

Laboratorio de Procesado Digital de Señal - 3º GITT

Práctica 4: filtros digitales IIR

En esta práctica se va a trabajar con distintos tipos de filtros IIR y se van a analizar sus características a partir de sus respuestas en frecuencia y de sus diagramas de polos y ceros.

Se facilitan al alumno los valores de los parámetros de los filtros IIR que se van a diseñar a continuación.

Programa en Matlab los siguientes apartados, comentando el código.

Al finalizar la práctica, suba a la plataforma web de la asignatura (Moodle) un archivo PDF, en el que se responda a los apartados de la práctica y en el que se presenten las figuras que se piden, y un archivo .m, con el código de Matlab con el que se obtienen los resultados.

Diseño de filtros IIR

En este apartado se van a diseñar filtros IIR de distintos tipos. Para ello, al igual que en la práctica anterior, se va a emplear la herramienta *Filter Design & Analysis Tool* de Matlab.

Una vez indicados el tipo de filtro y sus parámetros, hay que pulsar en el botón **Design Filter** en la parte inferior de la ventana.

Después hay que ir al menú **Edit** y elegir la opción **Convert to Single Section** para preparar los coeficientes del filtro a formato de numerador (coeficientes b) y denominador (coeficientes a). Para verificar que este proceso se ha realizado, en la parte superior izquierda de la ventana (sección **Current Filter Information**) debe aparecer el texto:

Source: Converted

Para exportar los coeficientes del filtro diseñado hay que ir al menú **File** -> **Export** e indicar los valores deseados en la ventana que aparece.

A partir de los parámetros facilitados al alumno, realice los siguientes apartados:

a) **Diseñe un filtro IIR paso bajo** con las siguientes características:

- Tipo de respuesta: Lowpass
- Método de diseño: IIR – Elliptic
- Orden del filtro: M
- Especificación de frecuencias:
 - Unidades: Hz
 - F_s : F_s
 - F_{pass} : f

- Especificación de magnitudes:
 - Unidades: dB
 - $A_{pass} = A_{pass}$
 - $A_{stop} = A_{stop}$

Response Type <input checked="" type="radio"/> Lowpass <input type="radio"/> Highpass <input type="radio"/> Bandpass <input type="radio"/> Bandstop <input type="radio"/> Differentiator Design Method <input checked="" type="radio"/> IIR Elliptic <input type="radio"/> FIR Interpolated FIR	Filter Order <input checked="" type="radio"/> Specify order: <input type="text" value="M"/> <input type="radio"/> Minimum order Options There are no optional parameters for this design method.	Frequency Specifications Units: <input type="text" value="Hz"/> Fs: <input type="text" value="Fs"/> Fpass: <input type="text" value="f"/>	Magnitude Specifications Units: <input type="text" value="dB"/> Apass: <input type="text" value="Apass"/> Astop: <input type="text" value="Astop"/>
---	--	---	---

b) **Diseño un filtro IIR paso bajo** con las siguientes características:

- Tipo de respuesta: Lowpass
- Método de diseño: IIR – Butterworth
- Orden del filtro: M
- Especificación de frecuencias:
 - Unidades: Hz
 - Fs: F_s
 - Fpass: f

Response Type <input checked="" type="radio"/> Lowpass <input type="radio"/> Highpass <input type="radio"/> Bandpass <input type="radio"/> Bandstop <input type="radio"/> Differentiator Design Method <input checked="" type="radio"/> IIR Butterworth <input type="radio"/> FIR Interpolated FIR	Filter Order <input checked="" type="radio"/> Specify order: <input type="text" value="M"/> <input type="radio"/> Minimum order Options There are no optional parameters for this design method.	Frequency Specifications Units: <input type="text" value="Hz"/> Fs: <input type="text" value="Fs"/> Fc: <input type="text" value="f"/>	Magnitude Specifications The attenuation at cutoff frequencies is fixed at 3 dB (half the passband power)
--	--	--	---

c) **Diseño un filtro IIR paso bajo** con las siguientes características:

- Tipo de respuesta: Lowpass
- Método de diseño: IIR – Chebyshev Type I
- Orden del filtro: M
- Especificación de frecuencias:
 - Unidades: Hz
 - Fs: F_s
 - Fpass: f
- Especificación de magnitudes:
 - Unidades: dB
 - $A_{pass} = A_{pass}$

Response Type <input checked="" type="radio"/> Lowpass <input type="radio"/> Highpass <input type="radio"/> Bandpass <input type="radio"/> Bandstop <input type="radio"/> Differentiator Design Method <input checked="" type="radio"/> IIR Chebyshev Type I <input type="radio"/> FIR Interpolated FIR	Filter Order <input checked="" type="radio"/> Specify order: <input type="text" value="M"/> <input type="radio"/> Minimum order Options There are no optional parameters for this design method.	Frequency Specifications Units: <input type="text" value="Hz"/> Fs: <input type="text" value="Fs"/> Fpass: <input type="text" value="f"/>	Magnitude Specifications Units: <input type="text" value="dB"/> Apass: <input type="text" value="Apass"/>
---	--	---	--

d) **Diseñe un filtro IIR paso bajo** con las siguientes características:

- Tipo de respuesta: Lowpass
- Método de diseño: IIR – Chebyshev Type II
- Orden del filtro: M
- Especificación de frecuencias:
 - Unidades: Hz
 - F_s : F_s
 - F_{pass} : f
- Especificación de magnitudes:
 - Unidades: dB
 - A_{stop} = A_{stop}

Response Type <input checked="" type="radio"/> Lowpass <input type="radio"/> Highpass <input type="radio"/> Bandpass <input type="radio"/> Bandstop <input type="radio"/> Differentiator Design Method <input checked="" type="radio"/> IIR Chebyshev Type II <input type="radio"/> FIR Interpolated FIR	Filter Order <input checked="" type="radio"/> Specify order: <input type="text" value="M"/> <input type="radio"/> Minimum order Options There are no optional parameters for this design method.	Frequency Specifications Units: <input type="text" value="Hz"/> Fs: <input type="text" value="Fs"/> Fstop: <input type="text" value="f"/>	Magnitude Specifications Units: <input type="text" value="dB"/> Astop: <input type="text" value="Astop"/>
--	--	---	--

Análisis de filtros

Módulo y fase

En este apartado se va a analizar el módulo y la fase de los filtros diseñados anteriormente, atendiendo a las diferencias observadas entre ellos, fruto del diseño.

Realice los siguientes apartados, a partir de los resultados del bloque anterior:

- Analice las diferencias en la ganancia, en función de la frecuencia, de los cuatro filtros anteriores. Exponga y justifique gráficamente las conclusiones extraídas. Para ello deberá obtener la respuesta en frecuencia de cada filtro (utilizando la función `freqz` con, al menos, 5.000 puntos) y representarla en decibelios vs. Hertzios.
- Analice las diferencias en la fase, en función de la frecuencia, de los cuatro filtros anteriores. Exponga y justifique gráficamente las conclusiones extraídas del análisis. Utilice la función `unwrap` para eliminar saltos en la fase.

Polos y ceros

En este apartado se van a analizar los filtros IIR a partir de su diagrama de polos y ceros.

A partir de los filtros diseñados anteriormente, realice los siguientes apartados:

- Represente, en ejes independientes dentro de una misma figura, el diagrama de polos y ceros de los filtros IIR diseñados en el primer bloque de apartados. Para evitar errores en la representación, emplee la función `zplane` con la raíces de los polinomios que forman los coeficientes **a** y **b** de cada uno de los filtros.
- ¿Son estables los filtros? ¿Por qué?
- Justifique, a partir del diagrama de polos y ceros, por qué son filtros paso bajo.
- Para el filtro IIR Elíptico, justifique matemáticamente, a partir del diagrama de polos y ceros, las frecuencias a las que se producen los máximos en las oscilaciones en la banda de paso. ¿Coinciden con las mostradas en la respuesta en frecuencia del filtro?
- Para el filtro IIR Elíptico, justifique matemáticamente, a partir del diagrama de polos y ceros, las frecuencias que se eliminan en la banda eliminada. ¿Coinciden con las mostradas en la respuesta en frecuencia del filtro?

