primer punto. Si se particiona el vector  $X(k)$  (FFT) por ejemplo en 4 partes iguales entonces el espectro queda dividido como si se hubiera pasado la señal por un banco de filtros.

$$\begin{array}{l} X_1(k) = [X(0) \ X(1)] \\ X_2(k) = [X(2) \ X(3)] \\ X_3(k) = [X(4) \ X(5)] \\ X_4(k) = [X(6) \ X(7)] \end{array}$$

$$E = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \|X(k)\|^2 \rightarrow \text{Energia en el dominio de la frecuencia.}$$

**Nota.** Para el proyecto final no es necesario programar la FFT sino que pueden usar la función `fft` que tenga Python, Go, C, Java o Matlab para realizar el proyecto.