

IMPLEMENTACIÓN DE UN REVERBERADOR DIGITAL DE SCHROEDER

Federico Feldsberg¹

¹Universidad Nacional de Tres De Febrero, Buenos Aires, Argentina
fedefelds@hotmail.com

Resumen

Este trabajo se propone como objetivo estudiar, implementar y analizar diferentes reverberadores digitales basados en las investigaciones de Schroeder y Logan. Utilizando filtros peine y filtros pasa-todo se desarrollaron 3 implementaciones distintas basadas en las sugerencias de Smith y Reiss. Se obtuvieron resultados variados y poco satisfactorios: En las tres implementaciones desarrolladas no se lograron resultados aceptables a la hora de procesar sonidos impulsivos. En el caso de sonidos un poco mas largos los resultados fueron

1. MARCO TEÓRICO

En los años 60, Schroeder y Logan propusieron un arreglo capaz de generar la respuesta “Natural” de una sala reverberante [1, 2]. El término “natural” implica una falta de coloración espectral y una alta concentración de ecos por segundo. Schroeder y Logan señalan que los métodos de reverberación disponibles en su momento carecían de dicha “naturalidad”.

Este desarrollo resulto ser sumamente valioso debido a que el mismo fue capaz de suplir ambas falencias de las técnicas de reverberación disponibles en su momento.

En una primer aproximación, Schroeder y Logan proponen una linea de retardo realimentada, ilustrada en la figura 1:

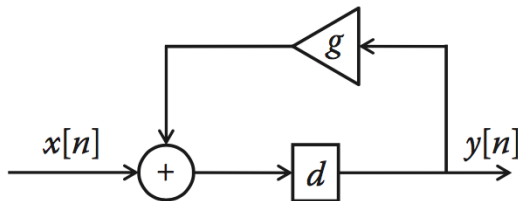


Figura 1: Línea de retardo realimentada [3].

La respuesta al impulso de dicho sistema esta

dada por:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} g^n \delta(t - n \tau) \quad \text{con} \quad |g| < 1 \quad (1)$$

En el dominio temporal, la ecuación 1 se asemeja a una cantidad infinita de impulsos, desplazados y escalados por un factor que decrece exponencialmente. Es por eso que parece ser un resultado valioso. Sin embargo, en el dominio de la frecuencia, este primer sistema posee un alto grado de coloración. Esto se debe a que el mismo se asemeja a un filtro peine y es por ello que dicho sistema no es un candidato de reverberador “natural”.

El gran avance de Schroeder y Logan consiste en haber descubierto que al hacer ciertas modificaciones al sistema presentado en la figura 1, es posible lograr una respuesta plana y por lo tanto carente de coloración. Para lograr dicha respuesta en frecuencia, se combinan la señal sin procesar y la señal procesada mediante cierto criterio establecido por Schroeder y Logan.

Con estas modificaciones, se obtiene el sistema ilustrado en la figura 2:

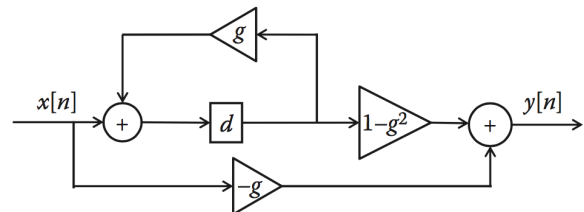


Figura 2: Unidad básica de reverberación [3].

La respuesta en frecuencia de dicho sistema resulta ser plana, pero en si misma no es capaz de generar una gran densidad de eco. Schroeder y Logan recomiendan un valor mínimo de 1000 ecos por segundo. Podemos decir que el sistema presentado en la figura 2 constituye una unidad básica de reverberación, cuya respuesta en frecuencia es plana.

De ahora en adelante, nos referiremos a toda unidad básica de reverberación como filtro pasatodo.

Para solucionar la escasa densidad de ecos, Schroeder y Logan proponen el siguiente arreglo:

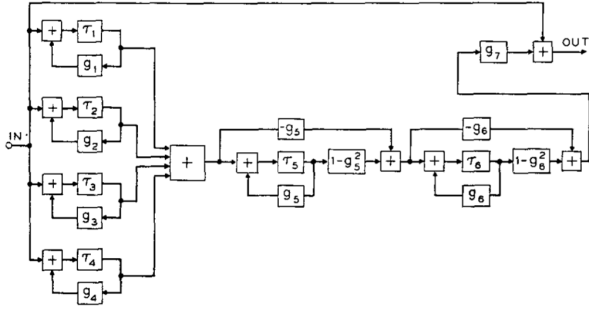


Figura 3: Diagrama en bloques del sistema propuesto por Schroeder y Logan [2].

