

Trabajo Práctico 2

Procesamiento multirate

1. Introducción

1.1. Objetivo

Dado el problema planteado en el Trabajo Práctico 1, considere una señal de audio digitalizada a una frecuencia de muestreo de $f_s = 44100$ Hz, la cual se ve afectada por tres interferencias de banda angosta. Se requiere nuevamente procesar la señal de audio contaminada implementando un filtro FIR digital de Fase Lineal Generalizada de alta selectividad. En este caso, el principal objetivo es la implementación del filtro mediante las técnicas multirate para reducir los recursos computacionales garantizando el mismo desempeño que el filtro original. En la siguiente figura se ve un esquema general del diseño propuesto para lograr el objetivo:

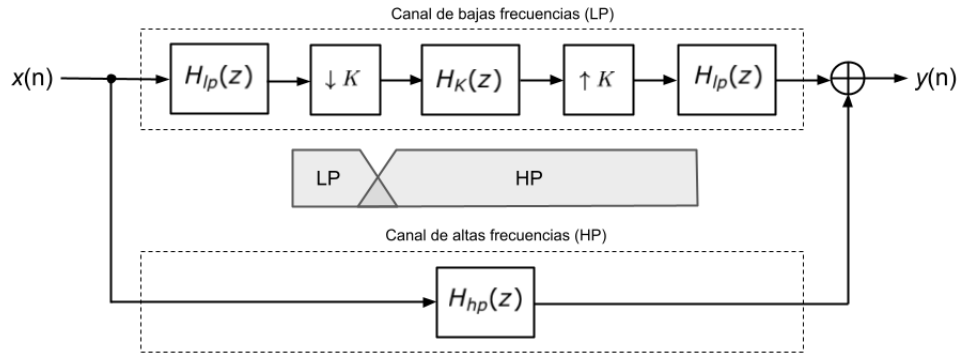


Figura 1: Implementación eficiente para un cancelador de interferencias en bajas frecuencias.

Como se observa, el sistema divide el espectro de la señal en una banda de bajas frecuencias y otra de altas (de forma no simétrica). La parte de altas (HP) debe preservarse sin modificaciones, ya que no requiere procesamiento adicional, mientras que la parte de bajas (LP) debe someterse a la eliminación de interferencias y hacerlo de forma eficiente.

1.2. Datos suministrados

Fuente de sonido Para probar subjetivamente los resultados del filtrado, utilice las mismas pistas de audio disponibles en el campus que fueron utilizadas para el Trabajo Práctico 1.

Interferencias Considere las interferencias en el archivo `interferencias2.wav`, la cual posee tres tonos mezclados de frecuencias $f_1 = 300$ Hz, $f_2 = 500$ Hz y $f_3 = 700$ Hz ($f_s = 44100$ Hz). **IMPORTANTE:** éstas interferencias son **diferentes** a las del trabajo anterior. Tenga en cuenta que en este caso las frecuencias son más bajas, lo que introduce el inconveniente de requerir una selectividad mucho mayor, traduciéndose esto en la necesidad de un filtro con un orden considerablemente alto.

Filtros Para enfocarnos principalmente en el diseño multirate, se dispone de casi todos los filtros requeridos para cada etapa del sistema. Estos se encuentran en el archivo `filtros_tp2.mat`. El mismo contiene: filtro supresor de interferencias sin optimizar (`h`), filtro pasa bajos para decimación e interpolación (`h_lp`) y filtro pasa altos (`h_hp`).

2. Desarrollo

Problema 1

En este problema se explora el filtro supresor de interferencias que no posee ningún tipo de optimización en cuanto a su eficiencia computacional.

- (a) Del archivo que contiene los filtros, utilice el filtro `h`. Grafique su respuesta impulsiva $h(n)$, su respuesta en frecuencia $|H(\omega)|$ y diagrama de polos y ceros. Analice algunas de sus características como ancho de banda de cada supresor de frecuencias, ripples en las bandas de paso y supresión, orden y tipo FLG.
- (b) Utilice la señal de interferencias y algunas de las pistas de audio para generar la señal contaminada. Aplique el filtro supresor y grafique el espectrograma de la señal contaminada $x(n)$ y la salida del filtro $y(n)$ luego de suprimir las interferencias. Verifique la utilidad del filtro subjetivamente reproduciendo las tres señales: contaminada, filtrada y original.

Problema 2

En este problema se busca implementar el filtro de forma eficiente a partir del esquema multirate de la figura 1.

- (a) Considere los filtros $H_{lp}(z)$ y $H_{hp}(z)$ para separar las bandas en bajas y altas frecuencias, respectivamente. Para la parte de bajas, determine un factor de decimación K adecuado para que la banda LP se pueda procesar a la menor tasa de muestreo posible.
- (b) Para el factor de decimación hallado, diseñe un filtro $h_K(n)$ con el método LS (`firls()`) que suprima las tres interferencias luego de la decimación. Para las especificaciones, tome como referencia el filtro original $H(z)$, definiendo los mismos tolerancias para los ripples, pero con un ancho de banda K veces mayor y un orden aproximadamente K veces menor.
- (c) Implemente la cadena completa del canal LP. Para ello aplique como entrada una señal impulsiva. Grafique la respuesta en frecuencia de la salida total del canal LP y compare el filtro en la región de bajas frecuencias contra la salida del filtro original aplicando la misma entrada impulsiva. Observe las diferencias en las bandas suprimidas y si no se ajustan a lo esperado, retoque el diseño hasta mejorar la respuesta.
- (d) Genere la respuesta total sumando la salida del canal LP con la del HP. Para ello, primero se debe determinar (justificado con cálculos) el retardo adecuado que debe agregarse al canal de altas frecuencias para compensar la diferencia de retardos respecto del canal de bajas. Luego compare las respuestas impulsivas del filtro original con el filtro del sistema completo.

