

ACÚSTICA

SÍNTESIS MUSICAL DE UNA GUITARRA MEDIANTE LA MODELIZACIÓN FÍSICA

Enric Guaus Térmens, Mercè Tor Ortiz, Carles Sivill PuigGros

Departament d'Acústica
Escola d'Enginyeria La Salle, Universitat Ramon Llull
Pg. Bonanova 8, 08022 Barcelona, Catalunya
Tel: +34 932902427 / Fax: +34 932902416
e-mail: eguaus@salleURL.edu

SUMMARY

The musical synthesis of instruments has had a great growth due to the evolution of computer science. Nevertheless, human-native quality computer generated sound is still difficult to achieve. Our study shows a way of instrument modelling, in particular for guitars, taking in consideration physical parameters like the plucked point, the wave reflection coefficient at the bridge and the influence of other strings.

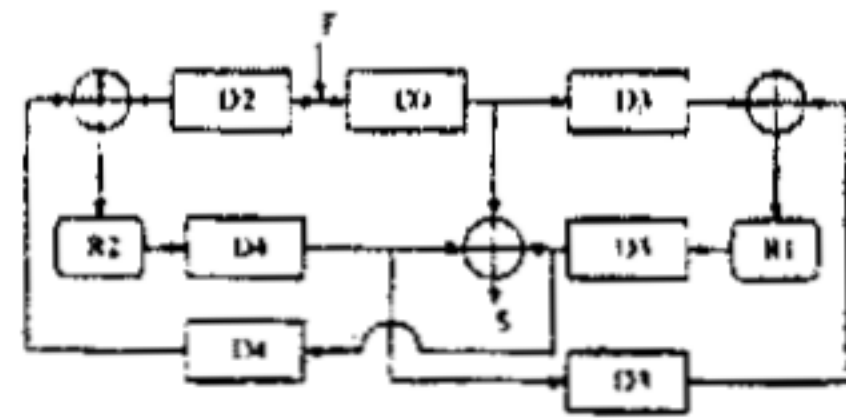
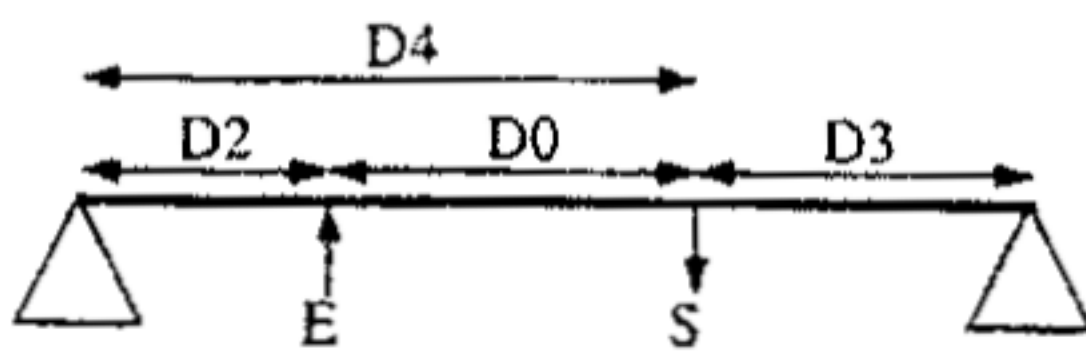
INTRODUCCION

Una guitarra está formada por un conjunto de osciladores y resonadores fuertemente acoplados. Con el conocimiento de su comportamiento seremos capaces de moldear el instrumento desde el punto de vista acústico, y no electrónico (al que estamos más acostumbrados). Para ello, hemos empezado por el estudio de la cuerda de la guitarra, dejando de lado el estudio de la caja.

A priori, el estudio de la cuerda de una guitarra no presenta ningún interés: la tensión, densidad lineal de masa y condiciones de contorno determinan el movimiento según una onda estacionaria. Pero este no es nuestro objetivo: Nosotros queremos medir, experimentar y conocer el funcionamiento real de la cuerda. Y aquí es donde aparecen los problemas: Cómo estudiamos la vibración de la cuerda sin que afecte el peso del acelerómetro? Como estudiamos el sonido emitido sin que sea alterado por la caja?

