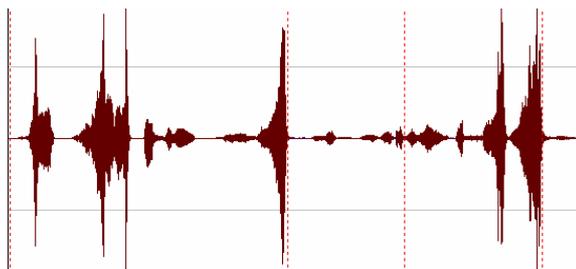
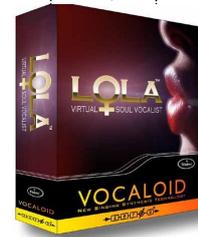
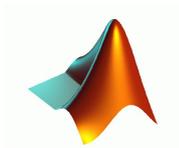
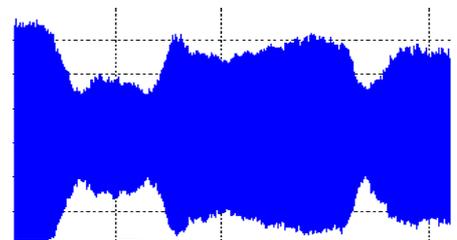
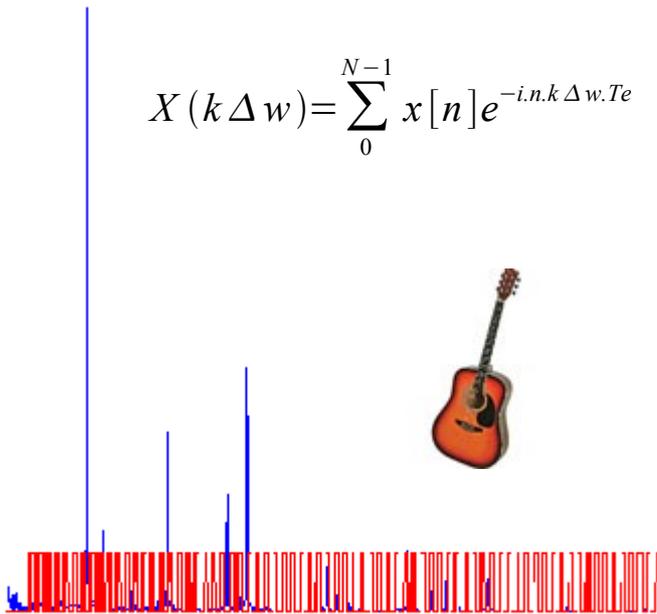
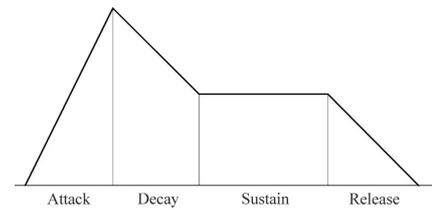


Síntesis aditiva de sonido

$$X(k \Delta \omega) = \sum_0^{N-1} x[n] e^{-i.n.k \Delta \omega.T_e}$$



Ismael HADDAD
Brian GERLACH

Índice de contenidos

1	Introducción.....	3
2	Diferentes tipos de síntesis musical.....	4
2.1	Síntesis aditiva.....	4
2.2	Síntesis sustractiva.....	4
2.3	Síntesis por modulación.....	4
3	Breve resumen histórico de la síntesis musical	4
3.1	Antiguamente	4
3.2	Siglo XX	5
3.3	Siglo XXI.....	5
4	El timbre musical.....	6
4.1	La envolvente.....	6
5	Síntesis aditiva y Transformada de Fourier.....	7
5.1	Algoritmo de la Fast Fourier Transform	9
6	Experimentación.....	9
6.1	Características del timbre musical.....	9
6.2	Efecto de la envolvente.....	10
6.3	Protocolo experimental de síntesis aditiva.....	11
6.4	Ejemplo 1 : guitarra acústica.....	12
6.5	Ejemplo 2 : ocarina gallega.....	15
6.6	Guitarra con envolvente de ocarina ?.....	17
7	Síntesis en la actualidad.....	17

1 Introducción

La síntesis de sonido es tan antigua como lo son los instrumentos. A partir de instrumentos conocidos, los hombres siempre han tratado de reproducir otros sonidos distintos o imitar algunos ya conocidos y por tanto la síntesis de forma genérica es milenaria.

Luego con los avances de la física, se obtuvo un modelo formal muy eficaz para describir los sonidos : las ondas, que no son mas que objetos matemáticos que representan una cierta realidad.

Un cambio importante ocurrió cuando el matemático francés Joseph Fourier descubrió sin saberlo una de las herramientas matemáticas mas fundamentales y de larga aplicación en física y en ingeniería. Buscando una manera de resolver la ecuación de difusión del calor, éste descubrió que cualquier señal, periódica o no, podía descomponerse en una suma de señales fundamentales mas simples es decir senos y cosenos.

Entonces, haciendo el vínculo con el objeto matemático usado por los físicos para describir los sonidos, se vio claramente que el hallazgo de Fourier abrió las puertas al análisis de sonidos.

Siglos mas tarde con la llegada de la tecnología, electrocinética, electrónica y finalmente la aparición del micro-procesador en los años 50, el tratamiento digital de la información fue una solución a las técnicas analógicas, muy costosas en material.

Actualmente, la síntesis de sonido se hace mediante ordenadores y existen varias técnicas para llevarlo a cabo como son la síntesis aditiva, sustractiva, por modulación y algunas otras más.

Para tratar de ilustrar la síntesis de sonido, nos hemos focalizado en la síntesis mas sencilla, la aditiva, con ejemplos simples para poner en práctica los conceptos teóricos, ilustrando que es el timbre de un instrumento, que lo define y viendo como tras el análisis de un sonido se puede, con las herramientas de Matlab llevar a cabo una síntesis aditiva.

