

Comenzado el	viernes, 20 de marzo de 2020, 09:50
Estado	Finalizado
Finalizado en	viernes, 20 de marzo de 2020, 12:28
Tiempo empleado	2 horas 37 minutos
Puntos	14,0/14,0
Calificación	10,0 de 10,0 (100%)

Información

Filtros en audio digital

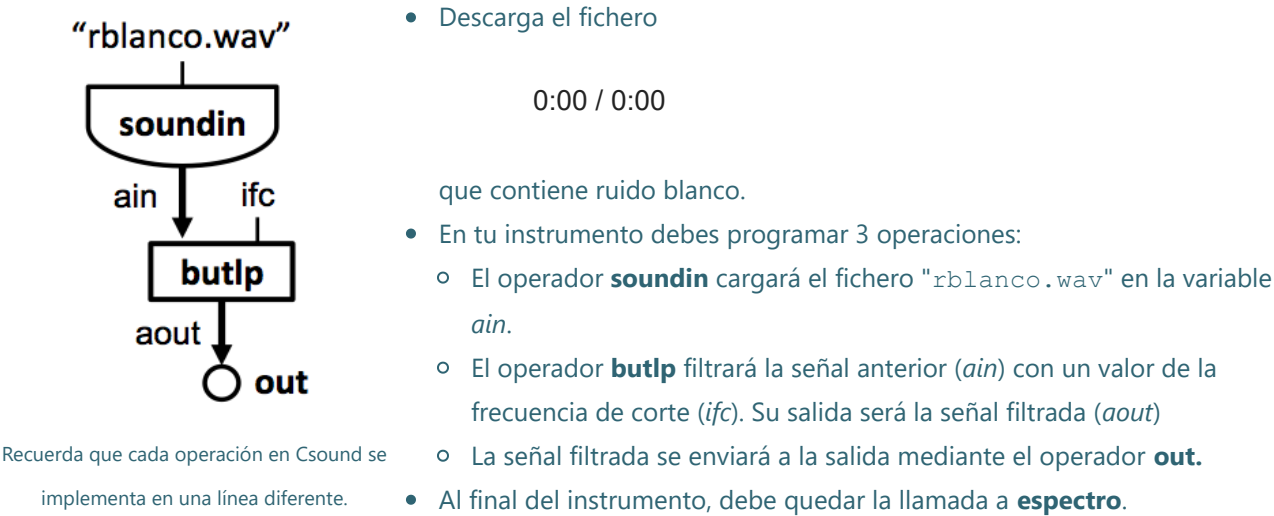
En esta práctica vamos a diseñar y programar en Csound sencillos filtros digitales, aplicando los conceptos vistos en clase de teoría. El material previo publicado es muy importante para realizar estos ejercicios.

Información

Ejercicio 6.1: Primer filtro

Csound implementa multitud de filtros de diferentes tipos. Vamos a usar uno de ellos para observar su comportamiento. En esta figura se muestra el sencillo esquema de su diseño.

- Usa este fichero como punto de partida: [PLANTILLA](#) (botón derecho → guardar como)
- Se proporciona la cabecera, la base del instrumento y un *operador definido por el usuario* (*user-defined opcode*, UDO) denominado **espectro** que permite visualizar el espectro de la onda que se le pase como entrada. Se le enviará la onda filtrada desde el instrumento **filtro1** para ver su espectro.
- Para verlo, debes activar el interfaz gráfico de CsoundQt (**Widgets**). Pulsa el botón con ese nombre en la parte superior. Debes poder ver 2 recuadros negros en una nueva ventana.



- La partitura se da programada con 3 activaciones con frecuencias de corte cada vez más pequeñas.
- Cuando funcione, responde a las siguientes cuestiones tras observar su comportamiento.

Pregunta 1

Finalizado

Puntúa 3,0 sobre 3,0

- ¿Qué tipo de filtro es?

pasa-baja
- ¿Por qué va cambiando así la amplitud de la onda?

porque pierde más energía cuanto menor sea la frecuencia de corte
- ¿Cuál debería ser la frecuencia de corte de este filtro si queremos que a 1 kHz, la amplitud caiga −6 dB?

deberá ser menor que 1 kHz

Información

Cuando hayas terminado, haz una copia del instrumento **filtro1** en la misma orquesta y llámale **filtro2**. Haz las siguientes modificaciones.