PRIMEROS INTENTOS

El diagrama de bloques de la figura vemos un circuito equivalente de nuestra cuerda. Observamos que los parámetros con los que podemos jugar son: el punto de excitación, el punto de medida, la longitud de la cuerda y el coeficiente de reflexión en los extremos. La longitud de la cuerda es fija (64.5cm). El punto de excitación y el punto de medida serán escogidos adecuadamente para asegurar que en el conjunto de las medidas disponemos de la información de todos los modos de vibración. Así pues, el único grado de libertad con el que podemos trabajar es el coeficiente de reflexión en los extremos.



Amortiguamiento

Puesto que en una onda estacionaria están mezcladas la onda progresiva y la regresiva, es muy difícil diseñar una medida que refleje el coeficiente de amortiguamiento. Así pues, en lugar de medir el coeficiente de reflexión mediremos el amortiguamiento.

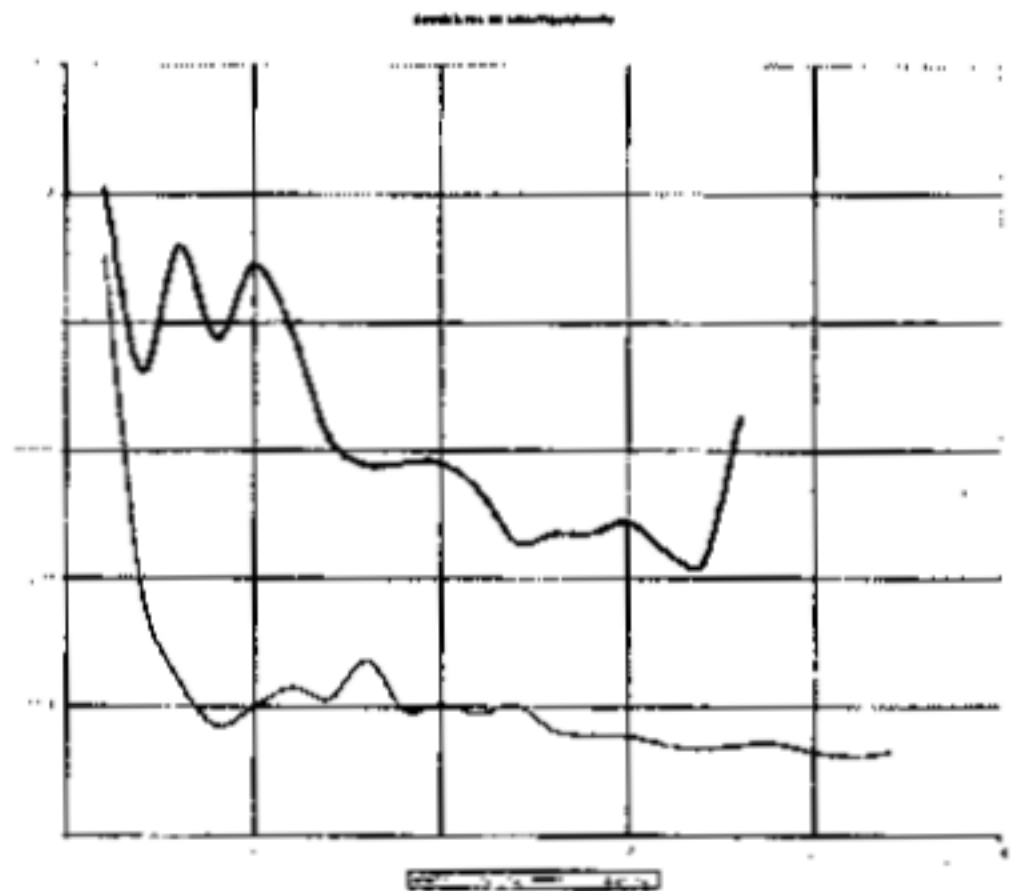
Montaje práctico

Para medir el amortiguamiento se ha montado la cuerda (5ª. cuerda de la guitarra) en la guitarra, un transductor magnético y un acelerómetro. Para no impedir que la cuerda oscile libremente, se le ha acoplado un pequeño utilage de hierro de masa depreciable comparado con la masa de la cuerda. La oscilación se capta mediante un transductor magnético. Debido a que el transductor magnético no se puede calibrar, se ha acoplado un acelerómetro de referencia en el puente de la guitarra, con el cual tenemos una referencia de la excitación. La excitación se consigue con un pinzamiento en el eje vertical (al que son sensibles el transductor de fuerza y acelerómetro) a diferentes puntos de la cuerda. El punto de medida también se ha desplazado a lo largo de toda su longitud. La señal del acelerómetro y del transductor magnético se introduce en el analizador bicanal Advantest, y se procede a su estudio.