2 Diferentes tipos de síntesis musical

2.1 Síntesis aditiva

La síntesis aditiva, de la cual trata este trabajo es la forma más sencilla en teoría de sintetizar un sonido. Se basa en el resultado fundamental de Fourier de la descomposición de una señal en una suma de señales mas simples. La idea es como, se verá a lo largo de éste trabajo, tratar de hallar las señales simples de que se compone un sonido y tratar pues de recrearlo artificialmente haciendo la suma de estos sonidos simples y teniendo en cuenta otros factores como se verá

2.2 Síntesis sustractiva

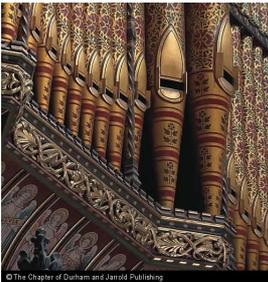
Se sintetiza el sonido, mediante el filtrado de una onda compleja. La señal pasa a través de un filtro que modifica su contenido armónico, atenuando o reforzando determinadas áreas del espectro de la señal. Esta técnica se podría asemejar al trabajo que hace el escultor a partir de un bloque de piedra bruto, al que va quitándole materia para darle la forma deseada.

2.3 Síntesis por modulación

Comprende los métodos en los que se altera algún parámetro de una onda en razón de otra onda, para producir ondas con espectros complejos. En esta categoría podemos notar dos métodos bastante usuales : síntesis por modulación de amplitud (AM), que consiste en alterar la amplitud de una señal portadora en función de la moduladora y síntesis por modulación de frecuencias (FM), que consiste básicamente en variar la frecuencia de una portadora en función de la forma de otramoduladora. En está técnica lo que se hace es multiplicar dos señales entre ellas para obtener el resultado desaeado. Para ilustrar la técnica, se puede hacer la analogía con una escultura de barro a la que se le da forma sin quitar ni añadir materia prima.

3 Breve resumen histórico de la síntesis musical

3.1 Antiguamente

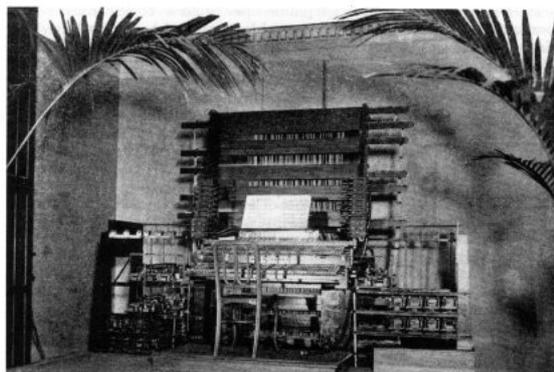


La síntesis musical se puede remontar a los primeros forjadores de órganos que yuxtaponían varios tubos para tratar de recrear la voz humana o las sonoridades de una orquesta.

3.2 Siglo XX



En 1897 el inventor estadounidense Taddheus Cahill inventó el primer sintetizador electro-mecánico que bautizó : Telarmonio. El Telarmonio usaba una rueda tonal electromagnética para generar sonidos típicos del órgano y piano. El sonido que producía el telarmonio ofrecía hasta 7 octavas, 36 notas por octavas y frecuencias entre los 40 a 4000 Hz. El primer prototipo costó 200.000 dolares y pesaba aproximadamente 200 toneladas con 18 metros de largo.



Se usaba para transmitir hilos musicales a través de la línea telefónica en hoteles, restaurantes, teatros y hogares de Estados- Unidos . En la actualidad no existe ningún telearmonio, el último dejó de funcionar en 1916. Se dice que su sonido era similar al de los órganos Hammond.

3.3 Siglo XXI



El órgano Hammond, basado en los principios del electromagnetismo y de la amplificación a través de altavoces individuales, fue creado por el inventor estadounidense Laurens Hammond (1895-1973) y estuvo en producción desde 1935 hasta 1978.

En la consola, hay dos teclados de cinco octavas y encima de éstos, hay cuatro juegos de nueve *drawbars* o barras deslizantes que permiten añadir armónicos (generados mediante *ruedas fónicas* o Tone Wheels) a los sonidos fundamentales del instrumento.

El apogeo del órgano hammond tuvo lugar en los años 60 y 70 destacando en diversos géneros musicales tanto en jazz, en rock como en el soul, el gospel y la música ligera.

4 El timbre musical

El timbre es una cualidad del sonido la cual permite distinguir la misma nota producida por dos instrumentos musicales distintos. A través de él podemos diferenciar, dos sonidos de igual frecuencia fundamental o tono, e intensidad producidos a su vez por instrumentos diferentes.

Los sonidos que escuchamos en el medio ambiente o producidos por un instrumento son complejos, es decir, están compuestos por varias ondas y frecuencias simultáneas, pero a su vez nosotros los percibimos como uno solo. El timbre básicamente depende de la cantidad de armónicos que tenga un sonido y de la intensidad de cada uno de ellos. Los timbres están compuestos por la onda fundamental o armónico base y por ondas parciales que son aquellas que lo complementan, si las frecuencias de los parciales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental son denominados parciales armónicos, y si son múltiplos reales son denominados no armónicos.

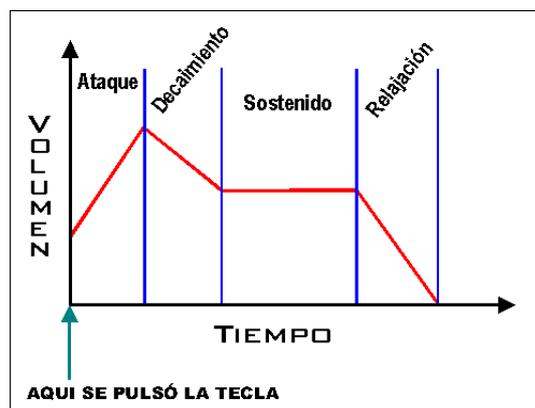
Se podría decir que el timbre viene determinado por los armónicos acompañantes de la frecuencia fundamental, por su cantidad y por la intensidad de dichos, los armónicos al mismo tiempo generan variaciones en la onda sinusoidal base y de esta manera nuestro oído puede distinguir entre ambas ondas.