En el instrumento **filtro2**:

- Borra la entrada de la frecuencia de corte en **p4**. Ahora no será necesaria.
- Borra la línea que contiene el filtro **butlp**. Vamos a crear otro en su lugar, siguiendo las instrucciones de teoría.
- Crea una copia de la señal de entrada que esté retrasada una muestra. Para ello, haz:
 - **ain1 delay1 ain**
 - De esta manera, *ain* almacena a la señal de entrada, $x[n]$, y *ain1* la señal retrasada una muestra, $x[n-1]$.
- En la siguiente línea, crea la variable *aout* como resultado de esta ecuación:

$$y[n] = \frac{1}{2} x[n] + \frac{1}{2} x[n - 1]$$

- Es decir, *aout* almacenará la señal filtrada, $y[n]$.

En la partitura:

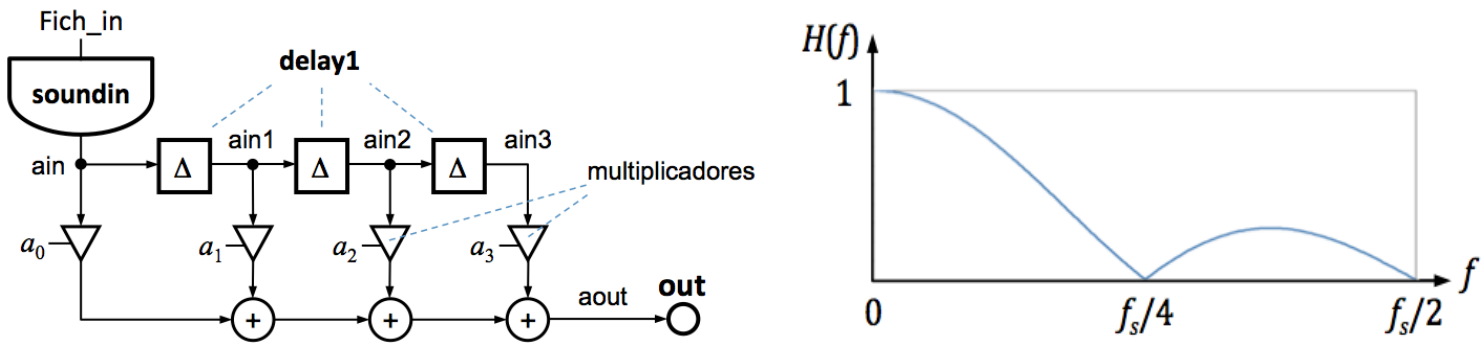
- Añade una cuarta activación que llame a **"filtro2"** en el tiempo 9, con 2 de duración. Esta no necesita **p4** porque ahora no hay control de f_c
- Comprueba que el funcionamiento del nuevo filtro (última activación) es similar al de la primera activación (por cómo suena y por la forma de su $H(f)$), porque su frecuencia de corte es $f_c = f_s/4 = 11025$ Hz (cerca a los 10 kHz de la primera).

Información

Ejercicio 6.2: Filtro pasa-baja FIR

Ahora vamos a diseñar otros filtros, usando los conceptos vistos en teoría y en el material previo de la práctica.

Diseña el instrumento **pasabajaFIR** con un filtro pasa-baja de orden 3 (entrada actual y tres retrasadas, como el de la figura), con los 4 coeficientes necesarios iguales: $a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = 1/4$. A la derecha se puede ver su respuesta en frecuencia.