Resultados

Del analizador, se ha tomado el máximo de la forma de onda en diferentes periodos, calculando a partir de ellos el valor de amortiguamiento α ; deben seguir una forma $x=e^{-\alpha t}$. Después de varios promediados, se ha conseguido determinar la gráfica mostrada en la figura:

Con este valor de α , hemos introducido en el ordenador diferentes senos cuyas frecuencias y amplitudes corresponden a la oscilación de la 5ª. cuerda de la guitarra. Así como las frecuencias están perfectamente tabuladas, la amplitud de cada una de ellas depende del punto de excitación, ya que se fijan unas determinadas condiciones de contorno. El resultado ha sido bastante decepcionante, consiguiendo un sonido más parecido a una campana que a una guitarra.



Coefficiente de reflexión

Debido al mal resultado de la medida anterior, hemos intentado medir exactamente el coeficiente de reflexión de la cuerda y no aproximarla por una exponencial negativa: nos ceñimos estrictamente al diagrama de bloques de cuerda. Como primera aproximación, hemos supuesto que el coeficiente de reflexión en el mastil es 1, y que el decrecimiento de la vibración se debe exclusivamente al movimiento del puente, provocando un coeficiente <1 . La hipótesis no es demasiado errónea, ya que el puente es un punto de acoplamiento entre la cuerda y la caja. Hemos comentado anteriormente que en un fenómeno estacionario están intrínsecas las ondas progresivas y reflexivas. Así pues, cómo mediremos el coeficiente de reflexión? Nos basaremos en la teoría del resonador Fabry-Perot

Montaje práctico

El montaje práctico es idéntico al del apartado anterior. De hecho, se han utilizado las mismas medidas, pero los resultados se han procesado según el funcionamiento del resonador.

Resultados

Después de varios promediados, y tomando los picos de cada periodo como referencia, hemos obtenido un coeficiente de reflexión de $\rho^{1/2}=0.85$. Para verificar este resultado se ha simulado una onda estacionaria cuya longitud y velocidad de propagación corresponde a la 5ª. cuerda de una guitarra, introduciendo todos sus armónicos y amplitudes correspondientes. Siguiendo con la teoría del resonador y para evitar discontinuidades en el sistema, se ha aplicado el coeficiente de reflexión en cada paso por cero en sentido ascendente del punto central de la cuerda. Si estudiamos la evolución de uno de los puntos a una determinada longitud, tendremos una idea del sonido generado por la cuerda. EL resultado sigue siendo decepcionante: aunque se aleje del sonido de campana conseguido en el apartado anterior, sigue estando muy lejos de la realidad.