Un ejemplo de timbre sería un Do emitido por una flauta y un Do emitido por una trompeta aunque estén tocando la misma nota se escucharan diferentes, porque tienen distintos armónicos. En la flauta, los armónicos son pequeños en comparación con la frecuencia fundamental mientras que en la trompeta los armónicos tienen una amplitud relativamente mayor, por eso la flauta tiene un sonido suave, mientras que la trompeta tiene un sonido más estridente.

4.1 La envolvente

Se podría decir que la envolvente de onda son delimitaciones y restricciones que se le aplican a la amplitud de la frecuencia de un sonido sintetizado previamente ya sea complejo o simple, estas delimitaciones son determinadas mediante el timbre original del instrumento que se quiere simular. Usualmente en la naturaleza y en los instrumentos musicales mecánicos esta envolvente de onda es implícita y se produce de manera automática al tocar o hacer sonar el instrumento, por tanto, la manera de tocar el instrumento también determina la forma de la amplitud del sonido respecto el tiempo.

La envolvente de un instrumento se podría determinar en cuatro grandes etapas a través del tiempo, los cuales serían :



- **Ataque (attack):** Es el tiempo que le lleva a la onda para alcanzar el punto máximo de su amplitud.
- **Caída (decay):** Es el tiempo que le lleva a la onda para pasar del punto máximo de amplitud hasta un estado de energía estacionario.
- **Sostenimiento (Sustain):** Es el tiempo en que la amplitud de la onda sonora permanece de manera estacionaria.
- **Liberación (Release):** Es el tiempo que tarda la onda para pasar del final de su período estacionario hasta su punto de extinción. Un ejemplo clásico de liberación corresponde al momento en que se levanta el dedo de la tecla de un piano y el sonido se disipa rápidamente a menos que se tenga el pedal de sostenimiento (sustain) pisado y entonces notamos que la nota se mantiene más rato en el tiempo de manera estacionaria. Estas cuatro etapas no necesariamente deben estar presentes en todos los objetos sonoros. En la mayoría de estos estas cuatro etapas son mucho más complejas a veces alguna de ellas deja de existir.

5 Síntesis aditiva y Transformada de Fourier

El concepto tras la síntesis aditiva se remonta a los descubrimientos del matemático francés Joseph Fourier quien descubrió que las funciones discontinuas pueden descomponerse como la suma de una serie infinita de funciones continuas. En otras palabras cualquier forma de onda periódica, en nuestro caso la onda del sonido a través del tiempo puede descomponerse en una serie de ondas o armónicos cuyas frecuencias serán múltiplos de la frecuencia de la onda original.

Para nuestro caso, dado que usamos ordenadores para la síntesis del sonido, el manejo de la serie de funciones continuas (ondas) debe ser finita y por lo tanto se usa la transformada de Fourier Discreta (DFT) la cual nos sirve para muestrear las frecuencias del sonido original del instrumento y de esta manera poder sintetizarlas digitalmente mediante un software y lograr crear un sonido mediante la adición.

Dado que el uso de la transformada de Fourier requiere de muchas operaciones matemáticas para el ordenador, usamos un algoritmo llamado: Fast Fourier Transform este algoritmo de optimización de operaciones reduce las operaciones de $O(n^2)$ a $O(n \log n)$ ambos algoritmos en realidad dependen de la factorización de n pero existen FFT's para cualquier n inclusive para n primos. Cualquier sonido periódico en el dominio del tiempo discreto puede sintetizarse de la siguiente manera :

$$s(n) = \frac{1}{2}a_0(n) + \sum_{k=1}^{k_{\max}} a_k(n) \cos\left(\frac{2\pi f_0}{F_s}kn\right) - b_k(n) \sin\left(\frac{2\pi f_0}{F_s}kn\right)$$

o bien,

$$s(n) = \frac{1}{2}a_0(n) + \sum_{k=1}^{k_{\max}} r_k(n) \cos\left(\frac{2\pi f_0}{F_s}kn + \varphi_k(n)\right)$$

donde

$$a_k(n) = r_k(n) \cos(\varphi_k(n)) \quad b_k(n) = r_k(n) \sin(\varphi_k(n))$$

que son los coeficientes de del desarrollao en serie de Fourier.

F_s es la frecuencia de muestreo, f_0 es la frecuencia fundamental y $k_{\max} < \text{floor}(F_s/2f_0)$ es el armónico más alto por debajo de la frecuencia de Nyquist que garantiza la reconstructibilidad de la señal a partir de sus armónicos según el teorema de Shannon. El término de la componente continua no es conveniente en la síntesis musical, de forma que se puede eliminar el término a_0 . Al introducir los coeficientes variables $r_k(n)$ permite el uso dinámico de envolventes para modular los osciladores, creándose una forma de onda periódica a corto plazo pero que cambia a largo plazo (quasi-periódica).

Inversamente, existe la transformada de Fourier que hace la operación inversa, es decir obtener el espectro a partir de la señal original. Es esta pues la herramienta fundamental de análisis de señales.

Dado que la herramienta de trabajo en la síntesis musical es el ordenador, las señales utilizadas son discretas en tiempo y por eso utilizamos la transformada de Fourier discreta en lugar de la definición común en tiempo continuo.