Problema 3

Si bien la implementación del punto anterior supone una mejora significativa en la eficiencia computacional del filtro, ésta se puede reducir aún más si se implementan las etapas de decimación y expansión mediante una descomposición polifásica.

- (a) Encuentre las componentes polifásicas de los filtros de decimación e interpolación. Puede utilizar las funciones `sys=dsp.FIRDecimator(M,h)`, `sys=dsp.FIRInterpolator(L,h)` y `p=polyphase(sys)` de Matlab. Si no dispone de estas funciones, puede calcular las componentes polifásicas decimando la respuesta impulsiva del filtro. Luego implemente el conjunto $\{H_{lp}(z), \downarrow K\}$ de forma eficiente. Haga lo mismo con el conjunto $\{\uparrow K, H_{lp}(z)\}$. Para verificar si la implementación es correcta en cada caso, compare las respuestas impulsivas de cada conjunto (con y sin descomposición polifásica).
- (b) Implemente el canal pasa bajos con la descomposición polifásica de cada etapa y complete el sistema combinando el canal de bajas con el de altas. Nuevamente, calcule el retardo necesario que debe agregarse en el canal de altas para compensar la diferencia y grafique la respuesta en frecuencia del sistema completo comparado con el del Problema 2.

Problema 4

En los tres problemas anteriores se propusieron diferentes implementaciones del mismo filtro. Como medida del desempeño computacional, calcule la cantidad de multiplicaciones por segundo ($\#_{mult}/s$), que se necesitarían para cada una de las tres implementaciones (deben tenerse en cuenta todos los filtros utilizados en cada implementación) y compárelas mediante un gráfico de barras. Tome como referencia la realización directa-I como estructura para la implementación de cualquiera de los filtros involucrados (en el Apéndice puede verse esta estructura).

3. Conclusiones

Como conclusiones, elabore un resumen breve y conciso comentando características que considere relevantes del método propuesto en este trabajo y los resultados obtenidos, así como dificultades encontradas y cómo fueron abordadas.

4. Apéndice

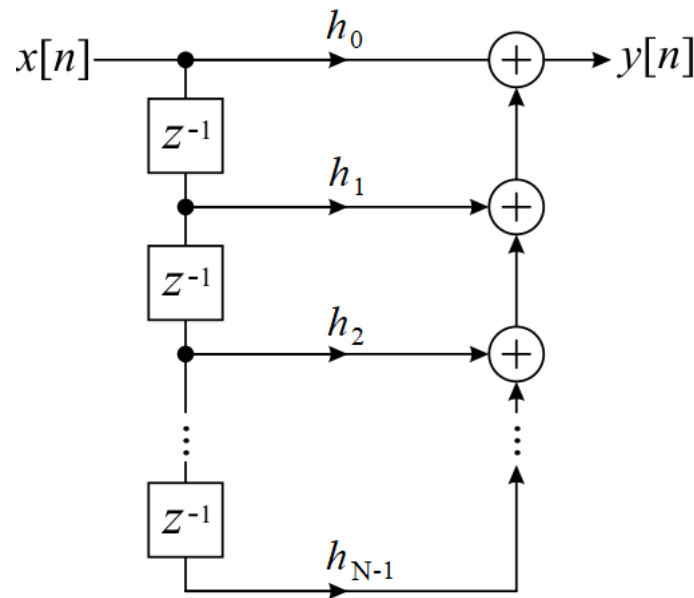


Figura 2: Realización de un filtro FIR - Forma directa-I. En cada tiempo de muestreo (t_s) se realizan N multiplicaciones y $N - 1$ sumas.

5. Herramientas de utilidad

A continuación se describe una lista de las funciones proporcionadas por las herramientas de software utilizadas en la materia (Matlab u Octave) que resultarán útiles para la realización de este trabajo práctico. Se recomienda explorar el help de cada una de ellas.

- `[pista, fs] = audioread('pista.01.wav')`
- `sound(pista, fs)`
- `clear sound` o `clear playsnd`
- `y = filter(b, a, x)`
- `[Aw, w, phi] = zerophase(b, a, w)` (Matlab)
- `zplane(b, a)`
- `h = firls(N, F, A, V)`
- `sys = dsp.FIRDecimator(M, h)` (Matlab)
- `sys = dsp.FIRInterpolator(L, h)` (Matlab)
- `p = polyphase(sys)` (Matlab)

6. Normas y material entregable

- Entregar un informe con los comentarios y resultados solicitados en cada ítem. El informe debe estar en PDF y el nombre con el siguiente formato: **PS_TP2_GXX.pdf** (donde XX es el número de grupo).
- Se sugiere que el informe sea conciso y cumpla específicamente los puntos solicitados (no deben incluirse desarrollos teóricos que no hayan sido pedidos explícitamente).
- Los archivos de código utilizados deben incluirse junto al informe en un archivo ZIP que deberá subirse al campus. No incluya los códigos en el mismo PDF del informe. Tampoco incluya en la entrega archivos de audio.
- Cada miembro del grupo deberá poder explicar el funcionamiento de la totalidad de los algoritmos o criterios utilizados en cualquiera de las instancias de examen final, además del resto de contenidos de la materia.

Referencias

- [1] Proakis, J.G., Manolakis, D.S.G., Santalla del Río, V. and Alba Castro, J.L. , 1998. *Tratamiento digital de señales*.
- [2] Vaidyanathan, P. P. 1993, *Multirate systems and filter banks-Prentice Hall*