

Algoritmo de reverberación artificial utilizando redes de retardo realimentadas

Fabián C. Tommasini, Oscar A. Ramos

Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA
Unidad Asociada del CONICET
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba

Contenido de la Presentación

- Objetivo
- Reverberación Tardía
- Feedback Delay Network (FDN)
- Reverberador FDN de Jot
- Algoritmo Implementado
- Análisis de Resultados
- Conclusiones y Trabajo Futuro

Objetivo

- Desarrollar un algoritmo que permita simular la reverberación tardía de una Respuesta Impulsiva de un Recinto (RIR), a partir de algunos datos específicos, como el tiempo de reverberación (TR) o el volumen.

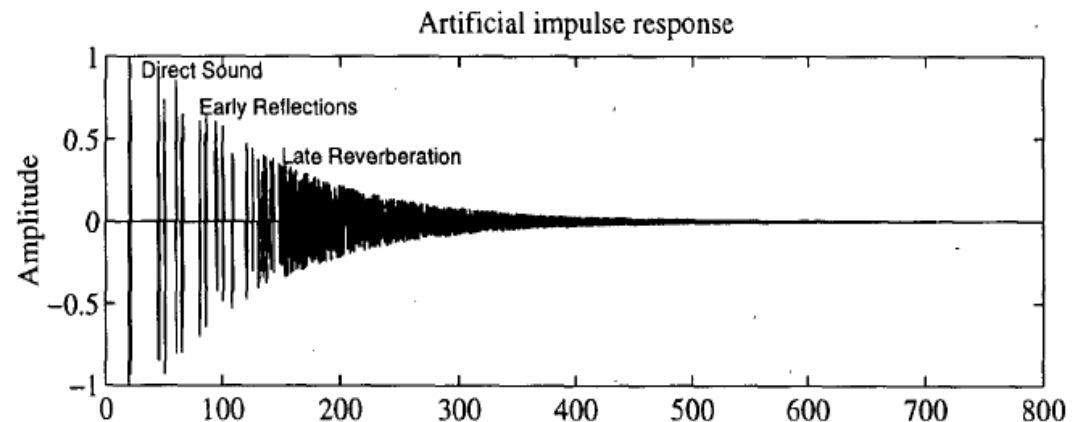
Reverberación Tardía

■ Subsistemas para Simulación Acústica Virtual



■ RIR

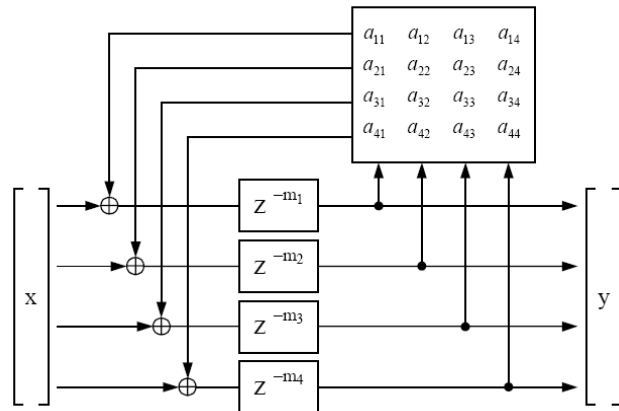
- Sonido directo
- Reflexiones tempranas (Fuentes-Imágenes)
- Reverberación tardía (FDN)



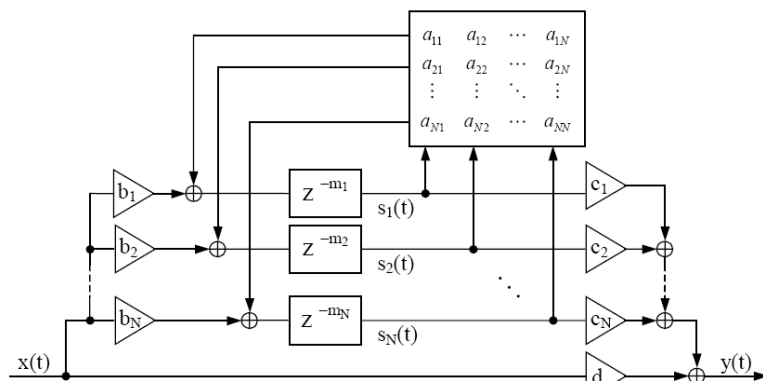
Reverberación Tardía (cont.)