La transformada de Fourier de Señales Continuas (TFSC) es :

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i.\omega.t} dt$$

Si la señal es discreta : $x[n]$, entonces la integral se convierte en una suma discreta

Transformada de Fourier de Señales Discretas (TFSD) :

$$X(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} x[n] e^{-i.n.\omega.Te}$$

siendo Te el periodo de muestreo de la señal discreta $x[n]$.

A partir de esta última formula, si queremos implementar el calculo de la TFSD en un computador nos enfrentamos a dos problemas :

1. Los bornes de la suma van de - infinito a +infinito , pero el ordenador tan solo puede calcular valores finitos. Por ello, debemos trincar la señal discreta $x[n]$ a N muestras. Esto resultará en redefinir los bornes de la suma como se muestra aquí abajo.

$$X(\omega) = \sum_0^{N-1} x[n] e^{-i.n.\omega.Te}$$

2. El miembro de la izquierda de la igualdad es una función continua de ω y el miembro de la derecha es una función discreta. Por tanto, para que sea homogena debemos también discretizar el rango de pulsaciones.

$$X(k \Delta \omega) = \sum_0^{N-1} x[n] e^{-i.n.k \Delta \omega.Te}$$

Como vemos, el espectro de pulsaciones ω pasa de ser una función continua, válida para todo ω , a ser una función discreta donde sólo podemos obtener los valores del espectro en $k\Delta\omega$

El teorema de Shannon garantiza una reconstrucción óptima del espectro si $\Delta \omega \leq \frac{2\pi}{NTe}$

Ésta última expresión de la transformada de Fourier discreta sí que es implementable en un ordenador. La cuestión que surge a continuación es la de velocidad de cálculo, es decir la rapidez con la que un ordenador puede calcular una transformada de fourier. La velocidad de cálculo depende en gran parte del algoritmo de cálculo y por ello se han desarrollado varios algoritmos optimizados para disminuir el numero de operaciones.

5.1 Algoritmo de la Fast Fourier Transform

Usando el algoritmo mas simple que consiste en reproducir la formula de la transformada de fourier tal cual, hace falta $2N^2$ ciclos de procesador para calcular una simple muestra de $X(w)$.

El algoritmo de cálculo de la FFT mas utilizado es del tipo : divide y venceras. Éste permite optimizar considerablemente el tiempo de cálculo de una tranformada de Fourier.

La idea que permite esta optimización es la descomposición de la transformada a tratar en otras más simples y éstas a su vez hasta llegar a transformadas de 2 elementos donde k puede tomar los valores 0 y 1. Una vez resueltas las transformadas más simples hay que agruparlas en otras de nivel superior que deben resolverse de nuevo y así sucesivamente hasta llegar al nivel más alto. Al final de este proceso, los resultados obtenidos deben reordenarse.

Se toma por ejemplo el numero de muestras de la señal como una potencia de 2 : $N=2^M$.

Entonces se descompone la señal $x[n]$ en muestras pares e impares y así sucesivamente hasta que quede una colección de 2 elementos a los que se les aplica la tranformada de fourier.

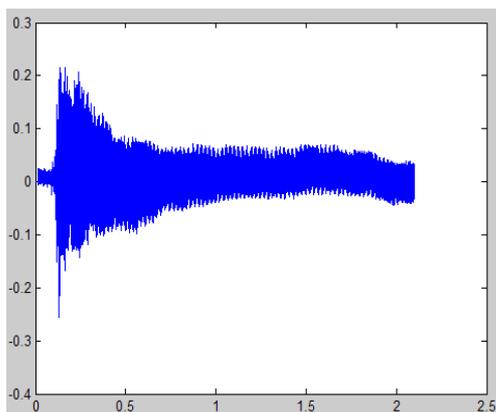
Matlab lleva implentado una función de cálculo de fft que utlitzza este algoritmo. Hemos utilizado esta funcion para experimentar con la sintesis musical.

6 Experimentación

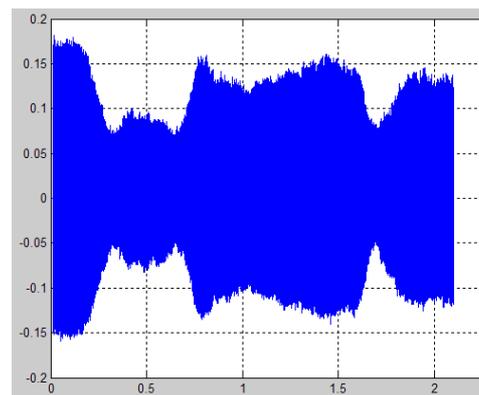
6.1 Características del timbre musical

Como hemos visto antes, la envolvente es una de las características fundamentales de un sonido que definen el timbre de un instrumento.

A continuación se muestran la representación temporal de los sonidos de una guitarra acústica y de una ocarina gallega :

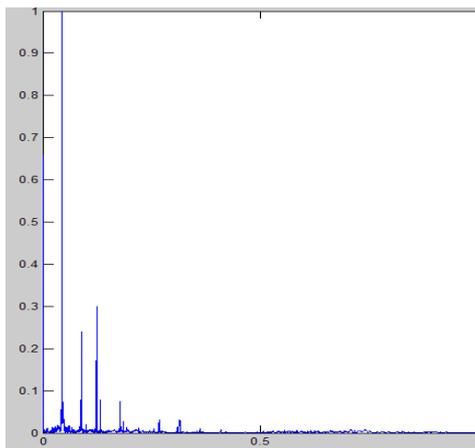


LA 440 Hz - Guitarra acústica

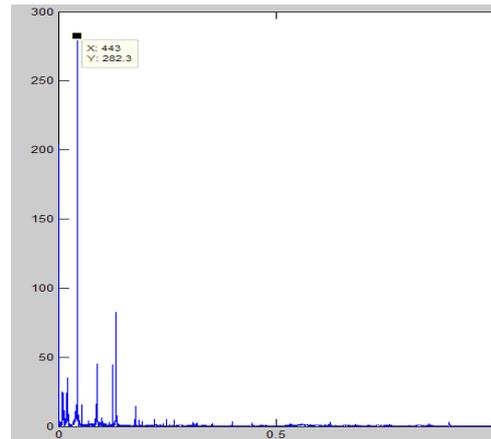


LA 440 Hz - Ocarina gallega

Estos dos sonido corresponden a una misma nota LA. A pesar de ello cuando escuchamos tales sonido, podemos distinguir claramente cual es la guitarra y cual es la ocarina.



