

## **Proyecto final**

### **Guía de laboratorio filtros**

#### **Procesamiento digital de señales**

**Jesus Anibal Osorio Castaño CC. 15451068**

**2023-1**

#### **Diseño de filtros con respuesta infinita al impulso (IIR).**

Un filtro IIR es un tipo de filtro digital, un sistema cuya salida depende además de salidas anteriores y que, estando en reposo, al ser estimulados con una entrada impulsional su salida no vuelve al reposo, de ahí el calificativo de filtros de respuesta impulsional infinita (IIR). La ecuación en diferencias general es de la forma:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_Mx(n-M) - a_1y(n-1) - a_2y(n-2) - \dots - a_Ny(n-N)$$

Donde el orden es igual al máximo de M y N. La cual se puede reescribir así:

$$\sum_{k=0}^M b_k \cdot x(n-k) - \sum_{k=1}^N a_k \cdot y(n-k)$$

Como podemos apreciar en esta ecuación la salida del filtro depende no solo de valores anteriores ponderados de la señal a filtrar x, sino también de valores anteriores ponderados de la misma salida del filtro y. Es por esto por lo que estos filtros son recursivos, lo cual les confiere sus principales características.

La función de transferencia en Z del filtro es:

Principales características:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k \cdot z^{-k}}{\sum_{k=0}^N a_k \cdot z^{-k}}$$

- Con un filtro IIR de orden relativamente bajo se pueden obtener características semejantes a un filtro FIR de orden alto.
- Debido a la recursión, en el diseño de este tipo de filtros se puede obtener un filtro inestable, condición que debe ser siempre considerada.

El enfoque de diseño de filtros digitales IIR se apoya en la muy desarrollada teoría de filtros analógicos, de manera que el procedimiento básicamente es:

- Convertir las especificaciones del filtro digital en especificaciones para un filtro analógico semejante.
- Obtener la función de transferencia del filtro analógico.
- Discretizar la función de transferencia para obtener una función de transferencia discreta.
- Verificar que la respuesta del filtro obtenido sea la deseada.

Existen varios métodos comunes para el diseño de filtros IIR (Infinite Impulse Response). Aquí se presentan algunos de ellos:

**Filtros de Butterworth:** El diseño de filtro Butterworth es un método utilizado para diseñar filtros IIR (Infinite Impulse Response) con una respuesta en frecuencia lo más plana posible en la banda de paso y una caída gradual en la banda de rechazo. Estos filtros son conocidos por su respuesta en frecuencia suave y su capacidad de eliminar eficientemente las frecuencias no deseadas.

El diseño de un filtro Butterworth implica especificar la frecuencia de corte, el tipo de filtro (paso bajo, paso alto, etc.) y el orden del filtro. El orden del filtro determina la cantidad de polos en el sistema y afecta la forma y la eficiencia del filtro. A medida que aumenta el orden del filtro, se logra una mayor atenuación en la banda de rechazo, pero también se introduce una mayor distorsión en la fase.

**Filtros de Tchebyshev:** Los filtros Chebyshev se dividen en dos tipos: Chebyshev tipo I y Chebyshev tipo II.

**El filtro Chebyshev tipo I**, también conocido como filtro Chebyshev de paso alto o paso bajo, tiene una respuesta en frecuencia que presenta una mayor cantidad de rizado en la banda de paso, pero una caída más rápida en la banda de rechazo. Esto significa que el filtro permite el paso de frecuencias en la banda de paso con una atenuación mínima, pero presenta oscilaciones o rizado en la respuesta en frecuencia. El grado de rizado se controla mediante el parámetro de rizado, que determina la cantidad de rizado permitido en la banda de paso.

**El filtro Chebyshev tipo II**, también conocido como filtro Chebyshev de paso de banda o rechaza banda, tiene una respuesta en frecuencia que presenta una atenuación constante en la banda de paso y una mayor cantidad de rizado en la banda de rechazo. Este tipo de filtro se utiliza cuando se desea atenuar selectivamente una banda de frecuencia específica mientras se permite el paso de otras frecuencias.

