

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Electrónica

GUÍA DE LABORATORIO 2

FILTROS DIGITALES

FILTROS FIR E IIR

CURSO LABORATORIO DE PROCESAMIENTO
 DIGITAL DE SEÑALES

SIGLA ELO-385

PROFESOR MARCO E. RIVERA A.

AYUDANTE IGNACIO LIZAMA A.

Valparaíso, Marzo de 2009

Guía de Laboratorio 2

Introducción Filtros Digitales: Filtros FIR e IIR

En esta guía se presentan los conceptos básicos y pauta para el desarrollo del segundo laboratorio del curso. En el mundo digital existen dos familias de filtros, conocidos por sus siglas en inglés como filtros **FIR** (Finite Impulse Response) e **IIR** (Infinite Impulse Response), estos últimos corresponden a la discretización de los conocidos filtros análogos, mientras que los primeros son exclusivos del mundo digital. En la práctica los filtros IIR se utilizan para aplicaciones de control o aquellas que pretenden replicar esquemas analógicos. Por otra parte, los filtros FIR resultan muy útiles cuando se requieren filtros de alto orden y el tiempo de procesamiento no es un problema, o cuando se requiere de la característica de fase lineal dentro de la banda de paso. Una vez elegido el tipo de filtro a utilizar, el problema se reduce a encontrar los coeficientes que dan al filtro su característica de respuesta en frecuencia. Hoy en día este proceso se facilita enormemente por la disponibilidad de numerosos programas de software como MatLab, el que se utilizará en esta experiencia, mientras que la implementación experimental se realizará con el DSP TMS320C6711 y el codec de audio. **Este laboratorio tiene como objetivo** familiarizar a los estudiantes con el diseño e implementación de filtros digitales FIR e IIR en un procesador digital de señales, empleando las herramientas de MatLab para determinar los coeficientes y posteriormente aplicándolos a un sistema en tiempo real.

1. Teoría básica Filtros FIR

Un filtro FIR con longitud M , entrada $x(n)$ y salida $y(n)$ se describe por la ecuación de diferencias:

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

donde $\{b_k\}$ son los coeficientes del filtro. Esta estructura es comúnmente conocida como *promedio móvil*, utilizada por ejemplo para determinar el promedio de notas al final de cada semestre.

Alternativamente, es posible representar la secuencia de salida como la convolución de la respuesta a impulso del sistema $h(n)$ con la entrada.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} h_d(k) \cdot x(n-k) \quad (2)$$

donde $x(n)$ representa la entrada muestreada, $h_d(n)$ representa la respuesta a impulso ideal del filtro, e $y(n)$ es la salida filtrada. Es claro que las ecuaciones (1) y (2) son iguales en su forma y, por lo tanto, se puede decir que $b_k = h_d(k)$, $k = 0, 1, 2, \dots, M-1$.

En general, la respuesta a impulso $h_d(n)$ para un filtro ideal es infinita en duración y debe ser truncada en algún punto para su manejo en sistemas reales. Para producir un filtro FIR de largo M es necesario truncarla en $n = M - 1$. Este truncamiento es equivalente a la multiplicación de la respuesta a impulso ideal del filtro con una ventana rectangular, definida como:

$$w(n) = \begin{cases} 1 & n = 0, 1, 2, \dots, M-1 \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

Con ello se puede describir la ecuación (2) de la siguiente forma:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} h(k)x(n-k) \quad (4)$$

Esta truncación de los coeficientes afecta la respuesta del filtro, apareciendo oscilaciones en las bandas de paso y supresión, además de una disminución en la pendiente de caída del filtro. Estas características pueden alterarse utilizando otro tipo de ventanas y entre las más comunes se pueden mencionar las siguientes:

$$\text{Blackman} \quad 0.42 - 0.5 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right) + 0.08 \cdot \cos\left(\frac{4\pi n}{M-1}\right) \quad (5)$$

$$\text{Hamming} \quad 0.54 - 0.46 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{M-1}\right) \quad (6)$$

Aplicando la transformada Z a (4) es posible observar algunas características interesantes de los filtros FIR:

$$\begin{aligned} Z\{y(n)\} &= Z\left\{\sum_{k=0}^{M-1} h(k) \cdot x(n-k)\right\} = Z\{x(n)\} \cdot \sum_{k=0}^{M-1} h(k) \cdot z^{-k} \\ &= \frac{\sum_{k=0}^{M-1} h(k) \cdot z^{M-k-1}}{z^{M-1}} Z\{x(n)\} \end{aligned} \quad (7)$$

De (7) se puede ver que un filtro FIR de orden M posee M-1 polos en cero, es decir M-1 retardos, por lo que es siempre estable, y su característica de filtrado está dada sólo por la ubicación de sus ceros.

2. Buffer Lineal y Circular

De la ecuación (4) es posible identificar tanto entradas $x(k)$ como coeficientes $b(k)$. Para calcular la salida del filtro es necesario mantener en memoria un buffer con los datos de las entradas pasadas (también llamadas “delay line”) además de la muestra actual. Existen dos formas de implementar un buffer para almacenar los datos pasados.

- **Buffer Lineal:** Este tipo de buffer contempla el uso de un puntero que siempre apunta al comienzo del arreglo que actúa como buffer. Con este tipo de arreglo es necesario realizar corrimientos sucesivos de todos los datos almacenados de modo que el más antiguo “caiga” del buffer y el más nuevo quede en la primera posición. El inconveniente que se presenta en esta implementación es que el costo en tiempo de ejecución de mover grandes cantidades de datos es alto. En la **Fig. 1** se observa un esquema de la implementación.