Espectro Guitarra acústica



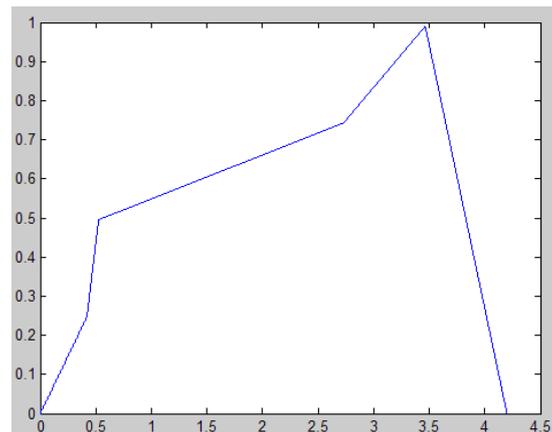
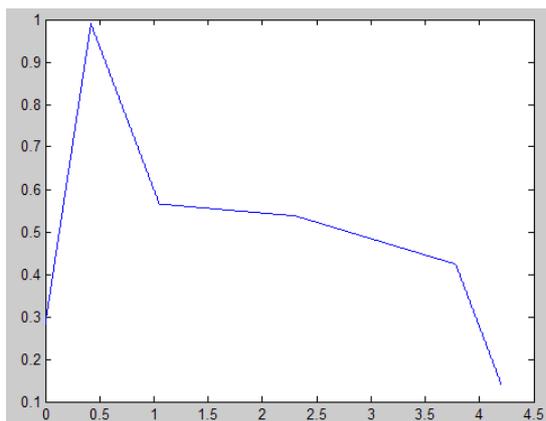
Espectro Ocarina gallega

Observando los espectros de ambos instrumentos para la nota LA en concreto, vemos que ambos tienen como frecuencia fundamental un LA : 441 Hz y 443 Hz respectivamente, pero con amplitudes diferentes. El resto del espectro difiere ligeramente en cuanto a presencia de parciales y amplitudes. En la ocarina, los parciales pares son casi inexistentes y en cambio la guitarra presenta parciales armónicos.

Es pues a este nivel del espectro donde se hallan las diferencias, que hacen que percibamos el sonido de un LA de guitarra diferente del de una ocarina. Estas características son las que definen el timbre de cada uno de los instrumentos, junto con la envolvente.

6.2 Efecto de la envolvente

A continuación tenemos el sonido digital de una campana modulado por dos envolventes diferentes



El primero de ellos es una forma típica de envolvente. La segunda en cambio es un tanto aleatoria y ha sido obtenida modificando los coeficientes de una función Matlab que crea envolventes. Al escuchar ambos sonidos se puede apreciar la diferencia en la percepción. Cuando la envolvente es atípica, resulta más difícil reconocer el instrumento en cuestión.

6.3 Protocolo experimental de síntesis aditiva

Una vez vistos los conceptos generales de la síntesis aditiva del sonido nos proponemos ponerlo en práctica con dos sencillos ejemplos de síntesis de una nota de instrumento para comprobar que realmente funciona. Para ello, hemos usado Matlab, especialmente, funciones de la toolbox de procesamiento de señales.

Los siguientes ejemplos son la síntesis de una nota de un segundo de duración de una guitarra acústica y de una ocarina gallega respectivamente.

Los pasos que hemos seguido para sintetizar una nota han sido en cada caso los siguientes :

- 1 Grabación del sonido directamente con Matlab
- 2 Análisis del sonido
 - 2.1 Aplicación de la transformada de Fourier : parciales y desfases
 - 2.2 Aplicación de la transformada de Hilbert : obtención de la envolvente
- 3 Recrear el sonido
 - 3.1 Suma de senos con sus amplitudes y desfases
 - 3.2 aplicación del envoltorio
- 4 Comparativa del sonido original y sintetizado.

6.4 Ejemplo 1 : guitarra acústica

A continuación se muestra en detalle los pasos anteriores de síntesis para el ejemplo de la guitarra acústica.



1. Grabación del sonido con Matlab

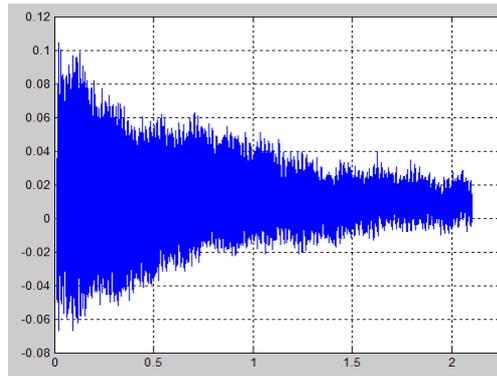
Para grabar el sonido, lo hemos hecho directamente con Matlab, lo que nos permite tener los datos directamente en Matlab para el análisis posterior. Usando el micrófono del ordenador y la función de matlab `wavread(N,Fs)` que graba mediante el dispositivo wave de Windows.

N : es el numero de muestras que se van a grabar
Fs : es la frecuencia de muestreo.

Tomando $N=Fs$, grabamos un segundo de sonido con Fs muestras.

La frecuencia de muestro la hemos tomada a 21000 Hz, que es suficientemente grande para satisfacer el teorema de Shannon de reconstructibilidad de señales muestreadas, frente a grabaciones de un LA 440 Hz, y también para obtener una calidad de grabación aceptable.