El diseño de filtros Chebyshev implica especificar la frecuencia de corte, el tipo de filtro (paso bajo, paso alto, paso de banda, etc.), el grado de rizado y el orden del filtro. El grado de rizado y el orden del filtro están relacionados con la cantidad de oscilaciones permitidas en la banda de paso y la eficiencia del filtro, respectivamente.

**Filtros Elípticos:** El diseño de filtros elípticos es un método utilizado para diseñar filtros IIR (Infinite Impulse Response) que proporcionan una respuesta en frecuencia óptima tanto en la banda de paso como en la banda de rechazo. Estos filtros son conocidos por tener una transición muy abrupta entre las regiones de paso y rechazo, lo que permite un alto nivel de selectividad.

La característica distintiva de los filtros elípticos es que logran una atenuación mínima en la banda de paso y una atenuación máxima en la banda de rechazo, sin rizado en la banda de paso. Esto significa que los filtros elípticos proporcionan una respuesta en frecuencia muy plana en la banda de paso, sin oscilaciones o rizado, y una atenuación muy pronunciada en la banda de rechazo.

El diseño de filtros elípticos implica especificar la frecuencia de corte, el tipo de filtro (paso bajo, paso alto, paso de banda, etc.), la atenuación deseada en la banda de rechazo, la atenuación deseada en la banda de paso y el orden del filtro. El orden del filtro está relacionado con la cantidad de polos y ceros requeridos para lograr la respuesta en frecuencia deseada.

Es importante tener en cuenta que el diseño de filtros elípticos puede ser más complejo en comparación con otros tipos de filtros, debido a la necesidad de especificar tanto la atenuación en la banda de paso como en la banda de rechazo. Sin embargo, los filtros elípticos ofrecen un rendimiento superior en términos de selectividad y planitud de la respuesta en frecuencia.

Estos filtros proporcionan una respuesta en frecuencia óptima, con una atenuación mínima en la banda de paso y una atenuación máxima en la banda de rechazo. Estos filtros son ideales cuando se requiere una alta selectividad y una respuesta en frecuencia muy plana en la banda de paso.

**Filtros de Bessel:** El diseño de filtros Bessel es un método utilizado para diseñar filtros IIR que ofrecen una respuesta en frecuencia con una fase lineal y una respuesta de amplitud casi plana en la banda de paso. Estos filtros son conocidos por preservar la forma de onda de las señales de entrada sin distorsión significativa en el dominio del tiempo.

La característica distintiva de los filtros Bessel es su respuesta de fase lineal, lo que significa que todas las componentes de frecuencia de la señal de entrada se retrasan en la misma cantidad de tiempo. Esta propiedad es especialmente útil en

aplicaciones donde se necesita preservar la forma de onda y la fase de la señal, como en sistemas de audio o telecomunicaciones.

El diseño de filtros Bessel implica especificar la frecuencia de corte, el tipo de filtro (paso bajo, paso alto, paso de banda, etc.), la atenuación deseada en la banda de rechazo y el orden del filtro. El orden del filtro está relacionado con la cantidad de polos y ceros requeridos para lograr la respuesta en frecuencia deseada.

Estos filtros proporcionan una respuesta en frecuencia con una fase lineal y una respuesta de amplitud casi plana en la banda de paso. Estos filtros son ideales cuando se necesita preservar la forma de onda y la fase de la señal de entrada.

## **1. Procedimiento:**

**1.1** Implemente un filtro Butterworth pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 16, frecuencia de corte1 1KHz, frecuencia de corte2 2.5KHz, frecuencia de muestreo 8KHz.

- Usando subplots grafique la respuesta en frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique la respuesta en fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.

¿Qué puede observar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**1.2** Implemente un filtro Chebyshev tipo I pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 1KHz, frecuencia de corte2 2.5KHz, frecuencia de muestreo 8KHz, rizado 1dB.

- Usando subplots grafique la respuesta en frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique la respuesta en fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.

¿Qué puede observar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**1.3** Implemente un filtro Chebyshev tipo II pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 1KHz, frecuencia de corte2 2.5KHz, frecuencia de muestreo 8KHz, rizado 1dB.

- Usando subplots grafique la respuesta en frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique la respuesta en fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.