El mismo está compuesto por tres secciones: La primera sección consta de un banco de filtros peine en paralelo, tales como los de la figura 1, por el cual ingresa la señal a procesar. Todos los elementos del sistema pueden ser caracterizados en función de su ganancia de realimentación g_i y su retardo τ_i con $1 \leq i \leq 4$. Los valores de dichos parámetros están dados por:

$$T = \frac{3 \tau_i}{-\log |g_i|} \quad (2)$$

y

$$\tau_i \text{ Entre 30 y 45 mseg} \quad (3)$$

Donde T es el tiempo de reverberación. Esta primera sección no tiene una respuesta en frecuencia plana, sino que al ser una conexión en paralelo de varios filtros peine, es esperable que sea bastante irregular [4, pág. 446]. Este desvío de la respuesta plana está justificado por experimentos desarrollados en los laboratorios de Bell. Estos experimentos indicarían que el oído humano no es capaz de distinguir entre una sala con respuesta plana y una sala con una gran cantidad de irregularidades en su respuesta en frecuencia.

La segunda sección consta de dos de filtros pasatodo conectados en serie cuyos valores de τ_i oscilan entre 5 y 1.7 mseg. A su vez, se sugiere que g_5 y g_6 sean iguales a 0,7.

La tercera y última sección consiste de una etapa de ganancia g_7 la cual permite determinar la mezcla entre señal reverberada y no reverberada.

2. IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación se recurrió al entorno de programación Python, el cual permite una rápida implementación de filtros FIR e IIR mediante el método *lfilter*, disponible en la librería *Scipy*.

Dado un sistema S cuya función de transferencia sea de la forma:

$$H_S(z) = \frac{\sum_{i=0}^D a_i z^{-i}}{\sum_{i=0}^D b_i z^{-i}} \quad (4)$$

Dicho sistema puede ser implementado al especificar los coeficientes a_i y b_i .

Por lo tanto, se implementaron los filtros peine y los filtros pasatodo mediante dos funciones diferentes. La primera función recibe como argumentos de entrada la cantidad de retardo, la ganancia de realimentación y la señal a filtrar. El mismo script devuelve la señal filtrada por el filtro correspondiente.

En primer lugar, se siguieron las sugerencias de Reiss [3, pág. 259]. El diagrama en bloques de la implementación presentada es muy similar al de la figura 3:

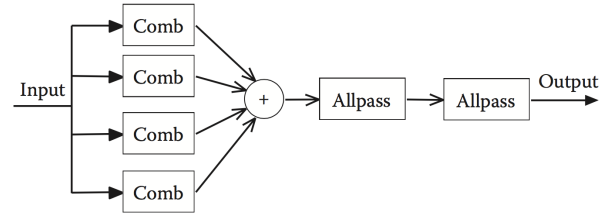


Figura 4: Implementación presentada en [3]

La única diferencia entre los diagramas de las figuras 4 y 3 es que este último no contempla la tercera etapa, cuyo fin es permitir mezclar la señal reverberada y la señal no reverberada. Esta etapa si fue considerada en este trabajo.

En el dominio z , un filtro pasatodo como el de la figura 2 está dado por

$$AP_d^g = \frac{z^{-d} - g}{1 - g z^{-d}} \quad (5)$$

mientras que un filtro peine como el de la figura 1 está dado por:

$$FBCF_d^g = \frac{z^{-d}}{1 - g z^{-d}} \quad (6)$$

Se puede ver que las ecuaciones (6) y (5) están expresadas en función de la ganancia de realimentación g y cantidad de muestras d . Por otro lado, al

hablar de retardos Schroeder siempre habla en terminos de milisegundos. Es por eso que al trabajar en el dominio digital, se debe convertir segundos a muestras mediante la siguiente ecuación:

$$d_i = \tau_i \cdot F_s \quad (7)$$

Donde el numero de muestras equivalentes a un retardo de τ_i segundos es función de la frecuencia de muestreo F_s

Cabe destacar que la ecuación 6 no es la única implementación posible de un filtro peine: En [5], Smith propone la siguiente función de transferencia:

$$FBCF_d^g = \frac{1}{1 - g z^{-d}} \quad (8)$$

En el caso de la implementación del filtro pasatodo la Tanto Reiss como Smith proponen la misma función de transferencia, dada por la ecuación (5).

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4. REFERENCIAS

- [1] Manfred R Schroeder y Benjamin F Logan. "Colorless artificial reverberation". En: *IRE Transactions on Audio* 9.6 (1961), págs. 209-214.
- [2] Manfred R Schroeder. "Natural sounding artificial reverberation". En: *Audio Engineering Society Convention 13*. Audio Engineering Society. 1961.
- [3] Joshua D. Reiss y Andrew McPherson. *Audio Effects*. Taylor & Francis Inc, 7 de nov. de 2014. 367 págs. ISBN: 9781466560284.
- [4] B.P. Lathi y Roger A. Green. *Essentials of Digital Signal Processing*. Cambridge University Press. ISBN: 9781107059320.
- [5] Julius O. Smith III. *Physical Audio Signal Processing*. online book, 2010 edition. https://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/Schroeder_Reverberators.html, revisado el 15 de julio de 2017.