El sonido grabado por matlab es entonces un vector columna con 21000 datos que podemos tratar fácilmente con las funciones integradas de Matlab.

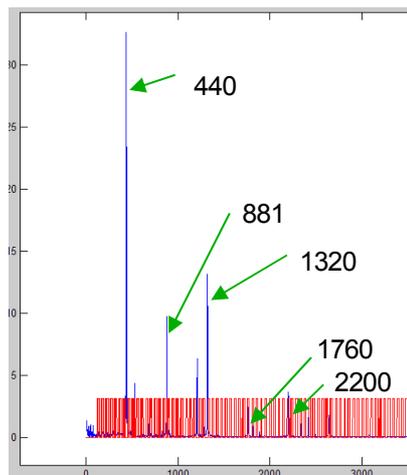


LA 440 Hz - guitarra acústica - 1 segundo ($F_s = 21000\text{Hz}$)

2. Análisis del sonido

Analizamos el sonido aplicando la transformada de Fourier rápida. Matlab ofrece la función `fft(y)` que implementa un algoritmo rápido de cálculo de transformadas de Fourier discretas. El resultado de la transformada es un vector de valores complejos.

- Tomando el módulo de la transformada obtenemos el espectro del sonido : `abs(fft(y))`
Visualizamos el espectro para ver gráficamente la presencia de los parciales y su amplitud.
- Tomando el desfase de la transformada obtenemos los desfases correspondientes : `phase(fft(y))`



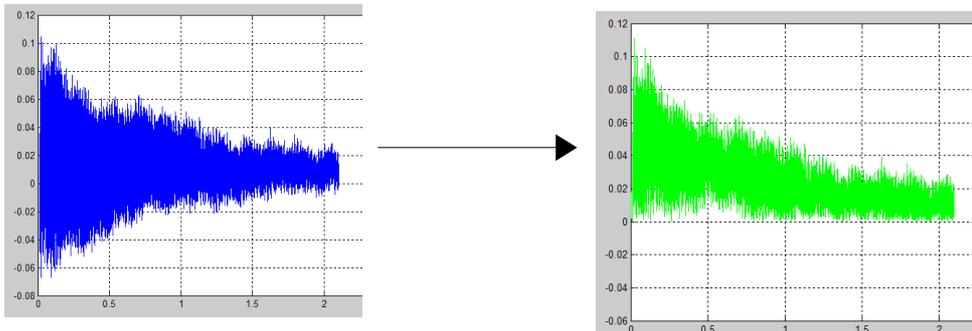
espectro frecuencial (azul) y desfases (rojo) de guitarra acústica

Vemos en el espectro las franjas correspondientes a los diferentes parciales, con su amplitud correspondiente. En rojo vemos el desfase a las diferentes frecuencias cuyo valor es de π , y tan solo se aplica a ciertas frecuencias del espectro, como podemos ver por la discontinuidad de éste.

Observamos la nota fundamental a 440 Hz y luego múltiplos enteros de éste (armónicos) ya que se trata de una cuerda vibrante sujeta en sus dos extremos.

Por último observamos, además de las franjas visibles el ruido de fondo de la grabación : un especie de continuo de franjas de amplitud muy débil que representan el ruido de fondo.

- Aplicando la transformada de Hilbert y tomando el valor absoluto, supuestamente se obtiene la envolvente de cualquier señal : $env = abs(hilbert(y))$



3. Recrear el sonido

Visualizando el espectro del sonido, leemos las frecuencias de los parciales, su correspondientes amplitudes y tambien los desfases. Con ello podemos crear la correspondientes suma de senos del desarrollo en serie de Fourier.

Creamos un vectores que contienen respectivamente las frecuencias, amplitudes y desfases :

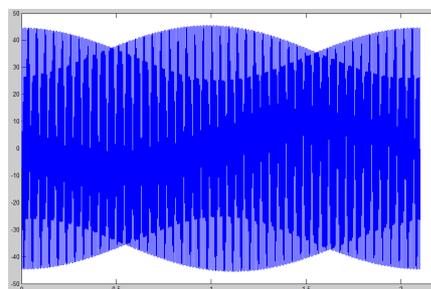
```
F = [440 881 1320 1760 2200];
A = [32.64 9.748 13.15 2.388 3.627];
P = [0 pi 0 pi pi];
```

A continuación hacemos la suma de senos :

```
for i=1:length(F)
    Y = Y + A(i)*sin(2*pi*F(i)*t + P(i));
end
```

Hay que observar que los senos, no son continuos sino discretos y de misma frecuencia de muestro que el sonido grabado para hacer mas cómoda la comparativa posterior de sonido real y sonido sintetizado. El vector tiempo t , de los senos es pues un vector muestreado a 21000 Hz y de duración un segundo.

EL resultado de la suma suele tiene un aspecto com el siguiente ejemplo, dependiendo de la cantidad de parciales y sus amplitudes.