Sigue los siguientes pasos para su diseño:

- Como punto de partida usa la siguiente [PLANTILLA](#) (botón derecho → guardar como)
- Se proporciona la cabecera, las inicializaciones del instrumento y la entrada y salida de la señal.
- Falta completar con los operadores de retardo (según figura) y la implementación de la ecuación en diferencias, que será la siguiente (recuerda que $y[n]$ es *aout*):

$$y[n] = a_0 x[n] + a_1 x[n - 1] + a_2 x[n - 2] + a_3 x[n - 3]$$

- El instrumento recibirá desde la partitura la duración de la activación y el nombre del fichero a filtrar. Todos sus demás parámetros están definidos como constantes.
- Para implementar el operador Δ del diagrama de bloques utiliza el opcode **delay1**, que crea una señal retrasada un periodo de muestreo cada vez que se usa.
- La partitura ya está preparada para trabajar con el fichero que contiene una señal de frecuencia variable [f_var.wav](#) (1 segundo) desde 0 a $f_s/2 = 22.050$ Hz.
- Programa el instrumento y úsalo (con **[Render]** para que genere un fichero WAV) para responder a las siguientes preguntas.

Pregunta 2

Finalizado

Puntúa 3,0 sobre 3,0

- Abre con **Audacity** la señal filtrada para ver cómo ha afectado a la señal variable `f_var.wav`
- ¿Qué frecuencia deja inalterada ($H(f) = 1$)?

0

 Hz

- ¿Cuántos ceros tiene la $H(f)$ del filtro? (valores para los que $H(f) = 0$):

☐ 0

☐ 1

☒ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ ≥6

- ¿En qué frecuencia se ha producido el primer cero (f_x) en términos de f_s (como $f_s/9$ ó $2f_s/3$)?

Primera frecuencia, $f_x =$

fs/4

 (recuerda que la señal varía desde 0 a $f_s/2$):

Ayuda: como la señal varía en frecuencia entre 0 Hz (en $t = 0$ s) y $f_s/2$ (en $t = 1$ s), entonces el valor de frecuencia en cada instante, t , de la señal se puede calcular como $f = t \cdot (f_s/2)$

Pregunta 3

Finalizado

Puntúa 1,0 sobre 1,0

Aplica ahora tu programa (sustituyendo la activación anterior por una nueva) al fichero:

0:00 / 0:00

Contiene 1 segundo de una onda sinusoidal de frecuencia constante ($f = 6600$ Hz) y amplitud máxima ($A = 1$).

Responde (usa el método de medición de abajo):

- ¿Cuál es la atenuación del filtro en decibelios para la frecuencia de esta onda? (negativa, 1 decimal):

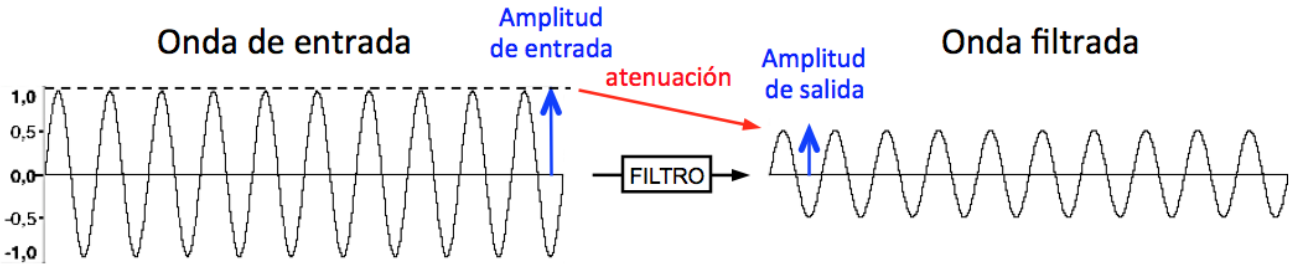
Respuesta:

-5,6

Información

Método de medición:

Carga el fichero filtrado en **Audacity** y verás que el filtro ha atenuado un poco la onda, ya no está a la máxima amplitud que tenía la onda de entrada. Como la amplitud de la señal de entrada es 0 dBFS, la amplitud de salida en dBFS es directamente la atenuación.