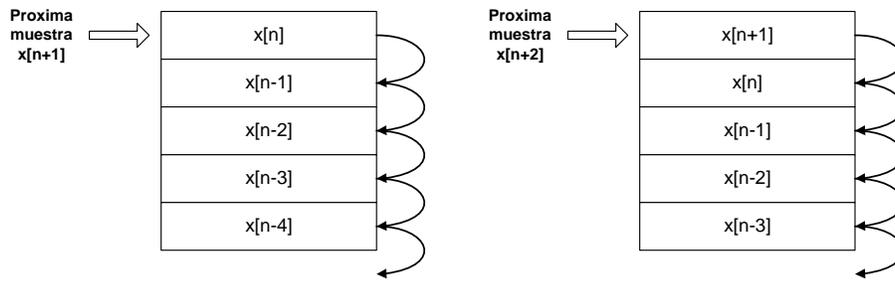


Fig. 1. Esquema del buffer lineal.

- Buffer Circular:** El direccionamiento por buffer circular se basa en la manipulación de un puntero, el cual es incrementado en cada ciclo. Por este método es posible realizar los cálculos de forma más eficiente. Cada nueva muestra que debe ser almacenada es ubicada en la posición de memoria utilizada por el dato más viejo, y que ya no es necesario para el cálculo de la salida del filtro, reutilizando de esta forma la memoria. Cuando el puntero alcanza el final del buffer debe ser actualizado para que salte al comienzo del buffer. Este hecho da nombre a este tipo de buffer ya que el final del arreglo parece quedar junto al comienzo del mismo en una forma circular. Algunos DSPs implementan los buffer circulares por hardware, lo cual permite conservar memoria y minimizar la sobrecarga del software. Es necesario darse cuenta de que este tipo de implementación requiere del manejo apropiado del puntero tanto de buffer de datos como de coeficientes (**Fig. 2**).

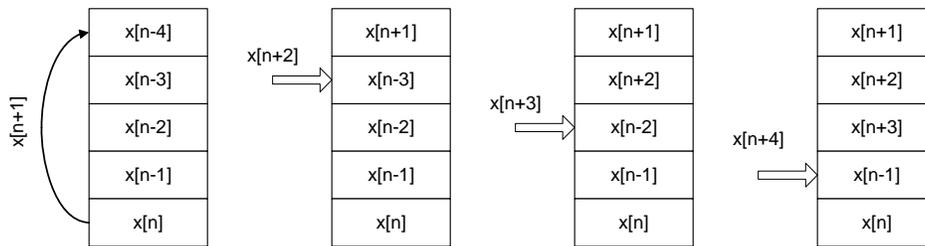


Fig. 2. Movimiento de datos en un buffer circular.

3. Actividades

3.1 Parte Teórica (FIR)

- 3.1.1 Estudie y explique detalladamente el funcionamiento de un buffer circular. No copie la definición antes dada, sino que explíquelo con sus propias palabras. ¿Por qué es tan importante utilizarlo en la implementación de un filtro FIR?
- 3.1.2 Estudiar los comandos de MatLab `fir1`, `fir2` y `remez`. Comente las principales características de cada uno de ellos.
- 3.1.3 Diseñe un filtro pasa bajos de orden 70 con frecuencia de corte en 1.5 kHz y frecuencia de muestreo 8 kHz, empleando el método por ventanas usando el comando `fir1`, (use ventanas Blackman, y Rectangular). Analice similitudes y diferencias de los ambos filtros empleando el comando `freqz`.
- 3.1.4 Compare el resultado obtenido con el filtro Rectangular del punto anterior con uno de las mismas características pero de orden 30. Analice similitudes y diferencias empleando el comando `freqz`.
- 3.1.5 Obtenga los coeficientes para un filtro de orden 70 y de orden 150 para el filtro de la Fig. 3.10 utilizando el comando `fir2`.

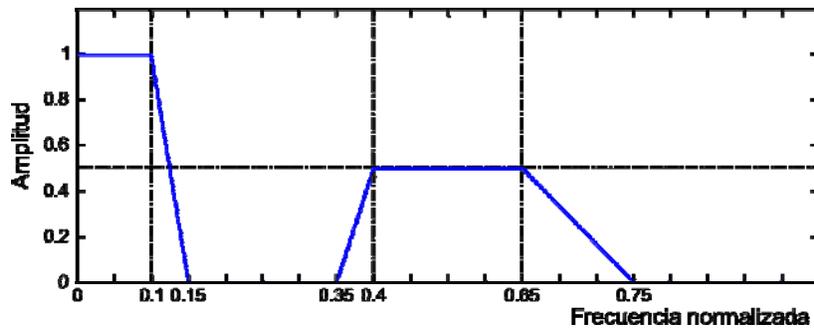


Fig. 3.10. Respuesta del filtro a diseñar con FIR2.

- 3.1.6 Escriba una función llamada `fir_lineal()` (en MatLab) y, usando los coeficientes obtenidos en los puntos anteriores, simule los filtros usando la señal `rb.m` que se encuentra en la página web del curso utilizando un buffer de tipo lineal. Utilice la función `espectro(datos,frec_muest)` para obtener el espectro de los datos de salida.
- 3.1.7 Escriba una función llamada `fir_circ()` (en MatLab) que implemente un buffer de tipo circular. Compruebe la correcta implementación de este buffer comparando los resultados con los obtenidos en el punto anterior para al menos uno de los filtros diseñados.

3.2 Parte Experimental (FIR)

Se enviará próximamente.