Estabilidad

En este apartado se va a estudiar en profundidad la estabilidad de los filtros IIR y sus efectos, tanto en frecuencia como en tiempo.

A partir del filtro Elíptico del primer bloque, realice los siguientes apartados:

- Modifique el filtro Elíptico del primer bloque multiplicando sus polos por un factor de 0,95. Tenga en cuenta que los polos son las raíces del polinomio denominador.
- Indique los coeficientes **a** y **b** del nuevo filtro.
- A continuación, modifique el primer filtro Elíptico multiplicando sus polos por un factor de 1,05.
- Indique los coeficientes **a** y **b** del nuevo filtro.
- Calcule la respuesta impulsional del filtro original y de los dos filtros nuevos.
- Comente, justificando gráficamente, qué efectos tienen ambas modificaciones sobre la respuesta en frecuencia de los filtros.
- Comente, justificando gráficamente, qué efectos tienen ambas modificaciones sobre el diagrama de polos y ceros de los filtros.
- Comente, justificando gráficamente, qué efectos tienen ambas modificaciones sobre la respuesta impulsional de los filtros.

NOTA: Junto con el archivo PDF de respuestas de la práctica y el archivo `.m` de código de Matlab, suba a Moodle un archivo `.mat` con los coeficientes de todos los filtros diseñados en la práctica.

Funciones de Matlab

Consulte la ayuda de Matlab para conocer el significado de cada uno de los argumentos.

Miscelánea	
Borra todas las variables del Workspace	<code>clear</code>
Cierra todas las figuras abiertas	<code>close all</code>
Limpia la ventana de comandos	<code>clc</code>
Muestra el mensaje de texto por pantalla	<code>disp('texto');</code>
Devuelve la longitud del vector x	<code>y = length(x);</code>
Vectores	
Generar el vector de valores v entre a y b equiespaciados delta	<code>v = a : delta : b;</code>
Generar el vector v de N valores equiespaciados entre a y b (inclusivos)	<code>v = linspace(a, b, N);</code>
Representación	
Divide la ventana de figura en fil filas y col columnas. Selecciona la división número num	<code>subplot(fil, col, num);</code>
Representación en ejes x-y (siendo el eje y logarítmico) uniendo los puntos	<code>semilogy(ejex, ejey, '-.');</code>
Representación del diagrama de polos y ceros del filtro caracterizado por sus ceros (z) y polos (p)	<code>zplane(z, p, {'o', 'x'});</code>
Limita la representación del eje x entre los valores min y max	<code>xlim([min max]);</code>
Limita la representación del eje y entre los valores min y max	<code>ylim([min max]);</code>

Respuestas	
Calcula num puntos de la respuesta en frecuencia H de un filtro caracterizado por los coef. a y b	H = freqz(b, a, num) ;
Calcula la respuesta al impulso h y su vector de tiempo t de un filtro caracterizado por a y b	[h, t] = impz(b, a) ;
Matemáticas	
Calcula el valor absoluto del número x , o el módulo de éste si es un número complejo	y = abs(x) ;
Calcula el ángulo, en radianes, del número complejo x	y = angle(x) ;
Elimina saltos de $\pm\pi$ en el ángulo x	y = unwrap(x) ;
Número pi	pi
Calcula las raíces y del polinomio caracterizado por sus coeficientes x	y = roots(x) ;
Calcula el polinomio y a partir de las raíces x	y = poly(x) ;
Calcula el logaritmo decimal de x	y = log10(x) ;
Calcula el logaritmo neperiano de x	y = log(x) ;