Abre en Audacity la visualización como **Forma de onda (dB)** y en el eje vertical podrás efectuar directamente la lectura de la amplitud en dBFS de la onda filtrada, que coincide con la atenuación sufrida. Usa el zoom vertical para leer el valor con comodidad. (Recuerda que para poder pinchar y arrastrar para hacer zoom en el eje vertical de la pista, debes tener activada la opción 'Menú Editar -> Preferencias -> Pistas -> Comportamiento de pistas -> Ampliación vertical avanzada')

Información

Ejercicio 6.3: Filtro pasa-alta FIR

Se trata de modificar el filtro del ejercicio anterior (pasa-baja FIR) para que se comporte como un pasa-alta FIR. La única diferencia es que, en este nuevo caso, los coeficientes de las muestras con retardos impares deben tener su coeficiente negativo en la ecuación de diferencias.

Guarda el proyecto anterior como uno nuevo `ej 6.3.csd` y haz las siguientes modificaciones:

- En las opciones, cambia la salida del programa a `ej 6.3.wav`.
- En la orquesta, cambia el nombre de instrumento a **pasaaltaFIR**.
- Cambia las inicializaciones de los coeficientes para que los correspondientes a los retardos impares tengan signo contrario a la de los retardos pares (sin cambiar sus magnitudes).
- En la partitura, elimina las activaciones que haya y escribe esta nueva:

i

 "pasaaltaFIR" 0 1 "f_var.wav"

- Esta activación la usarás para probar tu programa. Cuando compile sin problemas, genera el fichero de salida y ábrelo con **Audacity** para comprobar que la amplitud corresponde a la $H(f)$ de un filtro pasa-alta FIR.
- Cuando lo hayas verificado, sustituye el nombre del fichero de entrada por el de la siguiente pregunta.

Pregunta 4

Finalizado

Puntúa 1,0 sobre 1,0

Aplica tu programa al fichero

0:00 / 0:00

Contiene 1 segundo de una onda sinusoidal de frecuencia constante (7350 Hz) de amplitud máxima normalizada = 1 (0 dBFS).

Sigue el mismo procedimiento que en el ejercicio anterior para medir la atenuación que sufre esta onda con este filtro.

Responde:

- ¿Cuál es la ganancia del filtro en decibelios a la frecuencia de esta onda? (negativa, 1 decimal)

Respuesta: -12,0

Información

Añade a tu partitura la nueva activación después de la anterior:

i "pasaaltaFIR" 2 14 "tormenta.wav"

para aplicar el filtro pasa-alta al fichero

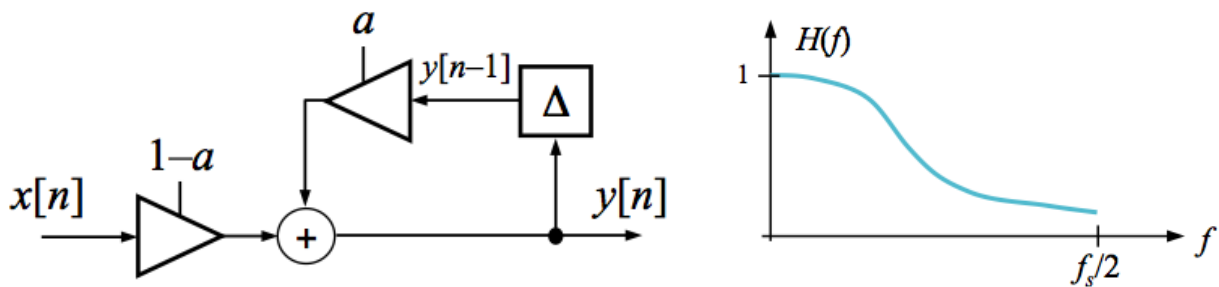
0:00 / 0:00

y comprobar que se atenúan las frecuencias más bajas (los sonidos más graves). La diferencia debe ser evidente, a pesar de que es un filtro suave.

Información

Ejercicio 6.4: Filtro pasa-baja IIR

Se trata de diseñar un filtro pasa-baja (FPB) de tipo IIR de orden 1 (usa la entrada actual y la salida anterior, como en la figura), para comparar su funcionamiento con el correspondiente FPB FIR visto anteriormente. A la derecha se puede ver su respuesta en frecuencia.