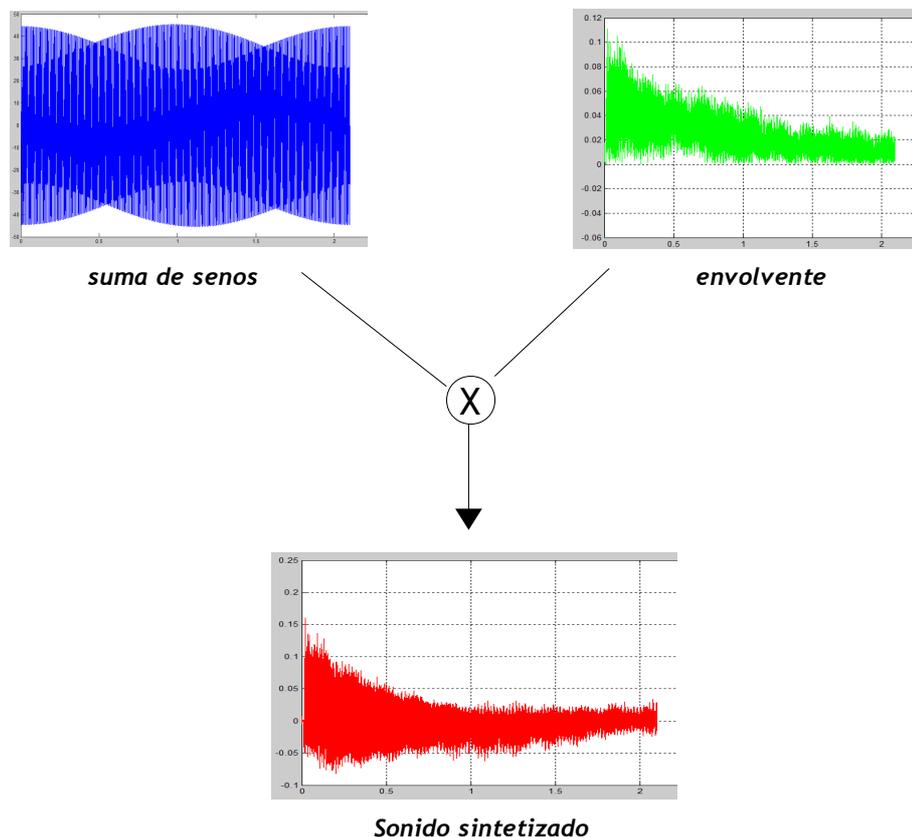
Como podemos observar, esta señal de un segundo no decrece y por tanto no puede representar un sonido real cuya energía es siempre finita y por tanto finito en tiempo.

Por eso, ahora le aplicamos el envoltorio característico del instrumento en cuestión y de la manera de tocar la nota grabada.

Aplicar el envoltorio no es mas que multiplicar cada valor de la señal anterior con cada valor del envoltorio.

$$Y_{rec} = Y \cdot env;$$

Esta operación viene a ser una modulación en amplitud de la suma de senos por la envolvente.



4. Comparativa del sonido real y sintetizado

Para comparar auditivamente los dos sonidos podemos reproducirlos con Matlab o exportarlos a un archivo wave :

```
sound(y,Fs)  
wavwrite(y,21000,16,'A_guitarra_sintetizado')
```

En este ejemplo de síntesis de una nota de guitarra acústica, podemos decir que los dos sonidos (real y sintetizado) casi idénticos. A penas se puede percibir una diferencia. No obstante, eso es comprensible por la simplicidad del ejemplo. La nota que hemos grabado solo contiene pocos armónicos visibles en su espectro y eso hace que el ejemplo sea un tanto trivial.

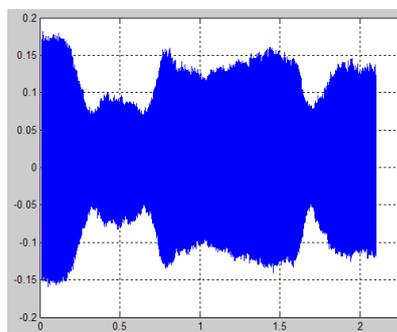
Es probable que la síntesis de sonido mas complejos como un acorde o la voz humana conlleve mas problemas y no sea tan fácilmente llevado a cabo.

6.5 Ejemplo 2 : ocarina gallega

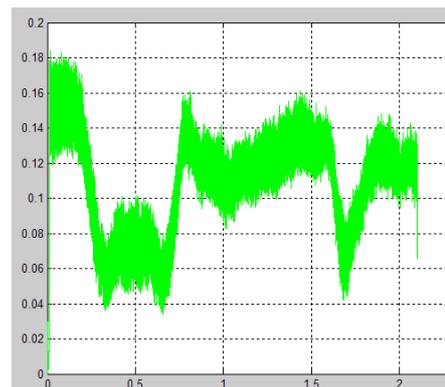
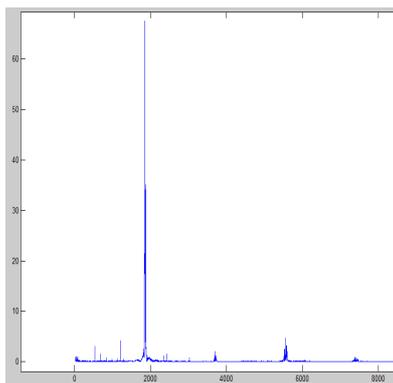
Para contrastar los resultados, también hemos sintetizado una nota de ocarina gallega, siguiendo el mismo procedimiento.



El sonido grabado de la misma manera que anteriormente nos muestra una forma distinta del envoltorio como era de suponer.