¿Qué puede observar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**1.4** Implemente un filtro Elíptico pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 1KHz, frecuencia de corte2 2.5KHz, frecuencia de muestreo 8KHz, rizado banda de paso 1dB, atenuación banda de paso 40dB.

- Usando subplots grafique la respuesta en frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique la respuesta en fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.

¿Qué puede observar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**1.5** Implemente un filtro Bessel pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 1KHz, frecuencia de corte2 2.5KHz, frecuencia de muestreo 8KHz.

- Usando subplots grafique la respuesta en frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique la respuesta en fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.

¿Qué puede observar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

## **2. Filtrado de música con los diferentes filtros.**

De manera general, existen 4 familias principales de instrumentos musicales: viento, cuerda, percusión y los eléctricos. Aunque se consideran más categorías, estas son las más usadas.

En este caso utilizamos un clarinete en Bb para generar el audio a analizar. Las frecuencias de las notas del clarinete en Bb pueden variar ligeramente dependiendo del fabricante y del modelo del instrumento. A continuación, se muestra una lista aproximada de las frecuencias de las notas del clarinete en Bb:

Bb (Si bemol) grave: alrededor de 233 Hz

C: alrededor de 261 Hz

Db (Re bemol): alrededor de 277 Hz

D: alrededor de 293 Hz

Eb (Mi bemol): alrededor de 311 Hz

E: alrededor de 329 Hz

F: alrededor de 349 Hz

Gb (Sol bemol): alrededor de 369 Hz

G: alrededor de 392 Hz

Ab (La bemol): alrededor de 415 Hz

A: alrededor de 440 Hz

Bb (Si bemol) agudo: alrededor de 466 Hz

B: alrededor de 493 Hz

C agudo: alrededor de 523 Hz

Estas frecuencias son aproximadas y pueden variar ligeramente en diferentes contextos musicales. Además, ten en cuenta que las notas más altas en el registro del clarinete pueden tener frecuencias más altas que las mencionadas anteriormente.

Para tener un control de estas frecuencias se ha grabado una mezcla de 3 audios con rangos en las siguientes frecuencias: de 146Hz a 2332Hz, de 292Hz a 464Hz y de 587Hz a 942Hz.

**2.1** Cargue, grafique la señal, grafique el espectro en frecuencia y escuche la señal compartida (mezcla.wav).

**2.2** Implemente un filtro Butterworth pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 262Hz, frecuencia de corte2 526Hz, y su respectiva frecuencia de muestreo.

- Usando subplots grafique la frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.
- Escuche los audios después de pasarlos por cada filtro.

¿Qué puede escuchar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**2.3** Implemente un filtro Tchebyshev Tipo I pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 262Hz, frecuencia de corte2 526Hz, rizado 1dB y su respectiva frecuencia de muestreo.



- Usando subplots grafique la frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.
- Escuche los audios después de pasarlos por cada filtro.

¿Qué puede escuchar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**2.4** Implemente un filtro Tchebyshev Tipo II pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 262Hz, frecuencia de corte2 526Hz, rizado 1dB y su respectiva frecuencia de muestreo.

- Usando subplots grafique la frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.
- Escuche los audios después de pasarlos por cada filtro.

¿Qué puede escuchar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**2.5** Implemente un filtro Elíptico pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 262Hz, frecuencia de corte2 526Hz, rizado 1dB, atenuación 10dB y su respectiva frecuencia de muestreo.

- Usando subplots grafique la frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.
- Escuche los audios después de pasarlos por cada filtro.

¿Qué puede escuchar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

**2.6** Implemente un filtro Bessel pasa-bajas, pasa-altas, pasa-bandas y rechaza-bandas con las siguientes características: orden 4, frecuencia de corte1 262Hz, frecuencia de corte2 526Hz y su respectiva frecuencia de muestreo.

- Usando subplots grafique la frecuencia de cada filtro.
- Usando subplots grafique fase de cada filtro.
- Grafique el diagrama de polos y ceros.
- Escuche los audios después de pasarlos por cada filtro.

¿Qué puede escuchar?, ¿Qué diferencias encuentra?, ¿Existe alguna diferencia de un filtro respecto a otro?

### **3. Conclusiones generales.**