Sigue los siguientes pasos para su diseño:

- Empieza el proyecto a partir de la siguiente [PLANTILLA](#) (botón derecho → guardar como)
- Se proporciona la cabecera, las inicializaciones del instrumento y su entrada y salida de señal.
- Falta completar la implementación de la ecuación en diferencias de este filtro:

$$y[n] = (1 - a) x[n] + a y[n - 1]$$

- En la partitura tienes que indicar la duración, el nombre del fichero a procesar (usa el "f_var.wav" que ya tienes) y el valor del coeficiente del lazo de realimentación, $a = 0.65$.
- Programa el instrumento y pruébalo para ver su efecto sobre el fichero f_var.wav, como en los ejercicios anteriores. Cuando esté listo, úsalo para responder a las cuestiones siguientes.

Pregunta 5

Finalizado

Puntúa 1,0 sobre 1,0

Usa el filtro con $a = 0.65$ aplicando la misma metodología utilizada anteriormente sobre el siguiente fichero:

0:00 / 0:00

(1 s, $f = 6000$ Hz y amplitud normalizada = 1).

- ¿Cuál es la atenuación de este filtro en decibelios a la frecuencia de esta onda? (negativa, un decimal)

Respuesta: -7,3

Pregunta 6

Finalizado

Puntúa 3,0 sobre 3,0

Información

- Añade a la partitura una nueva orden para que filtre de nuevo el fichero `f_var.wav` al terminar la nota anterior. Esta vez con coeficiente $a = 0.90$.
- Abre con **Audacity** la señal filtrada para ver los efectos de ambos filtrados sobre esa señal de frecuencia variable.
 - ¿En cuál de las dos activaciones cae la amplitud más rápidamente?

con a = 0.90

- Por tanto, ¿cuál de los dos filtros pasa-baja tiene menor frecuencia de corte?

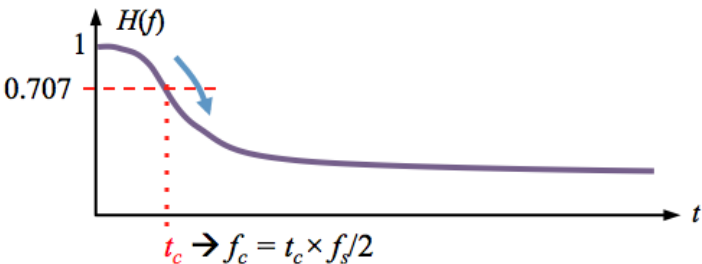
con a = 0.90

- ¿Qué le ha sucedido a la frecuencia de corte al aumentar el coeficiente a del lazo de realimentación?:

Ha disminuido

Añade una nueva activación del instrumento, cuando acabe la anterior, también de 1 segundo para que procese de nuevo el fichero "`f_var.wav`" con el valor del coeficiente a que se indique en la pregunta, para evaluar la frecuencia de corte del filtro.

Para ello, entre los parámetros de cabecera del programa y el inicio del instrumento, inserta el código de abajo (puedes copiar y pegar). Es un operador definido por el usuario diseñado para detectar cuándo la amplitud de la onda filtrada baja de 0.707 (= −3 dB, por lo tanto, cuando crucemos por la frecuencia de corte del filtro):



Cuando el operador **trigger** aplicado a la envolvente detecta que bajamos de 0.707, se toma el tiempo t_c y con la operación indicada en la figura, nos da la frecuencia de corte del filtro.

```
opcode crucefc, 0,a
as xin
  kMetro metro 250 ; para medir La envolvente 250 veces/s
  kEnv max_k as, kMetro, 1 ; mide La envolvente de pico
  kTrig trigger kEnv, 0.707, 1 ; cuando su valor cruza por 0.707 hacia abajo
  if kTrig==1 then
    kTime timeinsts ; mide el tiempo
    printks2 "Frecuencia de corte = %d Hz\n", kTime*sr/2
  endif
endop
```

A este operador se le debe llamar desde el instrumento (después de que se haya calculado `aout`) mediante la orden:

crucefc aout

Responde a la siguiente pregunta.