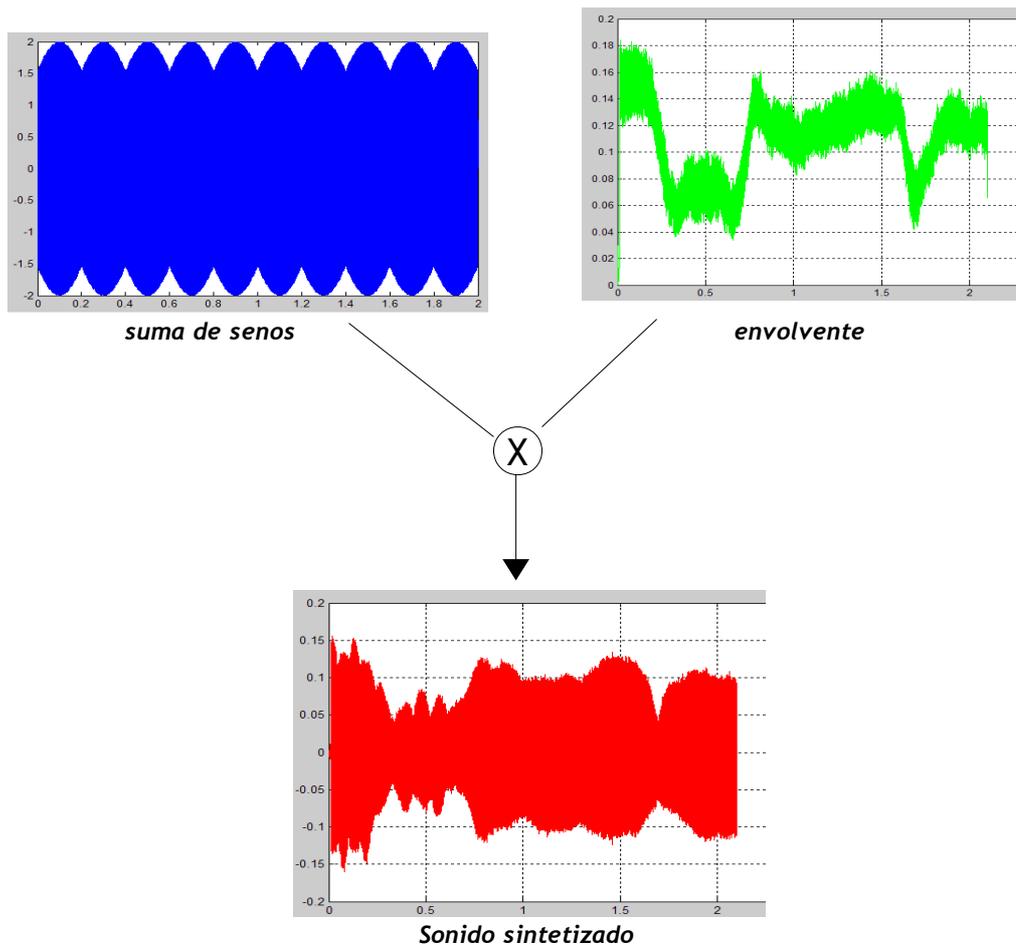


Al tratarse de un instrumento de viento, el sonido es oscilante pero nunca decae mientras se siga soplando.



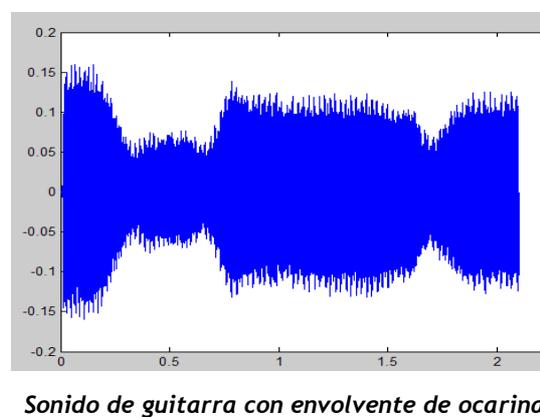
Observamos el espectro de la ocarina gallega y su envoltorio. Su espectro es mas pobre que el de la guitarra y tan solo presenta la frecuencia fundamental principal dominante. Los demás parciales, son casi imperceptibles por lo que la síntesis resulta bastante trivial en este caso.

A continuación vemos, como en el caso de la guitarra la suma de senos resultante el análisis de Fourier, la envolvente y finalmente el sonido sintetizado.



6.6 Guitarra con envolvente de ocarina ?

Para acabar, hemos hecho un experimento : hemos modulado el sonido de guitarra con la envolvente de ocarina para ver que sonido eso producía.



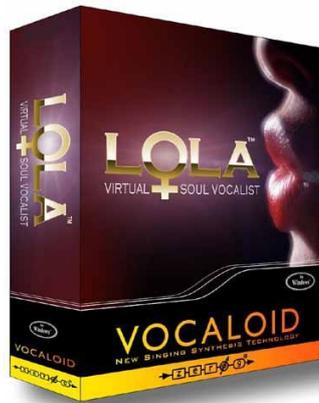
Efectivamente, al aplicarle un envoltorio diferente, el sonido de guitarra cambia y es mas difícil reconocer que se trata de una guitarra. Así pues, con esto confirmamos la importancia de la

envolvente cuando se trata de caracterizar el timbre de un sonido.

7 Síntesis en la actualidad

Hoy en día se usan computadoras para la síntesis musical, sacando provecho de la gran capacidad de cálculo en tiempo real y altas prestaciones. Se usan microprocesadores especialmente adaptados al tratamiento de música digital. Estos son los DSP (digital sound processor) que están mejor adaptados para el tipo de operaciones que se hace en el tratamiento digital del sonido: transformadas de Fourier, aplicación de filtros, modulación, tratamiento en tiempo real, etc.

La empresa **Zero-g** conjuntamente con Yamaha ha desarrollado un software de síntesis de voz humana. El software es capaz de sintetizar voz humana. Introduciendo la letra y la melodía, el software se encarga de cantarlo con voz humana sintetizada. La primera versión apareció en 2004 y ahora ya está disponible una versión mejorada con más complementos y librerías de estilos de voz.



Se usa un software cuyo engine o núcleo algorítmico está basado en grandes cantidades de bases de datos cuya información son grabaciones voces de todo tipo, además el sistema de síntesis es un secreto que mantienen los creadores, para mayor información se puede visitar la página: <http://www.zero-g.co.uk/index.cfm?articleid=800>.

Es destacable que simular una voz humana cantando es una ardua tarea debido a que el humano está muy acostumbrado a escuchar voces humanas por lo tanto cualquier desfase de nota o pequeñas modificaciones de afinación, o timbre hacen que la simulación y este software sea muy difícil y costoso de desarrollar para cumplir con las expectativas.