- Características de la cola de reverberación
 - Se aproxima a un proceso estocástico
 - Decae exponencialmente con el tiempo
 - TR es función de la frecuencia
- Densidad en frecuencia
 - Número de picos de frecuencia “percibidos” por Hertz
 - Se logran buenos resultados con 0.16 modos por Hertz
- Densidad en el tiempo
 - Número de reflexiones “percibidas” por segundo
 - Alrededor de 450 reflexiones por segundo

Feedback Delay Network (FDN)



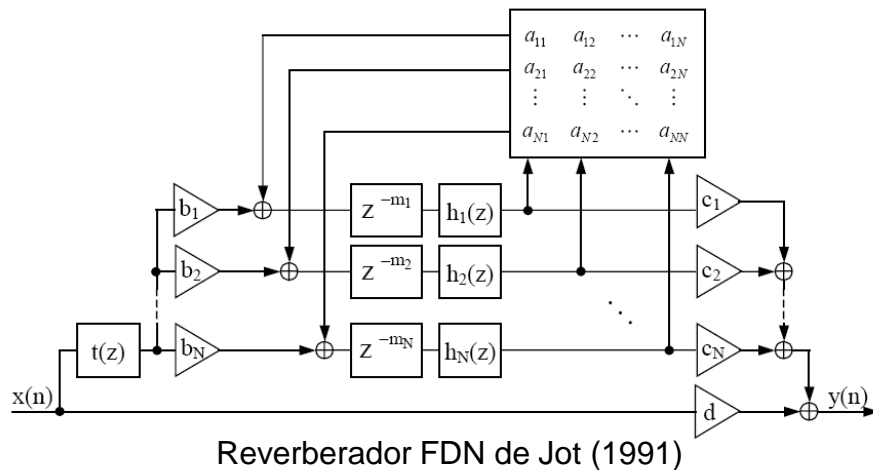
Stautner y Puckette (1982)



Generalización de Jot (1991)

- Introducida por Gerzon y refinada por Stautner, Puckette y Jot
- La respuesta al impulso es indistinguible de un ruido blanco
- Compuesta por líneas de retardo
- Contiene matriz de realimentación
 - Matriz unitaria para que el sistema sea estable
- MIMO (Múltiples Entradas – Múltiples Salidas)
 - Salidas mutuamente incoherentes
- SISO (Una Entrada – Una Salida)

Reverberador FDN de Jot



$$D_f = \sum_{p=1}^P \tau_p \quad D_t = \sum_{p=1}^P \frac{1}{\tau_p}$$

Densidad en frecuencia y densidad en el tiempo

- Contiene líneas de retardo con filtros de absorción
- Permite especificar
 - Densidad en el tiempo y en la frecuencia, con ausencia de coloración tonal
 - Tiempo de reverberación y respuesta en frecuencia deseada
- Se puede modificar para salida binaural

Algoritmo Implementado

- Desarrollado en Matlab con modelos en Simulink
- Pensado para el uso en tiempo real (codificación futura en C++)
- Utilización de 8 líneas de retardo
- Matriz de realimentación de Householder
- Uso de filtros de absorción que simulan el efecto de los materiales y del aire
- Los TR dependen de la frecuencia
- Datos de entrada
 - Volumen de la sala o TR por tercios u octavas