SEGUNDO INTENTO

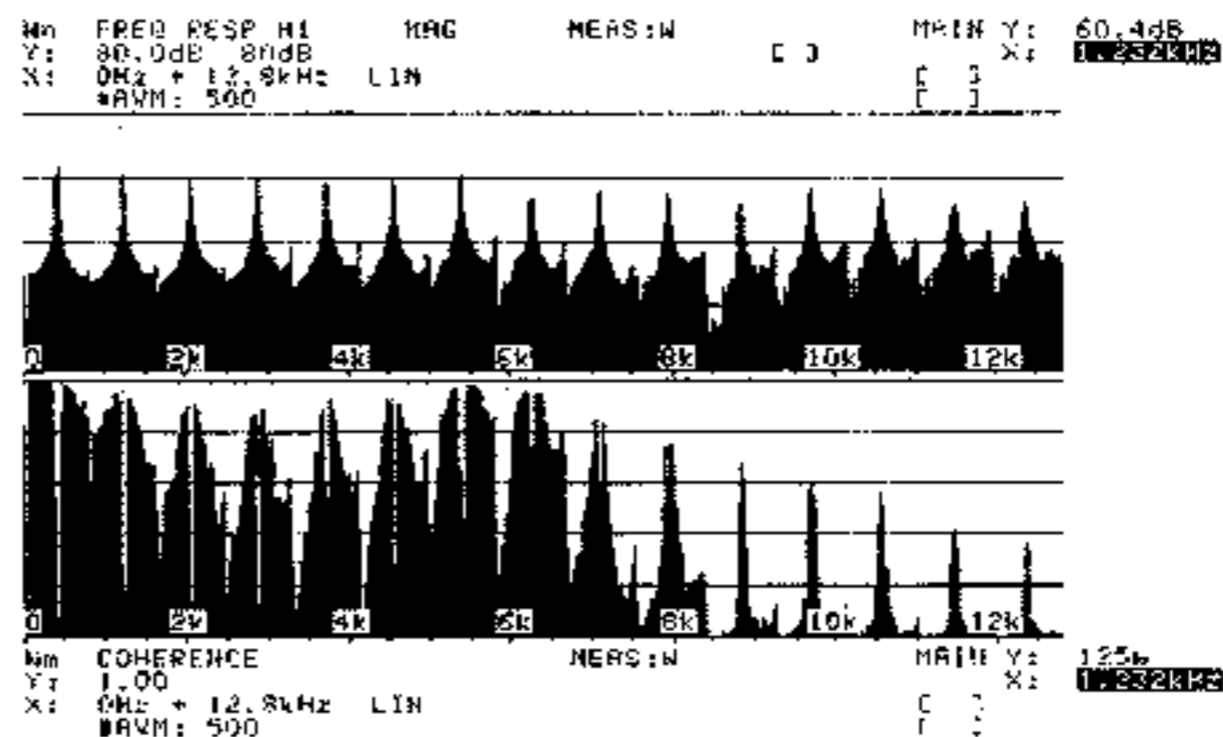
Llegados a este punto, vemos que existe algún parámetro que no tenemos en cuenta, pero que es vital para nuestro estudio. Senzillamente, nuestro error estaba en considerar que todos los armónicos se comportan de una misma forma. Es cierto que las amplitudes de los diferentes armónicos dependen de el punto de excitación, y que cuando un frente de onda llega al puente se genera una onda regresiva según un coeficiente de reflexión. Pero cada armónico tiene su propio coeficiente de reflexión, y su comportamiento es independiente de las otras ondas que viajan por la cuerda. A partir de ahora, consideraremos todos los modos por separado mediante un estudio frecuencial.

Montaje práctico

Hemos sacado la cuerda de la guitarra y la hemos montado en una estructura para aislarla de la caja. Se han fijado fuertemente los extremos provocando que el coeficiente de reflexión sea 1 en los dos extremos. Con ello, asumimos que la pérdida de vibración se debe exclusivamente a la resistencia de cada diferencial de longitud. Es verdad que el comportamiento no será el mismo que en los montajes anteriores, pero queremos estudiar la cuerda por sí sola, y más adelante la acoplaremos a la guitarra. En este caso, el procedimiento de medida es sustancialmente distinto: Se ha excitado la cuerda con ruido blanco, controlado por un transductor de fuerza, y se ha medido mediante un vibrómetro Láser en el mismo eje que la excitación. Evidentemente, se han tomado varios puntos de medida y varios puntos de excitación para asegurarnos que las condiciones de contorno no nos cancelen algún modo de vibración.

Resultados

Con los resultados de la medida, se ha buscado la frecuencia de resonancia f_0 , la anchura a 3dB obteniendo f_1 y f_2 , y altura del pico para cada uno de los armónicos. Ahora, podemos determinar los coeficientes de amortiguamiento.