Pregunta 7

Finalizado

Puntúa 1,0 sobre 1,0

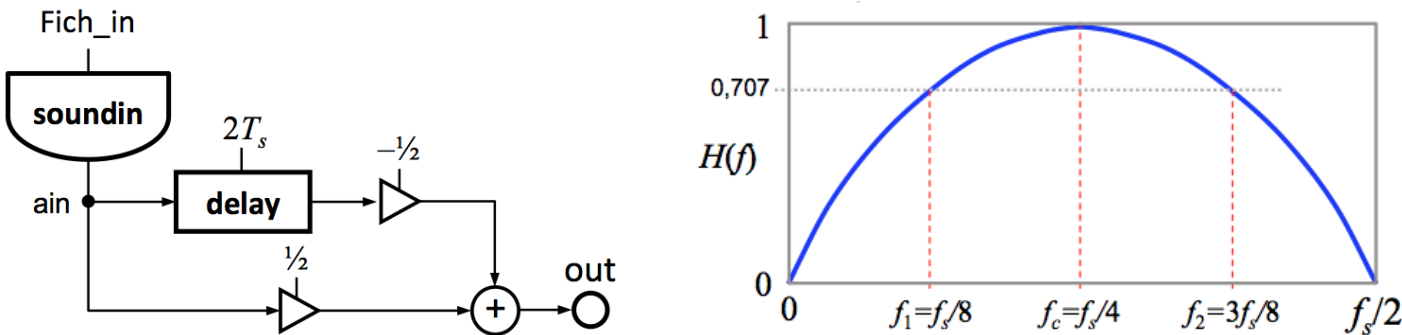
- ¿Cuál es la f_c (Hz, entero) del filtro pasa-baja IIR con $a = 0.80$? (fíjate sólo en el resultado de la última activación)

Respuesta: 1676

Información

Ejercicio 6.5: Filtro pasa-banda FIR

Vamos a construir un filtro de este tipo y ver cómo se comporta. El esquema del filtro pasa-banda FIR está en el material previo de la práctica. La figura de abajo muestra la adaptación de esa figura al modo de trabajo de Csound. A la derecha se muestra la respuesta en frecuencia de este filtro.



Como se observa, en este filtro hay una banda de paso, pero 2 bandas de transición y de rechazo, a ambos lados de la banda central de paso.

- Descárgate este fichero para empezar el proyecto: [PLANTILLA](#)

Contiene un operador definido por el usuario llamado **medicion** que usaremos después. Ahora sigue las siguientes instrucciones:

En el instrumento:

- En **p4** enviaremos el nombre del fichero.
- Necesitaremos un retardo de dos periodos de muestreo: $2T_s$ segundos. Por eso, en la plantilla está ya calculado el periodo de muestreo: $iT_s = 1/\text{sr}$.
- Asigna valor a los coeficientes del filtro en las variables preparadas para ello.
- Programa el esquema anterior. Este filtro requiere un retraso de $2T_s$, por lo que debes usar el operador **delay**, que permite un retraso arbitrario (porque ya no es una única muestra de retardo), dado en segundos.

La partitura:

- Está lista para aplicar el filtro a la frecuencia variable de "f_var.wav".
- Cuando compile sin problemas, genera el fichero de salida y ábrelo con Audacity para comprobar que la envolvente tiene la forma que se espera de la $H(f)$ del filtro pasa-banda FIR.

Procedimiento para la medición:

- Una vez comprobado el funcionamiento, incluye la siguiente orden después de calculada la onda filtrada:

medicion **aout**, FRECUENCIA

- El operador **medicion** buscará en la onda de frecuencia variable dónde ocurre la frecuencia que se le pasa y te devolverá la amplitud de la envolvente en ese instante, que equivale a la ganancia del filtro para esa frecuencia.
- El criterio para decidir en qué banda se encuentra una frecuencia en el filtro según su ganancia será:
 - Banda de paso: atenuación entre 0 y -3 dBFS
 - Bandas de transición: atenuación entre -3 y -30 dBFS
 - Bandas de rechazo: atenuación por debajo de -30 dBFS

Pregunta **8**

Finalizado

Puntúa 1,0 sobre 1,0

- ¿En qué banda se encuentra la frecuencia = 3310 Hz en el filtro pasa-banda?

la 1ª banda de transición

◀ Material previo para la práctica 6

Ir a...

Entrega de la parte presencial P6 (P) ▶