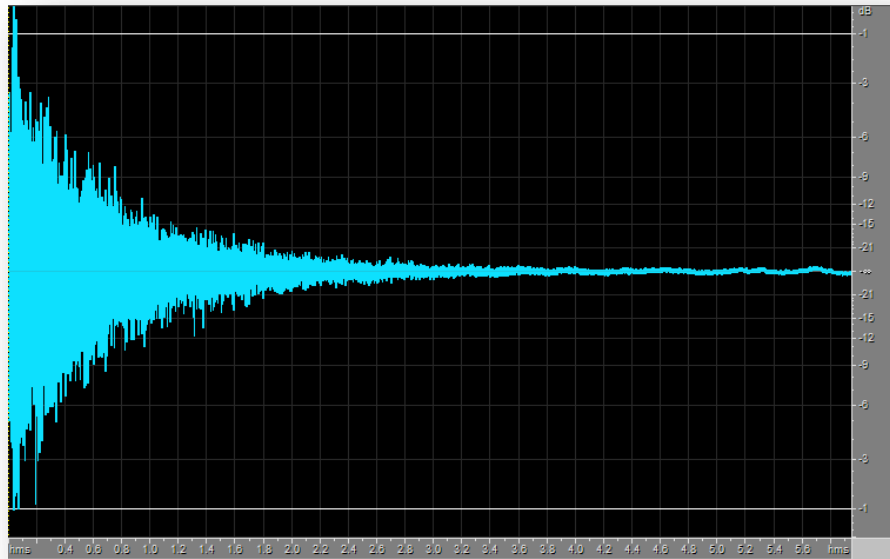
Análisis de Resultados

- Análisis y comparación de una RIR medida con la cola de reverberación sintetizada a través del algoritmo
- Ejemplo:
 - RIR de la Iglesia del Sagrado Corazón, Padres Capuchinos (Córdoba)
 - $V = 16058 \text{ m}^3$
 - Materiales de altos coeficientes de reflexión (mármol, vidrio, granito, etc.)

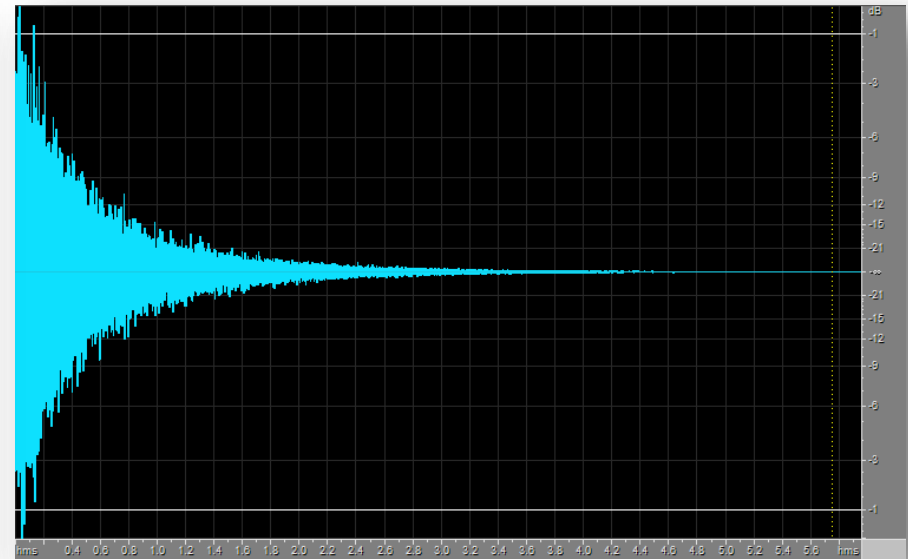


Análisis de Resultados (cont.)