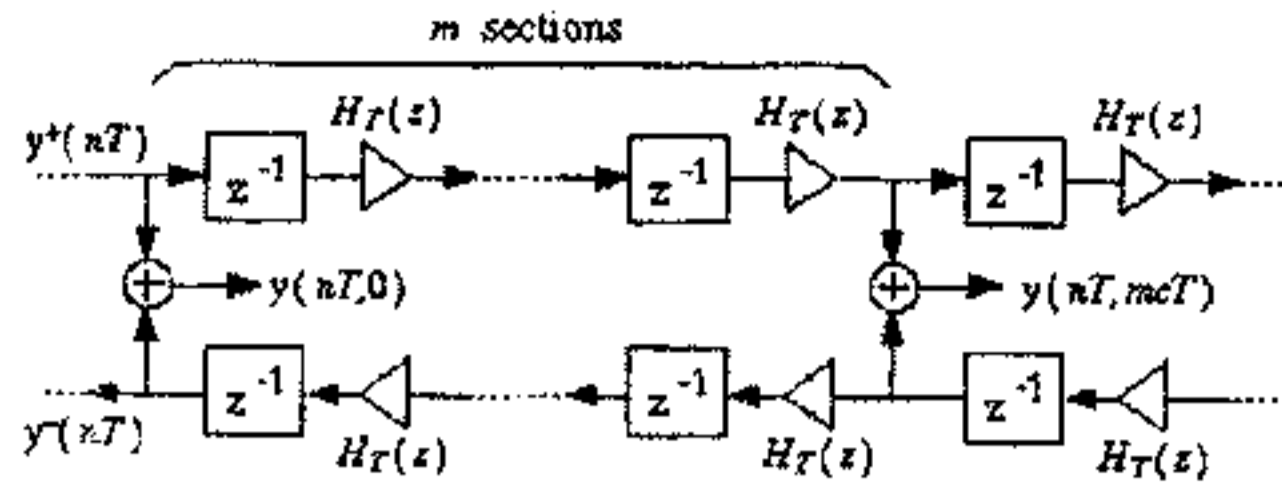


Verificación: síntesis auditiva

Para comprobar el resultado y verificar el método de la medida, hay que hacer la suma de todos los modos obtenidos. Pero ésta no puede ser una suma simple: hay que tener en cuenta la fase de cada modo. Un sistema de un grado de libertad tiene a frecuencia 0 una fase de 0° . A la frecuencia de resonancia pasa por 90° y llega a 180° una vez sobrepasada esta. El coeficiente de amortiguamiento determinará la brusquedad de este cambio. Nuestro sistema será una suma de los distintos modos de vibración con la fase adecuada para cada instante de tiempo. Nos hemos ayudado de la teoría del Phase Vocoder para construir un sonograma (ventana Hanning, frecuencia de muestreo, nº de puntos de la FFT y overlap configurable por usuario). Una vez sumados adecuadamente todos los modos, mediante una función inversa a la del sonograma sintetizaremos nuestro sonido. La verdad es que el resultado tampoco es muy satisfactorio. Sinceramente, suena mucho mejor la síntesis con una suma de los armónicos sin tener en cuenta la fase que con ella.

LÍNEAS DE RETARDO

Finalmente, los datos obtenidos del apartado anterior (amplitud de armónicos, frecuencias y amortiguamientos) los aplicaremos en una implementación de nuestra cuerda mediante líneas de retardo. Intuitivamente, una línea de retardo se comporta como dos registros de desplazamiento realimentados, donde sus contenidos se van desplazando hacia la derecha al son de la frecuencia de muestreo. Nuestra idea es caracterizar mediante una línea de retardo cada uno de los modos de vibración de la cuerda. Si de cada cuerda calculamos los 16 primeros modos, y sabemos que cada guitarra dispone de 6 cuerdas, nuestro sistema estará formado por 96 líneas de retardo.



Organización del software

Dada la complejidad de cálculo que representa, se ha optado por una programación orientada al objeto en C++, definiendo una línea de retardo como objeto principal, y el objeto cuerda formado por las 16 líneas de retardo correspondientes. Cada línea de retardo debe consultar a una tabla mapeada en memoria, sus características de amplitud, frecuencia de oscilación y amortiguamiento. La entrada a nuestro programa será el punto de excitación y la salida será un fichero .wav con el sonido correspondiente.

Resultados

Debido a que el SW aun no está completado, solo se han podido probar partes aisladas del mismo. Se ha simulado el funcionamiento de unas pocas líneas de retardo consiguiendo un sonido parecido al de una campana (igual que en nuestro primer intento). Aunque no nos aporte mucha información, observamos que a medida que vamos incorporando líneas de retardo (es decir, armónicos) el sonido se parece cada vez más a la realidad.

CONCLUSIONES

Si bien es cierto que aun no poseemos una caracterización perfecta de nuestra cuerda, podemos concluir que, después de unos cuantos errores, vamos por el buen camino. La incorporación de las líneas de retardo a nuestro estudio es básico, ya que es una herramienta rápida y de sencillo manejo.

REFERENCIAS

1. P.Guillemain, F. Imoucha, R. Kronland-Martinet, T. Voinier: Resynthèse de sons de guitare à l'aide d'un modèle propagatif. Actes du 4ème Congrès Français d'acoustique.
2. Neville H.Fletcher, Thomas D. Rossign: The Physics of the musical Instruments. Springer-Verlag