- Forma temporal



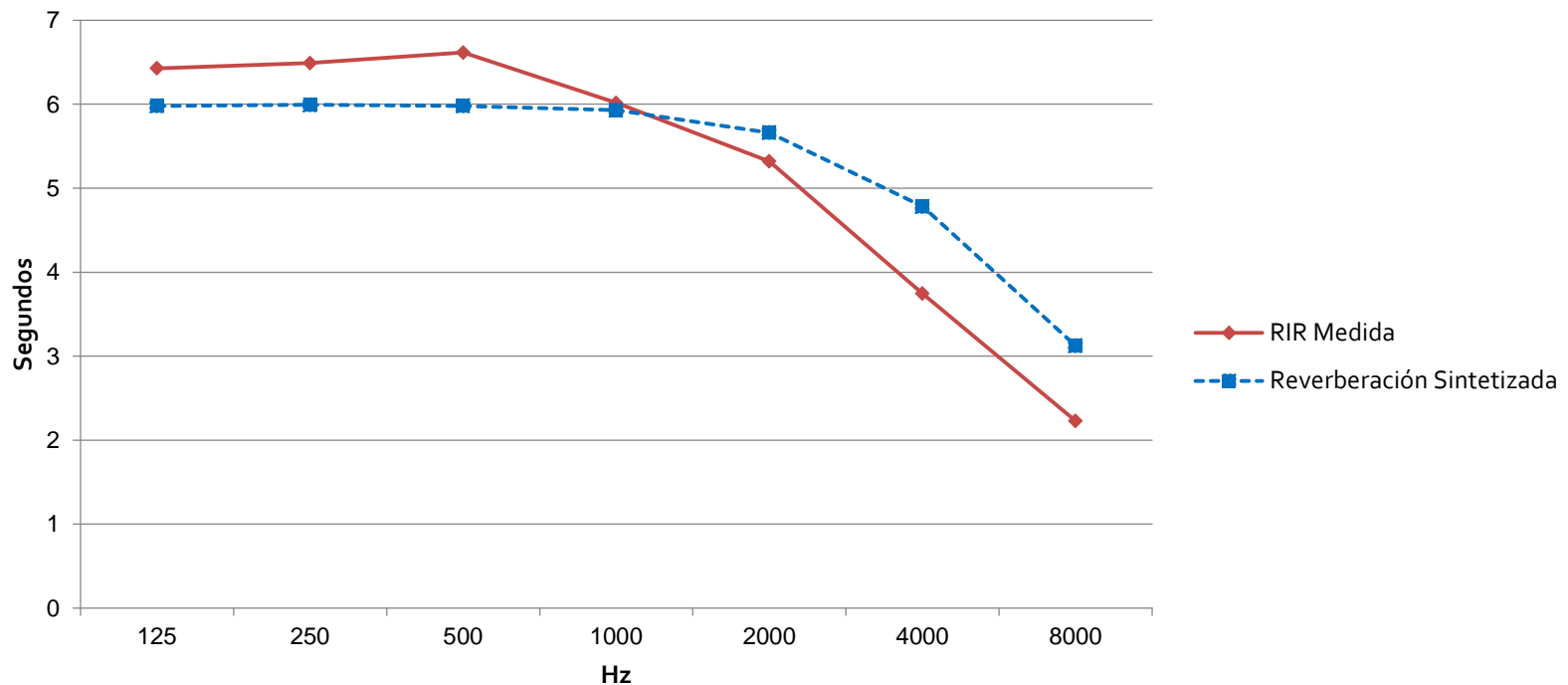
RIR medida



Reverberación artificial

Análisis de Resultados (cont.)

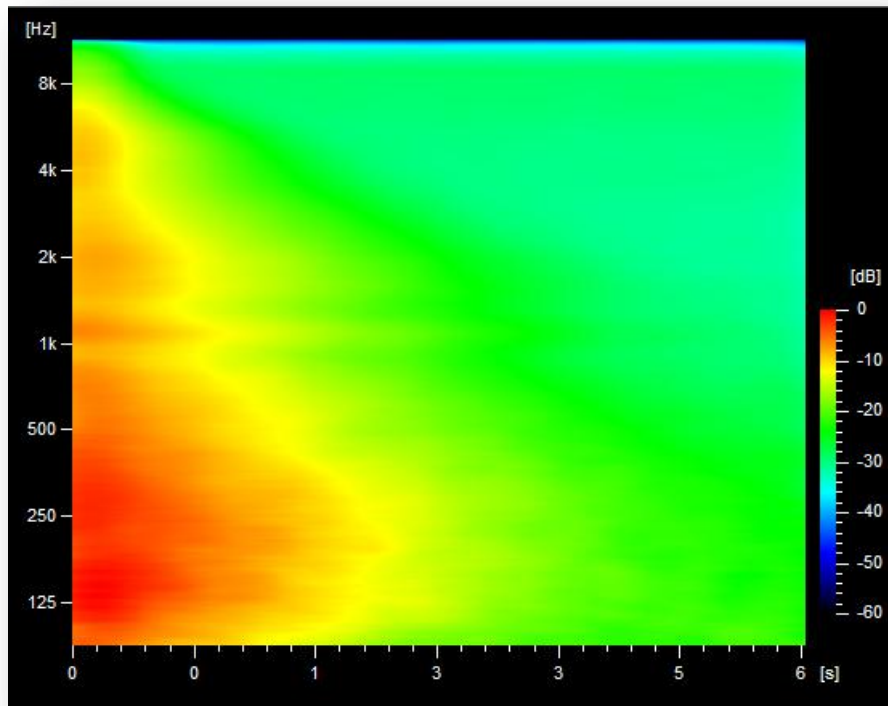
■ Comparación de los TR (T_{30})



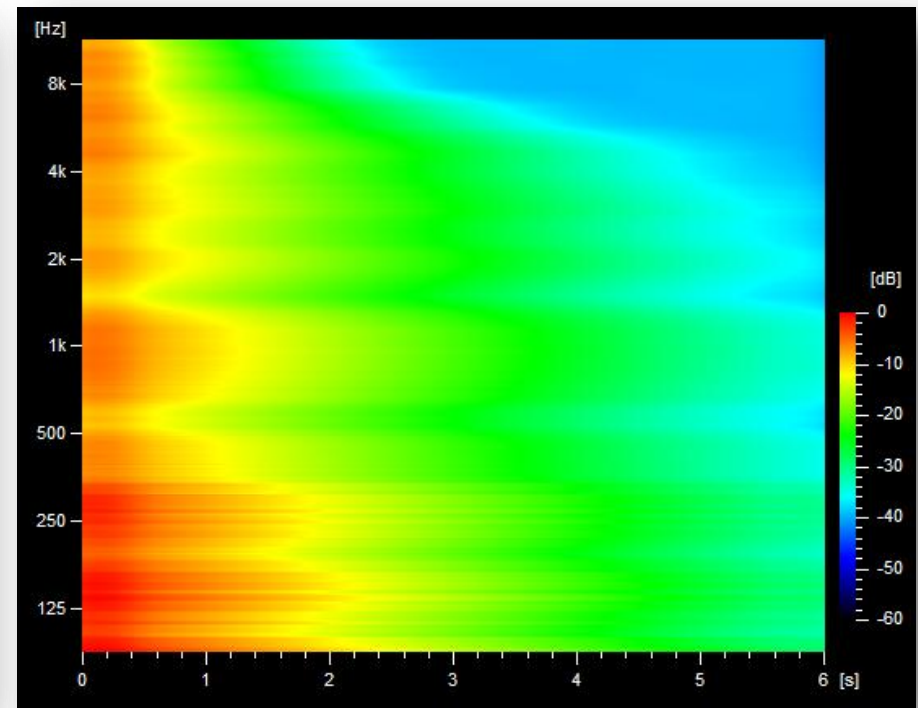
- $T_{30} = 6.62 \text{ s @ } 500 \text{ Hz}$
- Error cuadrático medio: 0.59 s

Análisis de Resultados (cont.)

■ Espectrogramas



RIR medida



Reverberación artificial

Conclusiones y Trabajo Futuro

- La FDN es una estructura relativamente simple que permite la generación de reverberación artificial, permitiendo su implementación en sistemas de tiempo real
- La FDN de Jot posee características que le da mayor flexibilidad frente a otras FDNs
- Las RI obtenidas con el algoritmo reproducen aceptablemente las características de una cola de reverberación real
- Para seguir investigando:
 - Respuesta del algoritmo en baja frecuencias
 - Logro de mayor densidad temporal al comienzo de la cola de reverberación
 - Determinar punto de transición entre reflexiones tempranas (FI) y la reverberación tardía (FDN)
 - Implementación en el Simulador Acústico Virtual en Tiempo Real que se está desarrollando en el CINTRA